

# ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA ATRAVÉS DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA EM SOLO ALUVIAL NO AGRESTE DE PERNAMBUCO

<sup>1</sup>Costa, C. S.; <sup>1</sup>Silva, G. B.; <sup>1</sup>Silva, J. J. N.; <sup>2</sup>Montenegro, S. M. G. L. & <sup>3</sup>Montenegro, A. A. A.

**RESUMO** - Este trabalho teve por objetivo comparar os valores de condutividade hidráulica saturada estimados por funções de pedotransferência (FPTs) com os valores obtidos em campo e laboratório de Neossolos do semi-árido de Pernambuco, no município de Pesqueira – PE. Foram utilizados dois conjuntos de dados com 40 e 15 amostras, respectivamente de estudos realizados na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, onde se pratica a agricultura familiar. Para todas as amostras foram determinadas as percentagens de areia, silte e argila. Os valores de condutividade hidráulica saturada (Ks) do conjunto de dados com 40 amostras foram determinados em laboratório. Para o conjunto de dados com 15 amostras, foi utilizado o permeâmetro de Guelph para determinar a condutividade hidráulica em campo. Foram utilizadas duas funções de pedotransferência, assim como o software Rosetta para estimar os valores e condutividade hidráulica e compará-los com os valores medidos. De uma maneira geral não se conseguiu uma boa concordância entre valores experimentais e as FPTs testadas. Outras funções de pedotransferência devem ser testadas, bem como deve-se buscar uma ampliação da base de dados experimental disponível.

**ABSTRACT** - The objective of this work was to compare the saturated hydraulic conductivity values estimated by pedotransfer functions (PTFs) to experimental values obtained in laboratory and at the field, in a Neossol from Pernambuco semi-arid, in Pesqueira municipality. Two data sets were used, with 40 and 15 data, respectively, from previous studies at N. S. do Rosario farm, where communal farming is adopted. Sand, silt and clay percentages were determined for all soil samples. Saturated hydraulic conductivity for the 40 samples data set was determined through laboratory experiments. For the data set with 15 records, the saturated hydraulic conductivity was determined through Guelph permeameter in situ experiments. Two pedotransfer functions were tested, and values generated by Rosetta software were also used in the analysis. In general, the PTFs tested did not presented a good performance. Other PTFs might be tested, and it is important to expand the data set for further analysis.

**Palavras chave:** Funções de pedotransferência, condutividade hidráulica saturada, permeâmetro de Guelph.

---

1) Doutorando em Engenharia Agrícola, UFRPE, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos. Recife-PE. CEP 52171-900.

2) Professora Associada, UFPE, Departamento de Engenharia Civil. Av. Acad. Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária. Recife-PE. CEP 50670-530. E-mail – suzanam@ufpe.br

3) Professor Associado, UFRPE, Departamento de Tecnologia Rural. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos. Recife-PE. CEP 52171-900. E-mail – monte@ufrpe

## 1. INTRODUÇÃO

Normalmente, para fazer inferências do valor verdadeiro das propriedades hidrodinâmicas do solo, tais como a curva característica e curva de condutividade hidráulica, é necessário coletar um grande número de informações. No caso da caracterização hidrodinâmica dos solos, isso implica em ensaios de campo e de laboratório dispendiosos e que demandam um tempo longo de execução. 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, como a textura, a massa específica dos solos, a porosidade, o teor de matéria orgânica, dentre outros (Minasny *et al.*, 1999; Minasny e McBratney, 2002). Essas relações são comumente chamadas de funções de pedotransferência - FPT (pedotransfer functions).

O termo funções de pedotransferência (FPT) foi introduzido por Bouma (1989), citado por Pachepsky & Rawls (1999), para referir-se às equações que relacionam características de retenção de umidade ou condutividade hidráulica com outras características mais facilmente obtidas. Atualmente, esse termo é empregado em um sentido mais abrangente, para designar as equações que estimam características edáficas de difícil obtenção a partir de outras mais facilmente obtidas, incluindo características morfológicas. Segundo Wösten *et al.* (2001), a distribuição do tamanho das partículas, a densidade do solo, o teor de matéria orgânica, a umidade, o teor de certos componentes da fração argila são alguns dos atributos do solo mais utilizados para gerar FPTs.

