

PARÂMETROS DAS CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E DE CONDUTIVIDADE HIDRAULICA EM BACIA EXPERIMENTAL

Oswalcélio M. Furtunato¹; Albert Einstein Spíndola Saraiva de Moura²; Leidjane Maria Maciel de Oliveira³; Eduardo S. de Souza⁴; Suzana Maria Gico Lima Montenegro⁵; Antonio Celso Dantas Antonino⁶; Yuri Oliveira Lima⁷; Antonio M. da Silva⁸

RESUMO - As funções de pedotransferência são utilizadas para estimar propriedades dos solos a partir de outras propriedades medidas rotineiramente com maior facilidade e baixo custo. O objetivo deste trabalho foi aplicar diferentes funções de pedotransferência para estimar os parâmetros da curva de retenção de água no solo e da curva de condutividade hidráulica e comparar com os resultados observados pelo método Beerkan. Foram avaliadas cinco funções para condutividade hidráulica K_s , três para a umidade saturada θ_s , três para o parâmetro n e uma para η , em três classes texturais (argilosa, média e arenosa). Os modelos de Jabro (1992) e Rawls e Brakensiek (1989) apresentaram desempenho “bom” e “mediano” em solo de textura arenosa para o parâmetro K_s .

ABSTRACT - Pedotransfer functions are used to estimate soil hydraulic properties based on the other easily and low cost measured properties. The objective of this work was to apply different pedotransfer functions to estimate the parameters of the soil water retention curve and of the hydraulic conductivity curve and compare with results observed by the Beerkan method. Five functions were tested for " K_s ", three for " θ_s ", three for " n " and one for " η ", in three textural classes (loamy, average and sandy). The models of Jabro (1992) and Rawls and Brakensiek (1989) presented "good" and "medium" performance in soil of sandy texture for the parameter K_s .

Palavras-chave: funções de pedotransferência, bacia experimental, Beerkan.

-
- 1) Doutorando em Engenharia Civil - Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, (DECIV/CTG/UFPE), Av Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife/PE. Caixa Postal 7800. CEP: 50741 - 530. Tel: (81) 2126 - 7216. E-mail: osvalcelio@yahoo.com.br
 - 2)Doutorando em Engenharia Agrícola, (DTR/UFRPE) Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, Recife-PE, Brasil, CEP: 50.000-000, Tel: (81) 2126.7216,. E-mail: aessmoura@yahoo.com.br.
 - 3) Doutoranda em Engenharia Civil - Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, (DECIV/CTG/UFPE), Av Acadêmico Hélio Ramos, s/n, CDU, Recife/PE. Caixa Postal 7800. CEP: 50741 - 530. Tel: (81) 2126 - 7216. E-mail: leidianeoliveira@hotmail.com
 - 4) Professor da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Fazenda Saco S/N, CEP 56900-000 Serra Talhada (PE). E-mail: eduardosouza@uast.ufpe.br;
 - 5) Professora do Departamento de Engenharia Civil (DECIV/CTG/UFPE), Av Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife/PE. Caixa Postal 7800. CEP: 50741 - 530. Tel: (81) 2126 - 8709. E-mail: suzanam@ufpe.br.
 - 6) Professor do Departamento de Engenharia Nuclear (DEN/CTG/UFPE), Av Professor Luís Freire, 1000, Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50740 - 540. Tel: (81) 2126 - 7973. E-mail: acda@ufpe.br.
 - 7) Graduando em Engenharia Civil (DECIV/CTG/UFPE), Av Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife/PE. Caixa Postal 7800. CEP: 50741 - 530. Tel: (81) 2126 - 7216. E-mail: yurivol@hotmail.com
 - 8) Graduando em Engenharia Agrícola, (DTR/UFRPE) Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, Recife-PE, Brasil, CEP: 50.000-000, Tel: (81) 2126.7973,. E-mail: antmarquess@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO

Dentre os métodos existentes com intuito de estimar a condutividade hidráulica, alguns se utilizam de equações empíricas derivadas de dados experimentais e outras são oriundas de modelos físicos que exprimem a condutividade hidráulica em função da umidade ou do potencial matricial do solo. Enquanto os primeiros métodos são aplicáveis apenas em situações próximas àquelas para as quais as equações foram derivadas, os demais envolvem o conhecimento de um dos parâmetros de mais difícil determinação, a condutividade hidráulica do solo saturado (BRANDÃO et al., 2006).

