

# **FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA PREDIÇÃO DA UMIDADE RETIDA A POTENCIAIS ESPECÍFICOS EM SOLOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO<sup>(1)</sup>**

**L. B. OLIVEIRA<sup>(2)</sup>, M. R. RIBEIRO<sup>(3)</sup>, P. K. T. JACOMINE<sup>(3)</sup>,  
J. J. V. RODRIGUES<sup>(3)</sup> & F. A. MARQUES<sup>(4)</sup>**

## **RESUMO**

**Funções de pedotransferência são equações usadas para estimar características edáficas de difícil determinação a partir de outras mais facilmente obtidas. Apesar do bom número de equações disponíveis para estimativa da umidade retida a potenciais matriciais específicos, elas não devem ser usadas indiscriminadamente, pois, em sua maioria, foram desenvolvidas com solos de clima temperado e a partir de dados gerados por métodos diversos dos em uso nos laboratórios brasileiros. O presente trabalho teve por objetivos: (a) elaborar funções de pedotransferência para estimar o conteúdo de água nos potenciais de -33 e -1.500 kPa e a água disponível, a partir de dados granulométricos e de densidade do solo, para solos do estado de Pernambuco e (b) comparar a eficiência de predição das equações propostas em relação a equações similares, disponíveis na literatura. No desenvolvimento das equações, foi utilizada uma base de dados composta por 98 perfis de solos e 467 horizontes. Os perfis foram agrupados, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, em 27 classes de terceiro nível categórico (grande grupo). As equações desenvolvidas apresentaram bons coeficientes de determinação e baixo erro de predição. A sistematização dos dados por atividade da fração argila ou grau aproximado de desenvolvimento ou classe textural não produziu melhorias na capacidade preditiva das pedofunções. As equações propostas em outros trabalhos apresentaram elevado erro de predição, o que restringe a sua utilização para solos do estado de Pernambuco.**

**Termos de indexação: pedofunções, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, conteúdo de água.**

---

<sup>(1)</sup> Trabalho a ser apresentado no XXVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recebido para publicação em junho de 2001 e aprovado em janeiro de 2002.

<sup>(2)</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Rua Prof. Chaves Batista, 159, CDU, CEP 50740-030 Recife (PE). E-mail: lbdeoliveira@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Agronomia, UFRPE. Bolsista do CNPq. E-mail: rosas@truenet.com.br

<sup>(4)</sup> Discente do curso de Engenharia Agrônômica, UFRPE.

**SUMMARY:** *PEDOTRANSFER FUNCTIONS FOR THE PREDICTION OF MOISTURE RETENTION AND SPECIFIC POTENTIALS IN SOILS OF PERNAMBUCO STATE (BRAZIL)*

*Pedotransfer functions are equations used to estimate soil properties of difficult determination, based on other, more easily obtained soil properties. In spite of the considerable number of equations available to predict moisture retention to specific matrix potentials, these should not be used indiscriminately, since most of them were developed in temperate climate soils, using data obtained by method that differ from the ones used in Brazilian laboratories. The objectives of this study were: (a) to develop pedotransference functions to estimate water retention at potentials between -33 and -1,500 kPa and water availability, using particle size distribution and global density data from soils of Pernambuco State, and (b) to compare the prediction efficiency of the new equations with similar equations available in literature. A database of 467 soil horizons from 98 soil profiles was used to develop the equations. The profiles were grouped, according to the Brazilian Soil Classification System, in 27 third category level classes (great group) The obtained equations showed worthwhile determination coefficients and low prediction standard error. Data grouping according to clay fraction, approximated development rate or textural class, did not improve the prediction capacity of the pedofunctions. The equations proposed in other works presented high prediction errors and are not recommended for soils of Pernambuco State.*

*Index terms: Pedofunctions, field capacity, permanent wilting point, water content.*