Na tentativa de estimar as propriedades hidráulicas de solos portugueses, Gonçalves *et al.* (1997) utilizaram funções de pedotransferência. As FPTs foram desenvolvidas por regressão entre dados hidráulicos e propriedades básicas dos solos. Os parâmetros dos modelos testados foram relacionados com propriedades básicas do solo, através de regressões múltiplas, a fim de se obter tais funções. Os resultados mostraram que os parâmetros de retenção de água no solo obtidos pelas FPTs foram piores que aqueles obtidos, por exemplo, com os modelos de Vereecken (1988) e de Wösten & van Genuchten (1988), enquanto que os resultados referentes à condutividade hidráulica mostraram-se ligeiramente superiores.

No estudo conduzido por Rossato (2001), que teve como objetivo elaborar um balanço hídrico para todo o Brasil, utilizando-se nova abordagem que incorpora características espaciais da distribuição das propriedades físicas dos solos. O autor também utilizou função de pedotransferência a partir da equação de van Genuchten (1980).

Almeida *et al.* (2008) tentaram desenvolver funções de pedotransferência que expliquem a relação entre a resistência do solo à penetração e o seu conteúdo de água a partir de dados obtidos com um penetrômetro de impacto, em solos de diferentes granulometrias e densidades. Essa relação

foi descrita por um modelo exponencial decrescente, com coeficientes de determinação que variaram de 0,79 a 0,96.

Moreira *et al.* (2004), com o objetivo de avaliar FPTs, utilizaram valores de condutividade hidráulica determinados em laboratório e em experimentos de infiltração de oito locais dentro de uma bacia experimental na região do semi-árido do Nordeste brasileiro, No estado do Rio Grande do Norte.

Segundo Willmott *et al.* (1985), a exatidão de um modelo de estimativa está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos valores observados, tendo sido propostos índices para avaliação da qualidade dos ajustes.

Montenegro & Montenegro (1997) utilizaram a função proposta por Rawls & Brakensiek (1989), para estimar parâmetros de água no solo necessários à modelagem espacial estocástica do escoamento não-saturado. Os autores concluíram que os valores para condutividade hidráulica saturada estimada pelo modelo, demonstraram um desempenho satisfatório para os solos da área em estudo.

Este trabalho teve por objetivo comparar os valores de condutividade hidráulica saturada estimados pelas funções de pedotransferência desenvolvidas por Saxton *et al.* (1986), Rawls & Brakensiek (1989) e pelo software Rosetta com os valores obtidos em campo e laboratório de um Neossolo do semi-árido de Pernambuco.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Base de dados

Para a base de dados foram utilizados dois conjuntos de dados:

O primeiro foi obtido por Montenegro (1997), através de pesquisa de campo realizada na área da Fazenda Nossa Senhora do Rosário, situada, a 15 Km do município de Pesqueira, no Estado de Pernambuco. No estudo, foram coletadas 40 amostras de solo deformadas em diversos pontos da área. Em seguida foram determinados em laboratório os percentuais de areia, silte e argila, como também o conteúdo de matéria orgânica das amostras. Por fim, foram realizados experimentos de condutividade hidráulica saturada em laboratório.

O segundo conjunto de dados foi obtido a partir do estudo realizado na mesma área por Lundgren (2004). Nesse estudo, foram coletadas 15 amostras. Além das percentagens de areia, silte e argila, também foram determinados os valores de condutividade hidráulica utilizando-se um permeâmetro de Guelph, calculado segundo Reynolds & Elrick (1986) Segundo Santos *et al.* (2004), o permeâmetro de Guelph permite o monitoramento da taxa de infiltração a partir da taxa de

queda do nível d'água dentro do reservatório até que um equilíbrio seja atingido. Tal procedimento é executado para pelo menos duas cargas hidráulicas dentro do furo de sondagem. No caso em estudo foram usadas quatro cargas, o que permite utilizar seis pares de cargas hidráulicas diferentes, sendo cada par de lâminas usada considerada uma repetição.

## 2.2. Funções de pedotransferência

Foram testadas duas funções, comparando suas estimativas e os valores obtidos em campo e laboratório. A primeira função testada foi a desenvolvida por Rawls & Brakensiek (1989), que utilizaram dados de campo a partir de 1323 solos dos EUA, para desenvolver uma equação de regressão que relacionasse a porosidade ( $\phi$ ), e as percentagens de areia (S) e argila (C) para estimar a condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) expressa em  $\text{cm h}^{-1}$  (eq. 1), com a porosidade calculada pela eq. 2. Na aplicação desse modelo foram considerados três diferentes valores teóricos de conteúdo de matéria orgânica (1,5; 3 e 5%) a fim de se verificar a influência da mesma nos valores preditos pelo modelo.

