

Ajuste de equações de retenção de água em Latossolos Amarelos muito argilosos da Amazônia Central

Fitting soil water retention equation to clayey yellow Ferralsols in Central Amazon

Letícia Guimarães Pimentel⁽¹⁾; Aline Mari Huf dos Reis⁽¹⁾; Gilvan Coimbra Martins⁽²⁾; Fabricio Resende Fregonezi⁽³⁾ Alexandre Ortega Gonçalves⁽⁴⁾; Wenceslau Geraledes Teixeira⁽⁴⁾

(1) Bolsista ZARC - Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, leticia.pimentel@colaborador.embrapa.br; huf.aline@gmail.com; Pesquisador - Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM; gilvan.martins@embrapa.br (3) Gerência Agrícola - Jayoro, Presidente Figueiredo, AM; fabricio@jayoro.com.br (4) Pesquisador - Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, alexandre.ortega@embrapa.br; wenceslau.teixeira@embrapa.br;

RESUMO: Para determinar a curva de retenção de água no solo (CRA) em solos com distribuição bimodal de poros, o modelo proposto por van Genuchten não os ajusta adequadamente. Entre outros modelos para descrever a CRA, a equação de Durner é frequentemente utilizada para a descrição de solos bimodais. O objetivo principal deste trabalho foi comparar os modelos unimodal (van Genuchten-Mualem) e bimodal (Durner) para descrição da CRA de um Latossolo Amarelo presente no município de Presidente Figueiredo (Estado do Amazonas - Brasil). Amostras indeformadas de solo foram coletadas em diferentes profundidades na Fazenda Jayoro, sob cultivo de cana-de-açúcar, e estas foram submetidas a tensões matriciais (cm) de 0; 10; 30; 60; 100; 330; 1100; 5000 e 15000 até o equilíbrio quando a água volumétrica do solo foi medida. O software Hyprop foi utilizado para obter os parâmetros das equações da CRA uni e bimodal, e foram considerados os menores valores da raiz do erro quadrático médio (RMSE) como parâmetros de ajuste para comparar as equações. O teor de água disponível para a planta (AD) também foi calculado. O modelo de Durner apresentou menores valores de RMSE para todas as profundidades avaliadas. Além disso, os maiores valores de AD foram verificados para quatro dos seis pontos avaliados.

ABSTRACT: To determine the soil water retention curve (SWRC) in soils with bimodal distribution of pores, the model proposed by van Genuchten does not fit them properly. Among other models to describe SWRC, Durner's equation is frequently used for the description of bimodal soils. The main objective of this paper was to compare the unimodal (van Genuchten-Mualem) and the bimodal (Durner) models to predict the SWRC in a very clayey Ferralsol present in the county of Presidente Figueiredo (Amazonas State - Brazil). Undisturbed

soil samples were collected at different depths in Jayoro's Farm, under sugarcane cultivation, and these were submitted to matric tensions (cm H₂O) of 0; 10; 30; 60; 100; 330; 1100; 5000 and 15000 until equilibrium when volumetric soil water was measured. The software Hyprop was used to obtain the parameters of the SWRC equations uni and bimodal, and were considered the smallest values of Root Mean Square Error (RMSE) as goodness of fit to compare the equations. The plant available water (AW) content was also calculated. Durner's model showed smaller values of RMSE for all the depths evaluated. Furthermore, higher values of AW were verified for four of the six points evaluated.

Palavras-chave: Distribuição bimodal; equação de Durner; Água disponível.

Keywords: Bimodal distribution; Durner's equation; Available water.

INTRODUÇÃO

Há muitos anos modelos matemáticos e técnicas de simulação são encontradas para descrever de forma dinâmica a natureza da água no sistema solo-planta. A capacidade de um solo em reter água e disponibilizá-la para as plantas é representada pela curva de retenção de água (CRA), a qual relaciona a fração volumétrica de água (θ) a uma dada tensão matricial (h) (Jorge, et al., 2010). Portanto, um aumento da tensão matricial significa uma redução da água presente no solo (Hillel, 1998).