## INTRODUÇÃO

A umidade retida pelo solo em potenciais matriciais específicos é largamente utilizada como critério no dimensionamento de projetos de irrigação e em outras áreas da agronomia, que incluem estudos de: disponibilidade de água às plantas, infiltração, drenagem, condutividade hidráulica, estresse hídrico e movimento de solutos no solo (Saxton et al., 1986; Kern, 1995). Os três principais critérios utilizados são conhecidos como capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD). A capacidade de campo corresponde ao limite superior da faixa de disponibilidade de água às plantas, e o conteúdo de água correspondente é, comumente, determinado nos potenciais matriciais de -10 kPa, para solos de textura arenosa, ou de -33 kPa, para solos de textura média a argilosa (EMBRAPA, 1995). O limite inferior da faixa de disponibilidade equivale ao PMP e a umidade correspondente é determinada submetendo-se amostras de solo à tensão de 1.500 kPa. A diferença entre os teores de água retidos na CC e no PMP é tida como água disponível. Essas definições, embora prescindam de um consistente embasamento teórico, como advogaram Reichardt (1988) e Lier (2000), são, inegavelmente, úteis na avaliação da aptidão agrícola das terras destinadas à agricultura irrigada ou de sequeiro.

A determinação destas propriedades no campo é laboriosa, demorada e de custo elevado (Muelem (1986) e Bouma (1983) citados por Lin et al., 1999). No laboratório, persistem problemas de custo,

morosidade e inexatidão. Particularmente, no Nordeste brasileiro, destaca-se o problema da escassez de laboratórios com instrumental adequado para tais determinações.

Partindo da hipótese de que há estreitas relações entre as características de retenção de umidade e outras características edáficas mais facilmente mensuráveis, pesquisadores como Salter & Williams (1965), Salter et al. (1966), Petersen et al. (1968), Ahuja et al. (1985), Saxton et al. (1986), Arruda et al. (1987), Meng et al. (1987), Rawls et al. (1991), Kern (1995), Berg et al. (1997), dentre outros, utilizaram-se de princípios galtonianos para elaborar equações com vistas em estimar os parâmetros supramencionados. Bouma (1989), citado por Pachepsky & Rawls (1999), introduziu o termo Funções de Pedotransferência (FPT), para referir-se às equações que relacionam características de retenção de umidade ou condutividade hidráulica com outras características mais facilmente obtidas. Atualmente, este termo é empregado num sentido mais abrangente, para designar as equações que estimam características edáficas de difícil obtenção a partir de outras mais facilmente obtidas, incluindo, até mesmo, características morfológicas, como fizeram Lin et al. (1999).

Atualmente, número considerável de trabalhos propõem equações para predição do conteúdo de água retida pelo solo nos potenciais equivalentes à CC, PMP e a AD. No entanto, estas equações não devem ser usadas indiscriminadamente, pois, em sua maioria, foram desenvolvidas com solos de clima temperado e seu uso impede de calibrações locais. As funções de pedotransferência tendem a

ser tão mais acuradas quanto mais homogêneos forem os solos que compõem a base de dados e quanto mais próximos destes estiverem os que terão seus dados estimados. Outro problema refere-se a diferenças nos métodos analíticos empregados para obtenção das variáveis dependentes e independentes.

Por estas razões, foi desenvolvido o presente trabalho que objetivou: (a) elaborar funções de pedotransferência para estimar o conteúdo de água nos potenciais de -33 e -1.500 kPa e a água disponível entre estes potenciais a partir de dados granulométricos e de densidade do solo para solos do estado de Pernambuco e (b) comparar a eficiência de predição das equações propostas com equações similares, disponíveis na literatura, na estimativa destas propriedades.

## MATERIAL E MÉTODOS

As funções de pedotransferência foram desenvolvidas a partir de dados de 98 perfis de solos, num total de 467 horizontes. Foram incluídos 32 perfis da coleção de Solos de Referência do Estado de Pernambuco, dados ainda não publicados de trabalhos realizados pelos autores e dados publicados por outros autores (Quadro 1).