Apesar dos inúmeros estudos das propriedades hidráulicas do solo, a seleção de dados apropriados para aplicações específicas ainda é um trabalho bastante difícil. Normalmente, para se fazer inferências sobre o valor verdadeiro de uma propriedade do solo no campo, é necessário coletar um grande número de informações. No caso da caracterização hidrodinâmica dos solos isto implica em ensaios de campo e de laboratório bastante dispendiosos, que oneram e demandam um longo tempo de execução dos experimentos. O custo efetivo dessas determinações levou alguns pesquisadores a utilizarem métodos indiretos que se baseiam em dados do solo prontamente disponíveis, usuais e de baixo custo, tais como, a textura, a massa específica dos solos, a porosidade, o teor de matéria orgânica e outros (WAGNER et al., 2001; MINASNY et al., 1999; MINASNY & McBRATNEY, 2002). Essas relações são comumente denominadas de *Função de Pedotransferência* (FTP) que, segundo Gregorich (2006), são funções (modelos de regressões) que transferem propriedades conhecidas do solo para propriedades do solo desconhecidas, com as vantagens de maior facilidade.

Diferentes abordagens têm sido utilizadas para o desenvolvimento de funções de pedotransferência, no entanto, segundo Silva (2008), na literatura predominam as funções para a curva de retenção de água no solo. Dentre os modelos de pedotransferência para curva de retenção de água no solo $\theta(h)$ e para a curva de condutividade hidráulica $K(\theta)$, pode-se destacar os modelos de Van Genuchten (1980) e de Brooks & Corey (1964). Esses modelos são dotados de parâmetros de forma e de normalização, cuja estimativa, através de funções bem ajustadas, favorece a otimização do trabalho em campo.

Uma alternativa que propõe a estimativa dos parâmetros das curvas $\theta(h)$ e $K(\theta)$ considerando a textura e a estrutura do solo é o método “Beerkan” (HAVERKAMP et al., 2006; BRAUD et al., 2005; LASSABATÈRE et al., 2006). Nesse método, dois parâmetros de forma, que estão relacionados principalmente com a textura do solo, e três parâmetros de normalização, dependentes da estrutura do solo, descrevem as curvas $\theta(h)$ e $K(\theta)$ (SOUZA et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi aplicar diferentes funções de pedotransferência para estimar os parâmetros da curva de retenção de água no solo e da curva de condutividade hidráulica e comparar com os resultados obtidos pelo método Beerkan, em bacia experimental no Estado de Pernambuco.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na bacia experimental do riacho Gameleira, localizada entre as coordenadas 242250W – 249250E e 9108500N – 9102500S, distante 50 Km de Recife e situada numa área de transição entre a Zona da Mata e o Agreste, no município de Vitória de Santo Antão. A bacia é caracterizada por uma rede de drenagem de 18,8 Km² com precipitação média anual de 1098 mm. Os solos são predominantemente do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo e Gleissolos. O Riacho Gameleira é afluente do Rio Tapacurá, de grande importância para o abastecimento da região, e situa-se na bacia hidrográfica do rio Capibaribe. A Bacia do Rio Tapacurá é de grande importância para o abastecimento e controle de enchentes da região metropolitana do Recife (ARAÚJO FILHO, 2004).