Muitos modelos matemáticos foram elaborados para descrever a CRA. Contudo, o modelo proposto por van Genuchten-Mualem (1980) continua sendo o mais utilizado, uma vez que ele consegue representar essa função para a maioria dos solos estudados. O modelo proposto por van Genuchten-Mualem é, matematicamente, melhor ajustável aos dados se

houver um maior número de tensões avaliadas. Porém, a rotina de laboratório é onerosa e demorada, além de causar alterações na estrutura do solo das amostras (Jorge, et al. 2010).

O modelo de van Genuchten-Mualem não é capaz de se ajustar adequadamente a solos com distribuição bimodal de poros, que são solos que apresentam duas classes de poros muito contrastantes. Portanto, outros modelos são propostos, como por exemplo o de Durner (1994), que é a sobreposição de duas ou mais equações propostas por van Genuchten (Carducci, et al. 2011).

Assim, o objetivo deste trabalho foi comparar os modelos unimodal (van Genuchten) e bimodal (Durner) da curva de retenção de água (CRA) de um Latossolo Amarelo presente na Fazenda Jayoro, no município de Presidente Figueiredo, AM, sob cultivo de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solos foram coletadas na Fazenda Jayoro, no município de Presidente Figueiredo, AM. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Am, que se caracteriza por apresentar temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18°C e precipitação pluviométrica anual variando de 2.000 mm a 2.500 mm (Rodrigues et al., 2001).

Em março de 2018 coletaram-se amostras indeformadas de solo, em triplicata, em anéis cilíndricos de 100 cm³, para obtenção de dados de retenção da água em diferentes potenciais. Essas amostras foram coletadas nos talhões, “Usina” e “Pororoca”, próximo a superfície (Horizonte A) 0 cm, e entre 25 e 30 cm (Horizonte Bw1). Em uma área com floresta primária adjacente também foram coletadas amostras nos mesmos horizontes. O solo do local foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico e de textura muito argilosa (Rodrigues et al., 2001) segundo as regras de classificação descritas em Santos et al (2018). As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus. As umidades volumétricas das amostras de solo foram determinadas por gravimetria após atingir o equilíbrio nas tensões matriciais de 0; 10; 30; 60; 100 kPa em mesa de tensão. Posteriormente as amostras foram submetidas às tensões de 330; 1100 e 5000 kPa Os valores médios para a tensão 15000 kPa foram estimados pela textura e baseados no trabalho de Teixeira (2001) para os Latossolos Amarelos muito argilosos da Amazônia Central. Considerou-se o valor de 10% do valor médio da umidade volumétrica como desvio padrão das amostras. Os pares de umidade e tensão avaliados foram ajustados ao modelo van Genuchten (1980) com a restrição de Mualem (1976), descrita abaixo:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha|h|)^n\right]^m}, m = 1 - 1/n$$

Em que θ_r e θ_s são os teores de água residual e saturada do solo, respectivamente (m³ m⁻³), θ é a umidade volumétrica (m³ m⁻³); h é a tensão matricial da água no solo (cm de água – em módulo); α , n e m são parâmetros empíricos do modelo.

Foi utilizado também o modelo de Durner (1994) para ajustar os dados de umidade e potencial. Segue descrição da equação de Durner (1994):

$$\theta(h) = (\theta_s - \theta_r) \sum_{i=1}^k w_i \left[1 + (\alpha|h|)^n\right]^{-m} + \theta_r, m = 1 - 1/n$$

Os parâmetros dessa equação são definidos previamente, sendo k o número de sub curvas (modas, neste caso $k=2$) e w_i é um fator de peso dado para cada moda, satisfazendo $0 < w_i < 1$. Para o ajuste de ambas as equações foi utilizado o software HYPROP (2019). Os valores de tensão matricial foram convertidos para a escala log de cm de H₂O (pF) e inseridos no HYPROP para a simulação. Com parâmetro de qualidade dos ajustes das equações foi considerado os menores valores de RMSE. Após os ajustes dos coeficientes das equações de cada área e profundidade estudada, os dados observados e as equações ajustadas foram plotados de modo a apresentar a CRA de cada local amostrado (Figura 1).