A classificação dos solos foi atualizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), e os 98 perfis selecionados ficaram agrupados em 27 classes taxonômicas de terceiro nível categórico (grandes grupos) (Quadro 2).

A umidade retida nos potenciais matriciais de -33 e -1.500 kPa foi obtida a partir de amostras deformadas de solo, coletadas por horizonte, no extrator de Richards, de acordo com métodos propostos pela EMBRAPA (1979). A água disponível

**Quadro 1. Origem dos dados que compuseram a base para elaboração das funções de pedotransferência**

| Fonte   | Nº de Perfis |
|---|--------------|
| Coleção Solos de Referência do Estado de Pernambuco | 32           |
| Trabalhos não publicados                            | 6            |
| Alves (1994)  | 8            |
| CODEVASF (1998)                                     | 5            |
| Costa (1988)  | 29           |
| Dantas (1996)                                       | 4            |
| Gusmão (1993)                                       | 1            |
| Luz (1989)  | 3            |
| Oliveira Neto (1992)                                | 3            |
| Parahyba (1993)                                     | 3            |
| Souto Maior (1996)                                  | 4            |

**Quadro 2. Classificação dos solos e número de perfis correspondentes utilizados na elaboração das funções de pedotransferência**

| Classe de solo                        | Nº de Perfis |
|---------------------------------------|--------------|
| Argissolo Amarelo eutrófico           | 9            |
| Argissolo Amarelo distrófico          | 29           |
| Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico  | 3            |
| Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico | 5            |
| Argissolo Vermelho eutrófico          | 3            |
| Argissolo Vermelho distrófico         | 2            |
| Cambissolo Háplico tb eutrófico       | 1            |
| Cambissolo Háplico tb distrófico      | 1            |
| Chernossolo Argilúvico órtico         | 1            |
| Espodossolo Cárbico órtico            | 1            |
| Espodossolo Ferrocárbico órtico       | 1            |
| Latossolo Amarelo distrófico          | 7            |
| Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico | 1            |
| Luvissolo Crômico órtico              | 4            |
| Neossolo Flúvico sálico               | 1            |
| Neossolo Flúvico sódico               | 3            |
| Neossolo Flúvico ta eutrófico         | 1            |
| Neossolo Litólico eutrófico           | 1            |
| Neossolo Quartzarênico órtico         | 3            |
| Neossolo Regolítico distrófico        | 4            |
| Nitossolo Vermelho distroférico       | 1            |
| Planossolo Háplico eutrófico          | 10           |
| Planossolo Nátrico órtico             | 1            |
| Planossolo Nátrico sálico             | 2            |
| Plintossolo Argilúvico eutrófico      | 1            |
| Plintossolo Argilúvico distrófico     | 1            |
| Vertissolo Cromado órtico             | 1            |

foi obtida pela diferença entre a umidade retida a -33 e -1.500 kPa. O uso de amostras deformadas para elaboração das pedofunções parece não ser a situação ideal, pois a retenção de umidade pelo solo, especialmente na CC, é também influenciada pela estrutura, e alterações na mesma podem limitar, em muito, a exatidão dos resultados obtidos, como salientado por Vereecken et al. (1989). No entanto, alguns trabalhos, como o realizado por Medina & Oliveira Jr. (1987), mostraram melhores correlações entre dados obtidos com amostras deformadas do que os obtidos com amostras indeformadas, em relação aos obtidos pela determinação da capacidade de campo *in situ*.

Para o estado de Pernambuco, atualmente, são raros os dados disponíveis de retenção de umidade obtidos a partir de amostras indeformadas de solos. Por tal razão, mesmo sabendo das possíveis limitações ao alcance do trabalho, optou-se pela elaboração das pedofunções a partir de amostras deformadas, por serem estes os dados ora disponíveis. Futuramente, quando houver disponibilidade de dados gerados a partir de amostras indeformadas, as pedofunções aqui sugeridas devem ser substituídas por outras que, espera-se, melhor representem a condição de campo.