Para os ensaios de infiltração, foram escolhidos 102 pontos, distribuídos na bacia em uma malha com espaçamento de 500 m, visando cobrir toda a área da bacia (Figura 01). Os ensaios foram realizados com infiltômetro de anel simples com 15 cm de diâmetro. Nesses ensaios (Figura 02), foram adicionados volumes constantes de água (70 a 250 ml), dependendo da textura do solo, e medido o intervalo de tempo que cada volume gastou para infiltrar, de tal forma que o teste era finalizado quando o intervalo de tempo necessário para tais volumes infiltrarem se repetisse no mínimo três vezes. Nos mesmos pontos, foram coletadas amostras de solo, deformadas e indeformadas, para determinação da umidade (inicial e final), densidade, porosidade, curva de retenção da água no solo e curva de distribuição do diâmetro das partículas. As amostras indeformadas foram retiradas através do extrator de Uhland com cilindros de PVC de 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura, conforme visto na figura 02. Esses valores foram utilizados para aplicação da metodologia Beerkan.

Essa metodologia descreve as curvas de retenção da água no solo, $h(\theta)$, e da condutividade hidráulica, $K(\theta)$, dos modelos de Van Genuchten (1980) e de Brooks & Corey (1964) (Equações 1 e 2). Os parâmetros de forma e de normalização desses dois modelos podem ser obtidos a partir da curva de distribuição dos tamanhos das partículas, da porosidade e de experimentos de infiltração. Maiores detalhes sobre o método Beerkan pode ser encontrado em Haverkamp et al. (1998); Braud et al. (2005); Lassabatère et al. (2006); Souza (2005) e Furtunato et al. (2007, 2008).

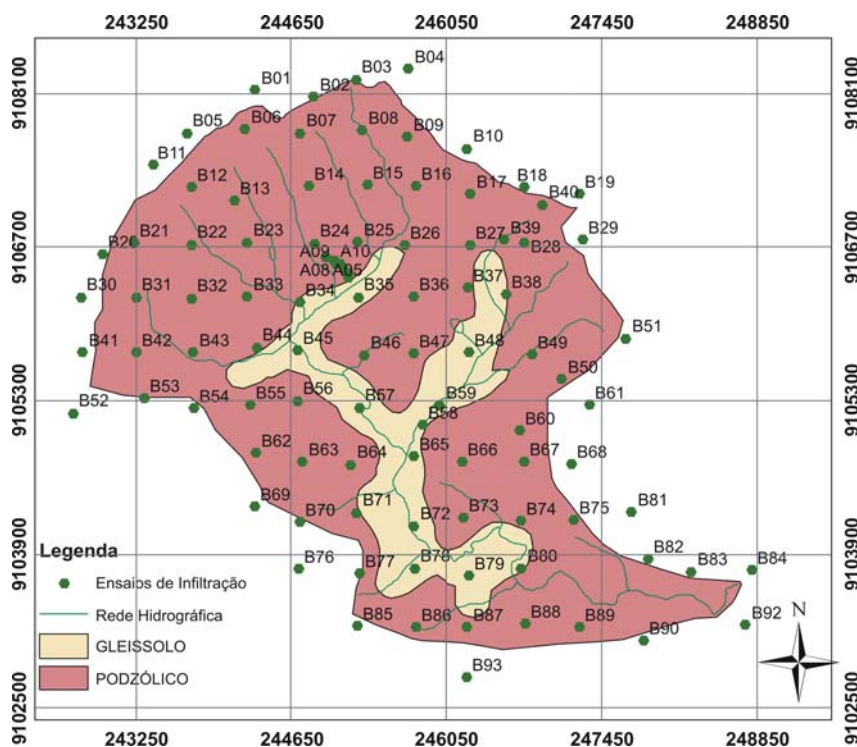


Figura 01. Malha de distribuição dos pontos ensaiados sobre os solos predominantes na bacia experimental do riacho Gameleira – PE.