$$K = \exp \left[ \begin{array}{l} 19,52348(\phi) - 8,96847 - 0,028212(C) + 0,00018107(S^2) - 0,0094125(C^2) \\ - 8,395215(\phi^2) + 0,077718(S)(\phi) - 0,00298(S^2)(\phi^2) - 0,019492(C^2)(\phi^2) + \\ 0,0000173(S^2)(C) + 0,02733(C^2)(\phi) + 0,001434(S^2)(\phi) - 0,0000035(C^2)(S) \end{array} \right] \quad (1)$$

Em que:

$$\phi = \frac{2,65 - d}{2,65} \quad (2)$$

$$d = \frac{100}{\frac{\% \text{ matéria orgânica}}{\text{densidade da matéria orgânica}} + \frac{100 - \% \text{ matéria orgânica}}{\text{densidade mineral}}} \quad (3)$$

Pode-se assumir um valor médio de 0,224 g para densidade da matéria orgânica  $\text{cm}^{-3}$  e a densidade mineral foi estimada a partir do ábaco apresentado no artigo original de Rawls & Brakensiek (1989).

A outra função testada foi a desenvolvida por Saxton *et al.* (1986), para cálculo de condutividade hidráulica como função da umidade do solo ( $K(\theta)$ ). Utilizando-se o valor de saturação para o conteúdo de umidade, a condutividade hidráulica saturada pode ser avaliada pela função desenvolvida por Saxton *et al.* (1986) (eq. 4).

$$K = 2,778 \times 10^{-6} \{ \exp [p + q(\%S) + [r + t(\%S) - u(\%C) + v(\%C)^2](1/\theta)] \} \quad (4)$$

Em que:

- $\theta = h + j(\%S) + k \log_{10}(\%C)$
- $\theta = \theta_s$
- p, q, r, u, v, h, j e k são coeficientes do modelo, cujos valores são, respectivamente, 12,012,  $-7,55 \times 10^{-2}$ , -3,895, -0,1103,  $8,7546 \times 10^{-4}$ , 0,332,  $-7,251 \times 10^{-4}$  e 0,1276.

Também foi utilizado para estimar os valores de condutividade hidráulica saturada, para o banco de dados estudado, o modelo SSC do software ROSETTA (Schaap, 1999). O programa foi desenvolvido no Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (USDA), Riverside, Califórnia, e supervisionado por Leij van Genuchten (ZIMMERMANN & BASILE, 2008).

O software oferece opção de cinco modelos, para previsão das propriedades hidráulicas, utilizando menor ou maior número de parâmetros de entrada. O TXT é baseado em uma tabela que fornece parâmetros hidráulicos médios para cada classe de textura. Os outros modelos são baseados em redes neurais e fornecem previsões mais precisas, porque mais parâmetros de entrada são utilizados. O SSC utiliza percentagem de areia, silte e argila, o SSCBD acrescenta a densidade, enquanto o SSCBD33 a tensão da água a 33 KPa e o SSCBDTH33150 a tensão da água à 1500 KPa. Desta forma, no presente trabalho utilizou-se o modelo SSCBD, devido aos dados de entrada disponíveis.

Segundo Schaap *et al.* (2001) o software oferece uma interface gráfica amigável e combina as FPTs com uma simples estrutura de banco de dados para facilitar a estimativa de parâmetros e gestão de dados.

### 2.3. Avaliação do desempenho dos modelos

Para comparação dos dados determinados em campo com os estimados pelas funções de pedotransferência foram utilizados os seguintes índices estatísticos: Coeficiente de Determinação (CD), Eficiência de modelagem (EF), Erro Máximo (ME), Raiz Quadrada do erro médio quadrático

normalizado (RMSE) e Coeficiente de Massa Residual (CRM). Uma perfeita concordância entre todos os modelos levaria a  $CD = EF = 1$  e  $ME = RMSE = CRM = 0$  (LOAGUE e GREEN, 1991). As equações dos índices citados são apresentadas a seguir.

a) Erro Máximo

$$ME = \max(|O_i - P_i|)_{i=1}^n \quad (5)$$

b) Raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]^{0,5} \times \left( \frac{100}{\bar{O}} \right) \quad (6)$$

c) Coeficiente de determinação

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

d) Eficiência de modelagem

$$EF = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (8)$$

e) Coeficiente de massa residual

$$CRM = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right] \quad (9)$$

Os valores de  $O_i$  se referem aos dados obtidos a partir da Ks determinada em campo e laboratório, enquanto que os  $P_i$  dizem respeito aos dados estimados pelos modelos, sendo  $n$  o número de observações e  $\bar{O}$  a média dos valores determinados em campo e laboratório.