Os teores de argila foram obtidos pelo método do densímetro, utilizando-se hexametáfosfato de sódio  $0,350 \text{ mol L}^{-1}$ . Os teores de areia foram obtidos por peneiramento úmido e os de silte pela diferença entre a massa da amostra seca e os teores de areia + argila, de acordo com EMBRAPA (1979). A densidade do solo foi determinada em amostras indeformadas, pelo método do cilindro volumétrico ( $250 \text{ cm}^3$ ) ou do torrão parafinado, conforme preconizado pela EMBRAPA (1979).

Na tentativa de melhorar a capacidade preditiva das pedofunções, além da utilização dos dados agrupados num único conjunto, procedeu-se à separação dos dados em categorias, formando subconjuntos mais homogêneos. Os subconjuntos incluíram: atividade de argila (alta ou baixa de acordo com EMBRAPA, 1999), grau aproximado de desenvolvimento pedogenético (pouco desenvolvido, parcialmente desenvolvido e desenvolvido a muito desenvolvido) e classe textural (arenosa, média, siltosa, argilosa e muito argilosa), conforme EMBRAPA (1999). A sistematização das classes de solos de acordo com o grau aproximado de desenvolvimento pedogenético seguiu a divisão apresentada no quadro 3.

Para avaliar as funções de pedotransferência, utilizou-se outra base de dados, composta por 22 perfis e 92 horizontes retirados do trabalho de Ribeiro (1982).

Na comparação da eficiência de predição das pedofunções obtidas, foram adotados, como critérios, o coeficiente de determinação e o erro-padrão da estimativa (EPE).

As equações disponíveis na literatura, escolhidas para comparação, foram selecionadas, seguindo-se os seguintes critérios: (a) envolver apenas propriedades texturais e, ou, densidade do solo e (b) ter sido desenvolvida a partir de amostras deformadas.

A avaliação da eficiência preditiva das funções propostas por outros autores baseou-se na raiz da média do quadrado do erro da estimativa (MRQEE), no coeficiente de correlação, na média relativa do erro de estimativa (MREE) e na análise gráfica. A

**Quadro 3. Escala evolutiva adotada para agrupar as classes de solo**

| Grau aproximado de desenvolvimento        | Classe de solo (EMBRAPA, 1999)  |
|---|---|
| Solos pouco desenvolvidos                 | Neossolos   |
| Solos parcialmente desenvolvidos          | Cambissolos<br>Chernossolos<br>Luvissolos<br>Planossolos<br>Vertissolos |
| Solos desenvolvidos a muito desenvolvidos | Argissolos<br>Espodossolos<br>Latosolos<br>Nitossolos<br>Plintossolos   |

MREE foi calculada a partir da equação propostas por Ahuja et al. (1985) e Kern (1995), mas os valores foram expressos em percentagem para facilitar as comparações e diminuir o efeito conservativo deste indicador para baixos conteúdos de água.

As equações foram obtidas por meio do programa SYSTAT (SYSTAT, 1993), pelo método Stepwise a 1%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Desenvolvimento e validação das pedofunções

A amplitude de variação para as diferentes propriedades utilizadas é apresentada no quadro 4. A textura dos solos utilizados variou de arenosa (com teores de areia de até  $950 \text{ g kg}^{-1}$  de solo) a muito argilosa (teores de argila de  $830 \text{ g kg}^{-1}$  de solo). Os maiores teores de areia foram obtidos para os Neossolos Quartzarênicos órticos, enquanto os teores