Figura 02. Teste de infiltração com anel simples na bacia experimental do riacho Gameleira – PE.

$$\theta(h) = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[1 + \left(\frac{h}{h_g} \right)^n \right]^{-m} \quad (1)$$

$$K(\theta) = K_s \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}^\eta \quad (2)$$

Função de Pedotransferência

Foram utilizadas funções de pedotransferência para estimativa de parâmetros de forma e de normalização das equações 1 e 2. Cinco funções foram usadas para estimar a condutividade hidráulica saturada “Ks”, três para estimar a umidade de saturação “θs”, uma para o parâmetro “η” e três para o parâmetro “n” (Tabela 01).

Tabela 01. Funções de pedotransferência (FTP) para estimativa dos parâmetros de normalização “Ks e θs” e de forma “n e η” utilizados nas equações de Van Genuchten (1980) e Brooks & Corey (1964)

PARÂMETROS	MODELOS
θ _s	Vereecken (1988); Saxton et al. (1986) LR8 (Rajkai et al., 2004).
K _s	Rawls & Brakensiek (1989); Jabro (1992); Saxton et al. (1986); Wösten (1999); Vereecken (1988).
n	Vereecken (1988); LR8 (Rajkai et al., 2004); Wösten (1999).
η	Rawls e Brakensiek (1989)

Análise estatística

A análise estatística foi realizada com base no do desempenho dos métodos indiretos com relação ao Beerkan. Considerando-se os seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (r); índice de concordância (d) e índice de desempenho (c).

A precisão é dada pelo coeficiente de correlação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média. Já a exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente, essa aproximação é dada por um índice designado de concordância (d) (Willmott *et al.*, 1985). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para concordância perfeita. O índice de Willmott é dado pela Equação 3.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|T - M| + |M - \bar{M}|)^2} \right] \quad (3)$$

Em que:

d = índice de concordância, adimensional, variando de 0 a 1;

T_i = valor estimado pelas funções;

M_i = valor obtido pelo Beerkan;

$\bar{M}$ = média dos valores obtidos pelo Beerkan.

Segundo Oliveira (2007), o índice de desempenho (c) foi proposto por Camargo & Sentelhas (1997), com critérios conforme a Tabela 02, para indicar o desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão “ r ” e de exatidão “ d ”, sendo expresso pela equação 4.

$$C = r \times d \quad (4)$$

Em que:

C = índice de desempenho;

r = coeficiente de correlação;

d = índice de concordância, adimensional, variando de 0 a 1.

Tabela 02 – Critério de interpretação do desempenho das funções de pedotransferência.

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo & Sentelhas (1997)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos cento e dois pontos ensaiados, pôde-se observar a presença de solo de textura argilosa, média e arenosa. A densidade do solo variou de 1,24 a 1,94g m⁻¹ e a porosidade de 0,27 a 0,53. Essas variações, além da própria característica física do solo, são resultados também de compactações provenientes de práticas agrícolas e agropecuárias existentes na bacia. É mostrada na figura 03 a distribuição textural dos pontos da bacia onde se realizaram os testes de infiltração.