Tais índices também foram utilizados por Teixeira *et al.* (2005), na tentativa de comparar a performance da sonda de nêutrons e do TDR com o tensiômetro, buscando verificar a sensibilidade destes equipamentos na obtenção da umidade do solo e da função condutividade hidráulica  $K(\theta)$ . Já Pereira *et al.* (2008) e Sentelhas *et al.* (1997) utilizaram estes mesmos índices para realizar um

estudo comparativo entre dados obtidos por estações meteorológicas convencionais e estações meteorológicas automáticas nas cidades de Londrina-PR e Piracicaba-SP, respectivamente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 apresenta-se um resumo dos cinco índices estatísticos, calculados para os dados estimados pelos modelos e os obtidos em campo e laboratório a partir do estudo realizado por Montenegro (1997), para a variável condutividade hidráulica saturada.

Observa-se que os valores de ME na Tabela 1, tanto para os modelos estudados como também para a variação da matéria orgânica no modelo proposto Rawls & Brakensiek (1989), alcançaram o limite inferior máximo próximo de 0 (zero). Apesar do valor para o ME ter apresentado um valor ideal para uma perfeita concordância na eficiência do modelo, os demais índices (RMSE, CD, EF e CRM) não apresentaram valores ideais para a mesma condição.

Segundo Loague e Green (1991), quando EF for  $< 0$ , os valores preditos pelo modelo são piores do que simplesmente usar a média dos valores observados.

O aumento do conteúdo da matéria orgânica (valores teóricos) para o modelo proposto por Rawls & Brakensiek (1989) não apresentou mudanças marcantes nos índices estudados, demonstrando que nesse caso o conteúdo dessa variável não interferiu positivamente nos valores dos índices.

Tabela 1 – Índices estatísticos para avaliação de desempenho dos modelos Saxton *et al.* (1986) e Rawls & Brakensiek (1989) para estimativa de Ks com os dados de Montenegro (1997).

| Índices <sup>(1)</sup>  | Saxton   | R & B (M. O. medida) | R & B (M. O. 1,5%) | R & B (M. O. 3%) | R & B (M. O. 5%) | Rosetta  |
|-------------------------|----------|----------------------|--------------------|------------------|------------------|----------|
| ME (m s <sup>-1</sup> ) | 2,90E-05 | 2,92E-05             | 2,88E-05           | 2,77E-05         | 2,56E-05         | 2,56E-05 |
| RMSE (%)                | 163,64   | 160,64               | 159,97             | 158,38           | 157,10           | 163,73   |
| CD                      | 1,78     | 1,85                 | 1,87               | 1,92             | 1,98             | 1,68     |
| EF                      | -0,54    | -0,49                | -0,48              | -0,45            | -0,42            | -0,59    |
| CRM                     | 0,99     | 0,97                 | 0,96               | 0,94             | 0,93             | 0,99     |

<sup>(1)</sup>ME = Erro máximo, RMSE = Raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado, CD = Coeficiente de determinação, EF = Eficiência, CRM = Coeficiente de massa residual. Valores dos índices estatísticos para uma perfeita concordância entre a eficiência dos modelos: ME = 0, RMSE = 0, CD = 1, EF = 1, CRM = 0

Na Tabela 2 apresenta-se um resumo dos cinco índices estatísticos, calculados para os dados estimados pelos modelos e os obtidos utilizando-se o permeâmetro de Guelph a partir do estudo realizado por Lundgren (2004), para a variável condutividade hidráulica saturada.

Analisando-se os índices da Tabela 2 para o modelo proposto por Saxton *et al.* (1986), observa-se que nenhum deles apresentou valores que caracterizasse uma boa concordância entre os valores observados e os preditos pelo modelo.

Os valores dos índices para o modelo proposto por Rawls & Brakensiek (1989) quando comparados com os valores obtidos por Saxton *et al.* (1986) são ainda mais distantes da condição ideal de concordância, e à medida em que houve um aumento dos valores teóricos de matéria orgânica, houve também um aumento nos valores de ME, mostrando nesse caso uma maior sensibilidade das FPTs para o conjunto de dados utilizado.