Calculou-se a água disponível (AD) do solo através da subtração da umidade na capacidade de campo menos a umidade do ponto de murcha permanente (AD = pF 2,0 - pF 4,2) para cada área estudada e em profundidade. A critério de classificação foi observada a tabela de classificação de água disponível (AD) em solos do Brasil (Teixeira et al., 2020)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios e desvios padrão das umidades volumétricas retidas nos diferentes potenciais avaliados estão descritos na Tabela 1. A maior umidade média na saturação ocorreu na amostra do talhão da Pororoca e na profundidade de 5-10 cm, juntamente com um baixo desvio padrão (0,01). A menor umidade na saturação do conjunto amostral foi igual a 0,55 m³ m⁻³, e ocorreu em duas amostras: talhão da Usina (5-10 cm) e no talhão da Pororoca (25-30 cm). Contudo, na amostra da Pororoca o desvio padrão foi zero sendo que na amostra coletada na área da Usina foi igual a 0,05.

A maior umidade média para a capacidade de campo (pF 2,0) foi registrada para a amostra da Pororoca, porém, na profundidade de 25-30 cm (0,42 m³ m⁻³). A menor umidade nessa condição foi para a profundidade de 5-10 cm também na amostra da Pororoca (0,29 m³ m⁻³). As umidades no ponto de

murcha permanente (pF 4,2) encontradas para todas as amostras apresentaram resultados muito próximos entre si, pois variaram apenas entre 0,20 ou 0,25 m³ m⁻³.

Verificou-se que nas amostras avaliadas o ajuste bimodal da curva de retenção de água se mostrou mais exato, indicado pelos menores valores da raiz do erro quadrático médio – RMSE (Tabela 2). Ou seja, quanto mais próximo a zero forem os valores de RMSE, maior será a exatidão alcançada pelo ajuste de uma simulação. É possível notar essa diferença graficamente principalmente para o talhão da usina na profundidade de 5-10 cm (Figura 1).

Pode-se perceber que para a profundidade de 5-10 cm, nas áreas da Usina e da Pororoca os valores de água disponíveis foram de: 0,06 e 0,04 m³ m⁻³; respectivamente. As outras amostras apresentaram valores de AD próximas umas das outras para Usina, Pororoca e Floresta na profundidade de 25-30 cm e na profundidade de 3-7 cm para Floresta, com classificação de valores de AD muito alto (Tabela 1).

CONCLUSÕES

1. A maior umidade média na saturação ocorreu no Talhão Pororoca (5-10) e a menor umidade na saturação ocorreu em dois talhões: Usina (5-10) e Pororoca (25-30).

2. A maior e a menor umidade média na saturação para a capacidade de campo foram no Talhão da Pororoca nas profundidades 25-30 e 5-10, respectivamente.

3. As umidades médias no ponto de murcha variaram entre 0,20 e 0,25 m³ m⁻³.

4. A partir da comparação estatística e uma análise visual dos modelos unimodal (van Genuchten) e bimodal (Durner) das curvas de retenção do Latossolo Amarelo muito argiloso, observou-se que o ajuste bimodal se mostrou mais eficiente em representar a estrutura desse solo.

5. O solo da Fazenda Jayoro apresentou altos valores de água disponível do solo para quatro dos seis pontos avaliados.

REFERÊNCIAS

CARDUCCI, C. E. OLIVEIRA, G. C. SEVERIANO, E. C. ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. R. Bras. Ci. Solo, 35:77-86, 2011.

DURNER W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. Water Res. Res., 30: 211-223, 1994.

SILVA, M. B. et al. Guia de Campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos:

RCC do Maranhão. In: TEIXEIRA, W. G. MARTINS, A. L. S. LUMBRERAS, J. F. Retenção de Água em Amostras de Solos da XIII RCC, estado do Maranhão. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Capítulo 14.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília, 2006. 412p.

JORGE, R. F. CORÁ, J. E. BARBOSA, J. C. Número Mínimo de Tensões para Determinação da Curva Característica de Retenção de Água de um Latossolo Vermelho Eutrófico sob Sistema de Semeadura Direta. R. Bras. Ci. Solo. 34:1831-1840, 2010.

HILLEL, D. Environmental Soil Physics: fundamentals, applications, and environmental considerations. 1 Ed. [S.l.]: Preview, 31 agosto 1998.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Res. Res., 12:513-522, 1976.