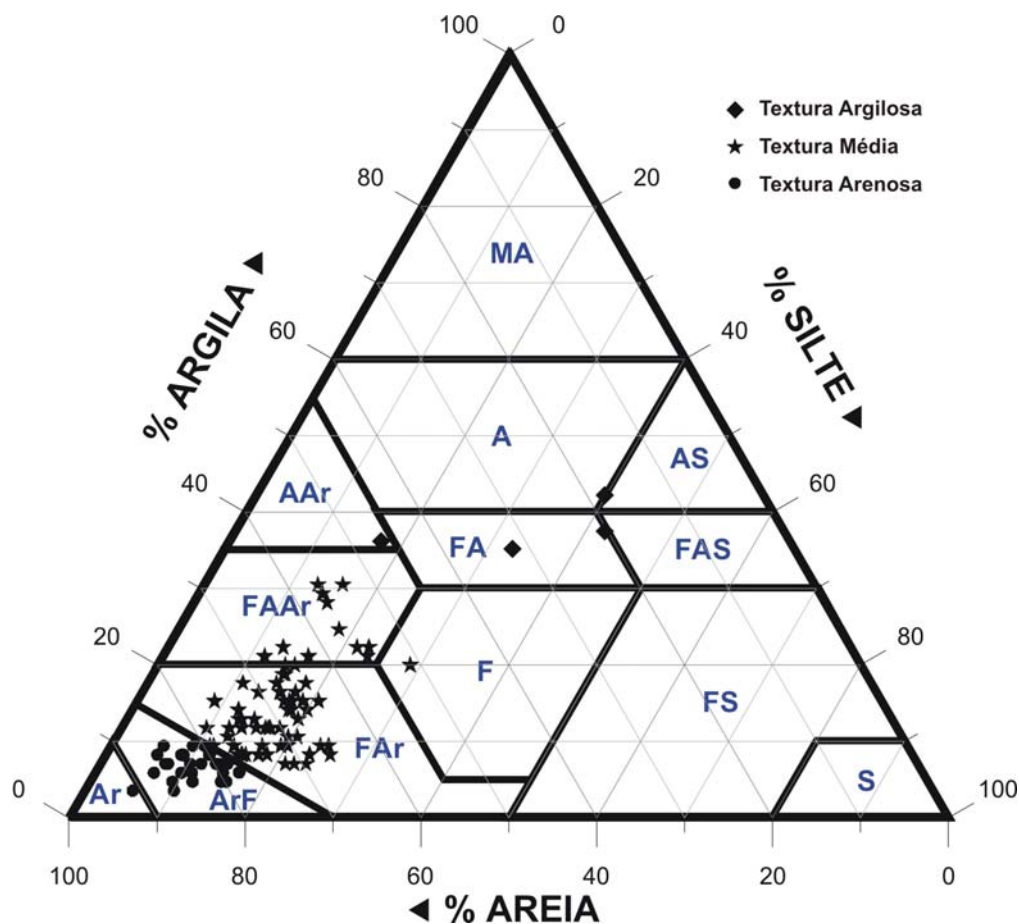


Figura 03. Classes Texturais Dominantes dos Solos nos Pontos Ensaaiados na Área. Ar: Areia; ArF: Areia Franca; FAr: Franco Arenoso; F: Franco; FAAr: Franco Argilo Arenoso; FA: Franco Argiloso; FS: Franco Siltoso; S: Silte; FAS: Franco Argilo Siltoso; AS: Argila Siltosa; AAr: Argila Arenosa; A: Argila; MA: Muito Argiloso.

Pode-se observar que na maioria dos pontos onde se realizaram os testes o solo apresenta textura média e arenosa, com um pequeno número de pontos com textura argilosa. Isso contribuiu para que os testes de infiltração fossem relativamente rápidos, proporcionando a realização de vários testes em um único dia.

Dos modelos utilizados para estimar a condutividade hidráulica saturada do solo (K_s), a maioria não apresentou resultado satisfatório. É apresentada na tabela 03 a análise estatística dos resultados estimados pelas FTPs em relação ao obtido pelo método Beerkan.

Tabela 03. Análise estatística dos valores de condutividade hidráulica (K_s) estimados por FTPs.

		C	Desempenho
Rawls & Brakensiek (1989)	ARG	-0,19713	Péssimo
	MED	0,34823	Péssimo
	ARE	0,62674	Mediano
Saxton et al. (1986)	ARG	0,00779	Péssimo
	MED	-0,10309	Péssimo
	ARE	-0,1298	Péssimo
Jabro (1992)	ARG	-0,15309	Péssimo
	MED	0,20521	Péssimo
	ARE	0,70741	Bom
Vereecken (1988)	ARG	3,32E-05	Péssimo
	MED	4,51E-07	Péssimo
	ARE	5,74E-05	Péssimo
Wösten (1999)	ARG	-0,19425	Péssimo
	MED	0,302002	Péssimo
	ARE	0,599713	Sofrível

Observa-se na tabela 03, quanto ao desempenho para as três classes texturais, que a maioria dos modelos foi classificada como “*péssimo*”. No entanto, o modelo de Jabro (1992), foi classificado como “*bom*”, o modelo de Rawls e Brakensiek (1989), como “*mediano*”, e o modelo de Wosten (1999) como *sofrível*, todos para solos arenosos.