Tabela 2 – Índices estatísticos para avaliação de desempenho dos modelos Saxton *et al.* (1986) e Rawls & Brakensiek (1989) para estimativa de Ks, com os dados de Lundgren (2004).

| Índices <sup>(1)</sup>   | Saxton | R & B (M. O. 1,5%) | R & B (M. O. 3%) | R & B (M. O. 5%) | Rosetta |
|--------------------------|--------|--------------------|------------------|------------------|---------|
| ME (cm h <sup>-1</sup> ) | 1,40   | 12,92              | 20,93            | 34,97            | 0,03    |
| RMSE (%)                 | 161,63 | 251,22             | 242,32           | 241,75           | 243,24  |
| CD                       | 2,92   | 5,85               | 6,50             | 7,52             | 4,93    |
| EF                       | -0,44  | -0,20              | -0,19            | -0,19            | -0,20   |
| CRM                      | 0,76   | 0,91               | 0,85             | 0,77             | 0,99    |

<sup>(1)</sup>ME = Erro máximo, RMSE = Raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado, CD = Coeficiente de determinação, EF = Eficiência, CRM = Coeficiente de massa residual. Valores dos índices estatísticos para uma perfeita concordância entre a eficiência dos modelos: ME = 0, RMSE = 0, CD = 1, EF = 1, CRM = 0

Nas Figuras 1 a 5 estão demonstradas as flutuação dos dados observados versus preditos, ao redor da linha de 45 graus em um gráfico 1:1. Analisando a distribuição dos pontos ao longo da linha 1:1 para os dados de Montenegro (1997), observa-se que, de maneira geral não houve uma boa concordância nos valores estimados pelos modelos quando comparados com os valores obtidos em laboratório. Portanto, as Figuras 1 a 5 ratificam os valores dos índices encontrados para ambos modelos.

Observa-se ainda que o modelo de Saxton *et al.* (1986) (Figura 1) apresentou um menor valor de R<sup>2</sup> quando comparado com os demais valores de R<sup>2</sup> obtidos a partir do modelo proposto por Rawls & Brakensiek (1989) (Figuras 2 a 5). Esse por sua vez apresentou o maior valor de R<sup>2</sup> para o valor de M.O. determinada em laboratório (Figura 2) e o aumento da matéria orgânica (valores teóricos) praticamente não proporcionou nenhuma mudança nesse indicador (Figuras 3, 4 e 5).

Para os valores de condutividade hidráulica estimados pelo software Rosetta, o comportamento dos índices também foi semelhante àquele apresentado pelas funções estudadas (Tabela 1 e 2), demonstrando uma baixa concordância entre os valores observados e os estimados pelo programa, apesar do R<sup>2</sup> para os dados de Montenegro (1997) ter sido de 61% (Figura 6).



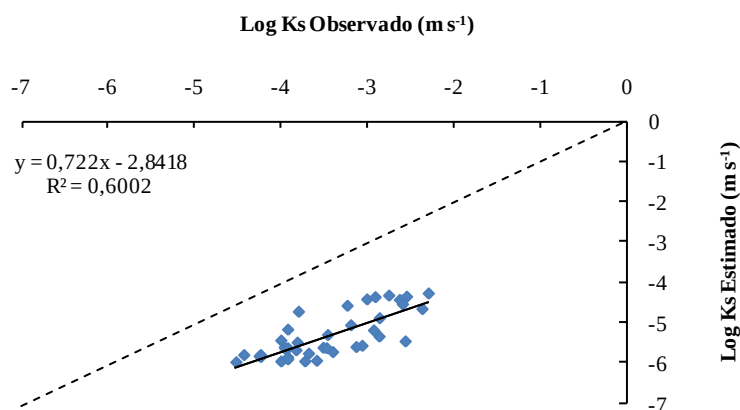


Figura 1 – Valores de condutividade hidráulica saturada (Ks) obtidos em laboratório versus os valores estimados pelo modelo de Saxton *et al.* (1986), para os dados de Montenegro (1997). A linha pontilhada representa a reta (1:1).

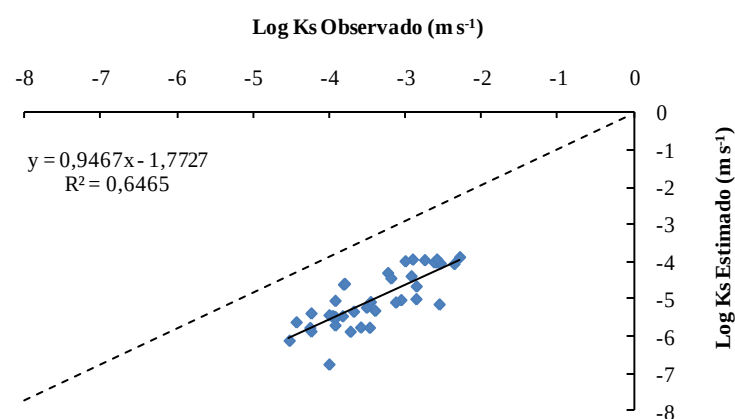


Figura 2 – Valores de condutividade hidráulica saturada (Ks) obtidos em Laboratório versus os valores estimados pelo modelo de Rawls & Brakensiek (1989) utilizando-se o valor original para o conteúdo de M.O., para os dados de Montenegro (1997).