RODRIGUES, T. E. et al. Caracterização e classificação dos solos do município de Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Documento 123, 2001. 50p.

SANTOS, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

SCHINDLER, U. METER Group AG: HYPROP-FIT. Versão 4.2.2.0 [S.l.], 2019. Disponível em: <https://www.metergroup.com/>. Acessado em: 09 de setembro de 2022.

SOUZA, S. F. G. MARASCA, I. PALUDO, V. SILVA, P. R. A. LANÇAS, K. P. Avaliação da Produtividade da Cultura de Cana de Açúcar com e sem a Aplicação de Fósforo em Profundidade Utilizando um Equipamento de Preparo Profundo e Mecanizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42. Campo Grande, 2013. Anais. Campo Grande, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014.

TEIXEIRA, W. G. MARQUES, J. D. MOREIRA, A. HUWE, B. Ajuste das Funções da Retenção de Umidade para o Latossolo Amarelo Textura Argilosa da Amazônia Central. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 14., Cuiabá, 2002. Anais. Cuiabá, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. P 1-5.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal. 44: 892-898, 1980.

Tabela 1. Umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$) de amostras do Latossolo Amarelo após serem submetidas e equilibradas em sete potenciais matriciais (pF).

Talhão	Profundidade		pF 0,0	pF 1,0	pF 1,5	pF 1,8	pF 2,0	pF 3,0	pF 4,2*	AD
	cm		$\theta [m^3 m^{-3}]$							
Usina	05-10	Média	0,55	0,40	0,37	0,36	0,31	0,30	0,25	0,06
		Desvio P	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	-	
	25-30	Média	0,57	0,47	0,43	0,41	0,35	0,35	0,20	0,15
		Desvio P	0,01	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	-	
Pororoca	05-10	Média	0,63	0,43	0,38	0,36	0,29	0,28	0,25	0,04
		Desvio P	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-	
	25-30	Média	0,55	0,51	0,49	0,48	0,42	0,41	0,2	0,22
		Desvio P	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	-	
Floresta	03-07	Média	0,62	0,51	0,47	0,46	0,39	0,38	0,25	0,14
		Desvio P	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	-	
	25-30	Média	0,59	0,52	0,49	0,43	0,39	0,38	0,20	0,19
		Desvio P	0,03	0,03	0,03	0,05	0,01	0,01	-	

*Dados de umidade retida a pF 4.2 (log cm) foram estimados pela textura e baseados em trabalho anterior de Teixeira (2001). Desvio P corresponde ao desvio padrão.

Tabela 2. Parâmetros das funções de retenção de água ajustados para amostras de Latossolo Amarelo, textura muito argilosa, coletados em áreas de canaviais (Usina e Pororoca) e de Floresta Primária Fazenda Jayoro - Presidente Figueiredo - AM.

Profundidade (cm)	Usina		Pororoca		Floresta	
	05-10	25-30	05-10	25-30	03-07	25-30
Parâmetros	Função Unimodal - van Genuchten					
$\theta_s (m^3 m^{-3})$	0,571	0,586	0,668	0,498	0,631	0,599
$\theta_r (m^3 m^{-3})$	0,252	0,000	0,248	0,000	0,075	0,000
$\alpha (cm^{-1})$	0,500	0,443	0,500	0,002	0,500	0,221
n	1,375	1,102	1,46	1,25	1,119	1,115
RMSE	0,015	0,028	0,016	0,033	0,023	0,029
Parâmetros	Função Bimodal - Durner					
$\theta_s (m^3 m^{-3})$	0,566	0,580	0,666	0,548	0,642	0,588
$\theta_r (m^3 m^{-3})$	0,199	0,175	0,262	0,184	0,163	0,181
$\alpha_1 (cm^{-1})$	0,499	0,282	0,500	0,000	0,000	0,101
n1	10,893	1,412	1,709	9,096	7,91	1,613
W1	0,246	0,59	0,841	0,538	0,355	0,564
$\alpha_2 (cm^{-1})$	0,500	0,000	0,011	0,091	0,452	0,000
n2	1,180	8,094	15,000	1,415	1,324	8,700
W2	0,754	0,410	0,159	0,462	0,645	0,436
RMSE	0,012	0,015	0,008	0,014	0,016	0,014