Nas tabelas 04, 05 e 06 é apresentada a análise do desempenho das funções FTPs com relação ao método Beerkan, para os parâmetros θ_s , n e η , respectivamente.

Tabela 04. Análise estatística dos valores de umidade de saturação (θ_s) estimados por FTPs.

		C	Desempenho
Saxton et al (1986)	ARG	0,02	Péssimo
	MED	0,09	Péssimo
	ARE	0,08	Péssimo
Vereecken (1988)	ARG	0,08	Péssimo
	MED	0,17	Péssimo
	ARE	0,02	Péssimo
LR8 (Rajkai et al., 2004)	ARG	0,00	Péssimo
	MED	0,00	Péssimo
	ARE	0,00	Péssimo

Tabela 05. Análise estatística para o parâmetro “n” estimados por FTPs

		C	Desempenho
Vereecken (1988)	ARG	0,08695	Péssimo
	MED	-0,25509	Péssimo
	ARE	-0,09675	Péssimo
Wösten (1999)	ARG	0,10129	Péssimo
	MED	-0,22363	Péssimo
	ARE	-0,05440	Péssimo
LR8 (Rajkai et al., 2004)	ARG	-0,11404	Péssimo
	MED	-0,24699	Péssimo
	ARE	0,01607	Péssimo

Tabela 06. Análise Estatística para o parâmetro “ η ” estimados por FTPs

		C	Desempenho
Rawls e Brakensiek (1989)	ARG	0,13	Péssimo
	MED	0,04	Péssimo
	ARE	0,07	Péssimo

Observa-se nas tabelas 04, 05 e 06 que todos os modelos foram classificados como tendo péssimo desempenho, indicando a baixa precisão e exatidão desses modelos em relação ao Beerkan.

Cabe ressaltar que as FTPs não levam em consideração o efeito estrutural do solo, este fato pode ter influenciado para que os modelos não apresentassem resultados satisfatórios, principalmente para K_s e θ_s , em relação ao Beerkan.

CONCLUSÃO

A maioria das funções de pedotransferência utilizada não apresentou resultados satisfatórios em relação ao método Beerkan para os parâmetros K_s , θ_s , n e η , nas três classes texturais;

Para K_s o modelo de Jabro (1992) apresentou desempenho *bom*, o modelo de Rawls e Brakensiek (1989) desempenho *mediano* e o modelo de Wosten (1999) desempenho *sofrível*, para os solos de textura arenosa.

O método Beerkan apresenta vantagem em relação às FPTs, pois esta metodologia considera o efeito estrutural do solo, o que o torna mais adequado em estudos de análise espacial e temporal das propriedades hidráulicas do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FINEP/CT_Hidro ao projeto de pesquisa Bacias Experimental e Representativa da REHISA-BEER-PE, à FACEPE (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Pernambuco e ao CNPq/UFPE pela concessão de bolsas de doutorado e PIBIC.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO FILHO, P. F.; CABRAL, J. J. P.; ANTONINO, A. C. D. (2004). “Modelagem hidrológica de micro bacia do riacho Gameleira – PE utilizando o modelo TOPSIMPL”. In: Anais do VII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. São Luís - MA. CD-ROM.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA D. D. (2006). *Infiltração de água no solo*. Ed. UFV – Viçosa – MG, 120p.
- BRAUD, I.; De CONDAPPA, D.; SORIA UGLADE, J. M.; HAVERKAMP, R.; ANGULO-JARAMILLO, R.; GALLE, S.; and VAUCLIN, M. (2005). “Use of scaled forms of the infiltration equation for the estimation of unsaturated soil hydraulic properties (the Beerkan method)”. *European Journal of Soil Science*, v.56, pp. 361-374.
- BROOKS, R. H.; COREY, A. T. (1964). “Hydraulic properties of porous media”. *Hydrology Paper*, n.3, Colorado State University, Fort Collins.
- CAMARGO, A.P; SENTELHAS, P.C. (1997). Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, maio, 89-97 pp.
- FURTUNATO, O. M.; SOUZA, E. S.; SOARES, W. A.; ANTONINO, A. C. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; OLIVEIRA, L. M. M.; SILVA, A. M. (2007). Características hidrodinâmicas de solos numa parcela da bacia experimental do Riacho Gameleira – PE. In Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo – SP, nov. 2007, CD ROOM.
- FURTUNATO, O. M.; OLIVEIRA, L. M. M.; SOUZA, E. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, A. M. (2008). Aplicação do método Beerkan e de funções de pedotransferência para estimativa da condutividade hidráulica saturada na bacia experimental do Riacho Gameleira – PE. In Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador – BA, nov. 2008, CD ROOM.
- GREGORICH, G. (2006). *Quality. Encyclopedia of Soil Science*. Columbus: Taylor & Francis Group, p.1388-1391.