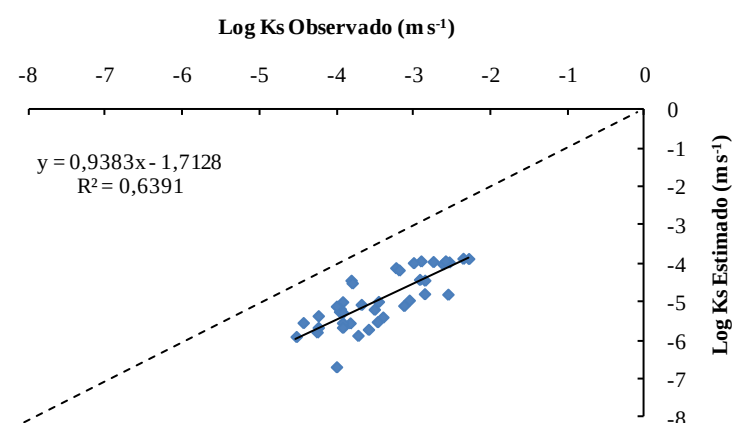


Figura 3 – Valores de condutividade hidráulica saturada (Ks) obtidos em Laboratório versus os valores estimados pelo modelo de Rawls & Brakensiek (1989) utilizando-se o valor de 1,5% para o conteúdo de M.O. para os dados de Montenegro (1997).

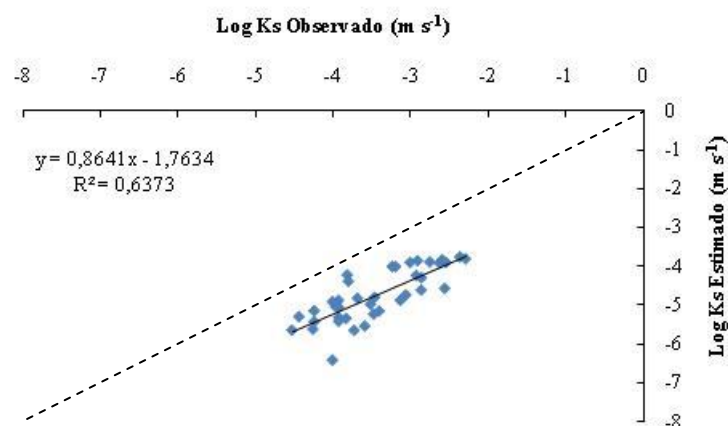


Figura 4 – Valores de condutividade hidráulica saturada (Ks) obtidos em Laboratório versus os valores estimados pelo modelo de Rawls & Brakensiek (1989) utilizando-se o valor de 3% para o conteúdo de M.O. para os dados de Montenegro (1997).

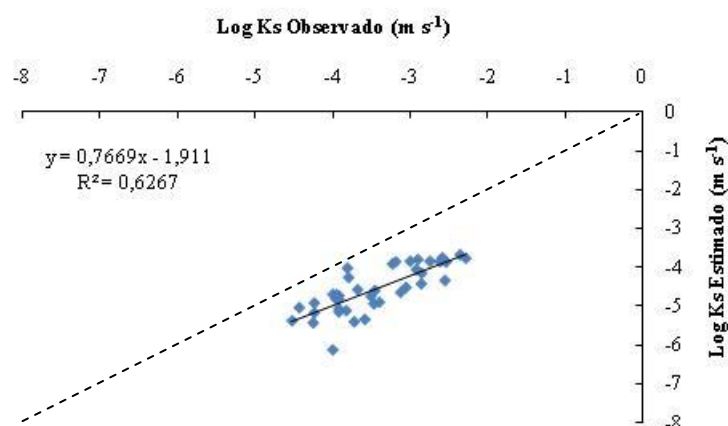


Figura 5 – Valores de condutividade hidráulica saturada (Ks) obtidos em Laboratório versus os valores estimados pelo modelo de Rawls & Brakensiek (1989) utilizando-se o valor de 5% para o conteúdo de M.O. para os dados de Montenegro (1997).