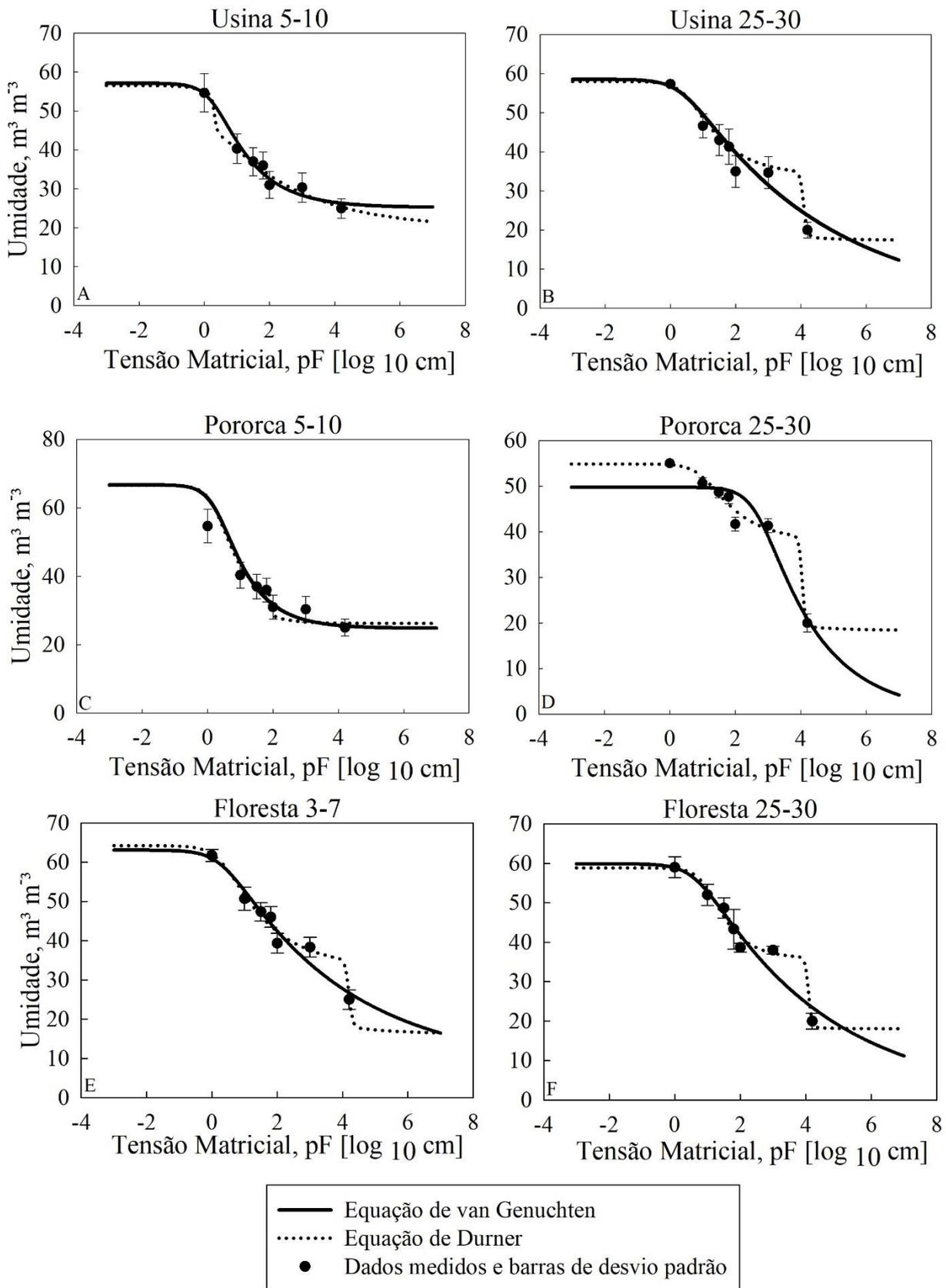


Figura 1. Funções de retenção da água ajustadas para amostras de Latossolo Amarelos sob canavial (Usina e Pororoca) e área de floresta nos horizontes A e Bw1 para os modelos unimodal (van Genuchten, 1980) e bimodal (Durner, 1994).