HAVERKAMP, R. (2006). “Beerkan Estimation of Soil Transfer parameters through infiltration experiments – BEST”. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.70, pp. 521-532.

JABRO, J.D. (1992). Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density data. Am. Soc. Agric. Eng., 35:557-560.

LASSABATÈRE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; SORIA, J.M.; CUENCA, R.; BRAUD, I.; HAVERKAMP, R. (2006). “Beerkan Estimation of Soil Transfer parameters through infiltration experiments – BEST”. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.70, pp. 521-532.

MINASNY B., A.B. MCBRATNEY, AND K.L. BRISTOW. (1999). Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. Geoderma 93:225–253.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B. (2002). “The efficiency of various approaches to obtaining estimates of soil hydraulic properties”. Geoderma 107, pp. 55-70.

OLIVEIRA, L.M.M. (2007). *Avaliação da evapotranspiração de referência (ET_o) na bacia experimental do riacho Gameleira – PE, utilizando lisímetro de pesagem hidráulica e métodos indiretos*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 111p. Dissertação de Mestrado.

RAJKAI K., KABOS S., and VAN GENUCHTEN M.Th. (2004). Estimating the water retention curve from soil properties: comparison of linear, nonlinear and concomitant variable methods. Soil Till. Res., 79, 145-152.

RAWLS, W.J., BRAKENSIEK, D.L., (1989). “Estimation of soil water retention and hydraulic properties”. In: Morel-Seytoux, H.J. Ed., Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling—Theory and Practice. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, pp. 275–300.

SAXTON, K.E., RAWLS, W.J., ROMBERGER, J.S., PAPENDICK, R.I. (1986). “Estimating generalized soil water characteristics from texture”. Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 1031–1036.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. (2008). Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. Revista Brasileira de Ciências do Solo. 32: 1 – 10.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; ÂNGULO-JARAMILLO, R.; NETTO, A. M. (2008). “Caracterização hidrodinâmica de solos: aplicação do método”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.12, n 2, pp.128-135,.

VAN GENUCHTEN, M.Th. (1980). “A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils”. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.44, pp.892-898.

VEREecken H. (1988). Pedotransfer functions for the generation of hydraulic properties for Belgian soils. In: PhD thesis, Faculty of Agricultural Eng. K.U. Leuven, Leuven, p. 254.

WAGNER, B.; TARNAWSKI, V. R.; HENNINGS, V.; MÜLLER, U.; WESSOLEK, G.; PLAGGE, R. (2001). “Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set”. *Geoderma* 102, pp. 275-297.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. (1985). Statistics for the evaluation and comparison for models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v90, n C5, pp 8995-9005.

WÖSTEN, J.H.M., LILLY, A., NEMES, A., LE BAS, C. (1999). “Development 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils”. *Geoderma* 90, pp. 169–185.