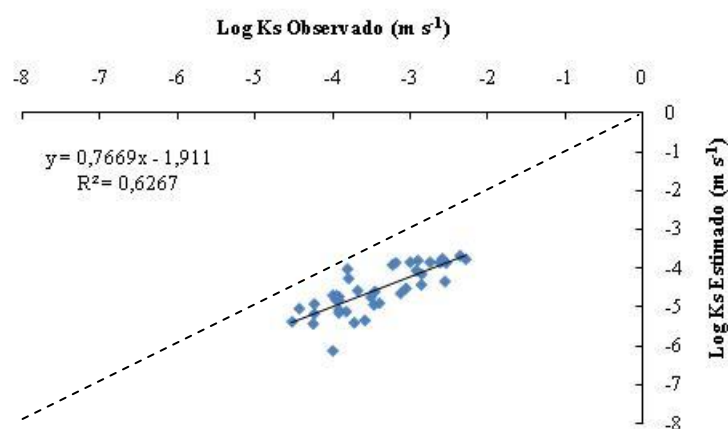


Figura 6 – Valores de condutividade hidráulica saturada (Ks) obtidos em Laboratório versus os valores estimados pelo programa Rosetta.

Os valores de  $R^2$  para os dados Lundgren (2004) foram muito baixos, com o maior valor encontrado para o coeficiente de determinação de cerca de 10%.

Segundo Wagner *et al.* (2001) e Wösten *et al.* (2001), o desempenho das FPT depende de vários fatores, como a semelhança entre a região de aplicação e a região da base de dados na qual foram geradas as FPT, do clima, da geologia e das técnicas de medidas empregadas. Santos et al. (2004), no trabalho realizados na mesma área estuda, também alerta para os riscos da aplicação das FPTs em condições distintas das que foram desenvolvidas.

Um dos fatores que pode ter contribuído para os resultados apresentados para o modelo proposto por Rawls & Brakensiek (1989), para os dados de Montenegro (1997), pode ter sido o fato de que este foi validado apenas para valores de percentagem de areia no solo menores que 70%. Como 32,5 % dos valores apresentavam percentuais de areia acima de 70% o modelo não conseguiu prever valores próximos dos valores obtidos em laboratório.

Para o conjunto de dados de Lundgren (2004) os resultados apresentados, podem ser atribuídos ao fato deste apresentar um número de amostras (15) pequeno. Segundo Loague e Green (1991), várias estatísticas são sensíveis a alguns grandes erros especialmente em pequenos conjuntos de dados.

Um outro fator é que as medidas de campo utilizadas com o permeâmetro de Guelph são muito relacionadas à estrutura do solo que não é considerada nas FPTs usadas para essa análise.

Embora não apresentando uma boa concordância com os valores de  $K_s$  do banco de dados estudado, boa parte dos valores estimados pelos modelos avaliados nesse trabalho foi semelhante aos determinados em por Monteiro (2007) e Bastos (2004), utilizando o permeâmetro de Guelph na mesma área.

#### 4. CONCLUSÃO

De maneira geral não houve uma boa concordância entre os valores estimados pelos modelos de Saxton *et al.* (1986) e Rawls & Brakensiek (1989), e os valores determinados em laboratório e campo, nas condições de estudo.

Um banco de dados com um maior número de observações tende a fornecer resultados mais confiáveis para estudos desse tipo.

Além disso, outras funções de transferências podem ser testadas, desde que se disponha de outras características do solo determinadas em laboratório, como por exemplo, densidade das partículas.

## AGRADECIMENTOS

Os autos agradecem a CAPES, CNPq e FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco), pela concessão de bolsas de doutorado; e ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pelo apoio institucional.

## 5. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F. & FREDDI, Onã da Silva; JORGE, R. F.; BARBOSA, J. C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2235-2235, 2008.

BASTOS, D. C. O. Manejo da salinidade em irrigação localizada: Análise da alternativa de lixiviação incompleta. 2004, 68 f. Doutorado em Ciência do Solo – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*, v.9, p.177-213, 1989.

GONÇALVES, M. C.; PEREIRA, L. S. & LEIJ, F. J. Pedo-transfer functions for estimating unsaturated hydraulic properties of portuguese soils. *Soil Science*, v. 48, n. 3, p. 387-400, 1997.

LOAGUE, K. e GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*, Amsterdam, v.7, p. 51-73, 1991.

LUNDGREN, W. J. C. Uso da Cokrigagem na Caracterização a Variabilidade Espacial da Condutividade Hidráulica. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, 2004, 87p.

MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. The efficiency of various approaches to obtaining estimates of soil hydraulic properties. *Geoderma*, v.107, p.55-70, 2002.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. & BRISTOW, K. L. Comparison of different approaches to

the development of pedotransfer functions for water retention curves. *Geoderma*, v.93, p.225-253, 1999.

MONTEIRO, A. L. N. Avaliação de lavagem incompleta de sais em Neossolo Flúvico utilizando modelagem computacional. 2007, 103 f. Doutorado em Ciência do Solo – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

MONTENEGRO, A. A.; SILVA, R. A.; NASCIMENTO, S. A. & BLACKBURN, D. M. Análise da Condutividade Hidráulica em Solos com Propriedades Vérticas na Ilha de Fernando de Noronha, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, Maceió. Anais CD – Rom, 2002.

MONTENEGRO, S. M. G. L. Stochastic analysis of salt accumulation in heterogeneous irrigated soils: a case study in Northeast Brazil. Ph. D. tese. Universidade de Newcastle, Inglaterra, 1997.

MOREIRA, L. F. F., RIGHETTO, A. M. & MEDEIROS, V. M. A. Soil hydraulics properties estimation by using pedotransfer functions in a Northeastern semiarid zone catchment, Brazil. iEMSs 2004 Proceedings, Osnabrueck, Germany, 2004.

PACHEPSKY, Y. & RAWLS, W. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. *Soil Science Society American Journal*, v.63, p. 1748-1757, 1999.

PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S. & CAVIGLIONE, J. H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina – PR. *Semina (Londrina)*, v. 29, p. 299-306, 2008

RAWLS, W. J. & BRAKENSIEK, D. L. Estimation of soil water retention and hydraulic properties. In: MOREL-SEYTOUX, H. J. (ed.), *Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling Theory and Practice*, Kluwer Academic Publisher, p. 275-300, 1989.

REYNOLDS, W. D. & ELRICK, de A. Method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and conductivity – pressure – head relationship. *Ground Water Monit Rev*, v.6, p.84-95, 1986.

ROSSATO, L. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001, 145p.

SANTOS, F. X. ; SANTOS, T. E.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. ; FIGUEIREDO, A. C. & ANDRADE, T. S. Avaliação da condutividade hidráulica saturada

determinada por metodologia direta e indireta em solos sob condições distintas de relevo. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, Ver Luis. Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Porto Alegre : ABRH, 2004. V. 1.

SAXTON, K. E., W. J. RAWLS, J. S. ROMBERGER & R. I. PAPENDICK. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Science Society of America Journal, v.50, p.1031-1036, 1986.

SCHAAP, M. G.; 1999. Rosetta version 1.0. US Salinity Laboratory, USDA, ARS: Riverside, CA, USA.

SCHAAP, M. G.; LEIJ, F. J. & VAN GENUCHTEN, M. Th. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. Journal of Hydrology. v. 251, 2001. p.163-176.

SENTELHAS, P. C.; MORAES, S. O.; DE ESTEFANO PIEDADE, S. M.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. & MARIN, F. R; Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, n.2, p.215-221, 1997.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O. & SIMONETE, M. A. Desempenho do Tensiômetro, TDR e Sonda de Nêutrons na determinação da Umidade e Condutividade Hidráulica do Solo. Revista brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 161-168, 2005.

VERECKEN, H. Pedotransfer functions for the generation of hydraulic properties for Belgian soils. Doctoraatsproefschrift Nr. 171 aan de Fakulteit der Lanbouwwetenschappen van de K.U. Leuven, 1988.

WAGNER, B.; TARNAWSKI, V.R.; HENNINGS, V.; MÜLLER, U.; WESSOLEK, G. & PLAGGE, R. Evaluation of pedotransfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. Geoderma, v.102, p. 275-297, 2001.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G. & DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, Sept. 1985.

WÖSTEN, J. H. M. & van GENUCHTEN, M. Th. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. Soil Science Society of America Journal, v.52, p.1762-

1770, 1988.

WÖSTEN, J. H. M.; PACHEPSKY, Y. A. A. & RAWLS, W. J. Pedotransfer functions: Bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*, v.251, p.123-150, 2001.

ZIMMERMANN, E. D. & BASILE, P. A. Uso de funciones de pedotransferencia para la estimación de parámetros hidráulicos en suelos limosos (Llanura Argentina). *Boletín Geológico y Minero*, Madrid, Espanha. v.119, n.1, p.71, 2008.