**Quadro 4. Valores mínimos, máximos, médios e desvio-padrão para as diferentes propriedades utilizadas na elaboração das pedofunções**

| Propriedades  | Areia              | Silte | Argila | Ds <sup>(1)</sup> | Umidade             |            |                   |
|---------------|--------------------|-------|--------|-------------------|---------------------|------------|-------------------|
|               |                    |       |        |                   | -33 kPa             | -1.500 kPa | AD <sup>(2)</sup> |
|               | g kg <sup>-1</sup> |       |        | t m <sup>-3</sup> | kg kg <sup>-1</sup> |            |                   |
| Mínimo        | 50                 | 10    | 20     | 1,02              | 0,0170              | 0,0080     | 0,0030            |
| Máximo        | 950                | 457   | 830    | 2,06              | 0,4630              | 0,3340     | 0,3560            |
| Média         | 550                | 136   | 313    | 1,50              | 0,1715              | 0,1022     | 0,0650            |
| Desvio-padrão | 201                | 85    | 179    | 0,21              | 0,0838              | 0,0639     | 0,034             |

<sup>(1)</sup> Densidade do solo. <sup>(2)</sup> Água disponível.

mais elevados de argila foram obtidos para o Nitossolo Vermelho distroférrico. Os valores de densidade do solo variaram de 1,02 a 2,06 t m<sup>-3</sup>. Este elevado valor de densidade do solo foi obtido por Souto Maior (1996), para um horizonte Bt<sub>f3</sub> de um perfil de Argissolo Amarelo eutrófico plíntico, de Santa Maria da Boa Vista (PE). O conteúdo de água retido nos potenciais de -33 e -1.500 kPa e o de água disponível variou de 0,0170 a 0,4630; 0,0080 a 0,3340; 0,0030 a 0,3560 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

No quadro 5, são apresentadas as equações de regressão para a estimativa do conteúdo de água

nos potenciais de -33 e -1.500 kPa, bem como para a água disponível. Os coeficientes de determinação das equações foram superiores aos da maioria dos trabalhos similares consultados (Arruda et al., 1987; Meng et al., 1987; Bell & van Keulen, 1995; Masutti, 1997), principalmente para o conteúdo de água disponível.

O agrupamento dos dados em subconjuntos baseado na classe textural ou na atividade da fração argila ou no grau aproximado de desenvolvimento, de maneira geral, não produziu melhorias consideráveis na capacidade preditiva das

**Quadro 5. Equações para estimativa da umidade de solos pernambucanos (kg kg<sup>-1</sup>) e respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e erro-padrão da estimativa (EPE)**

| Umidade <sup>(1)</sup>                           | Equação <sup>(2)</sup>  | R <sup>2</sup> (3) | EPE    |
|--|---|--------------------|--------|
| Conjunto único de dados                          |   |                    |        |
| $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$                      | = 0,000333Silte + 0,000387Argila                                | 0,960**            | 0,0384 |
| $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$                   | = 0,000038Areia + 0,000153Silte + 0,000341Argila - 0,030861Ds   | 0,955**            | 0,0257 |
| $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$                 | = -0,000021Areia + 0,000203Silte + 0,000054Argila + 0,021656Ds  | 0,890**            | 0,0244 |
| Separação por classe textural                    |   |                    |        |
| Textura média                                    |   |                    |        |
| $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$                      | = 0,000341Silte + 0,000374Argila                                | 0,945**            | 0,0356 |
| $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$                   | = -0,000056Areia + 0,000158Silte + 0,000067Argila + 0,038680Ds  | 0,922**            | 0,0207 |
| $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$                 | = -0,000178Areia + 0,000286Argila + 0,103088Ds                  | 0,938**            | 0,0324 |
| Textura argilosa                                 |   |                    |        |
| $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$                      | = 0,000079Areia + 0,000444Silte + 0,000484Argila - 0,069234Ds   | 0,964**            | 0,0429 |
| $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$                   | = 0,000032Areia + 0,000223Silte + 0,00062Argila                 | 0,856**            | 0,0311 |
| $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$                 | = 0,000104Areia + 0,000150Silte + 0,000372Argila + 0,039788Ds   | 0,968**            | 0,0374 |
| Textura muito argilosa                           |   |                    |        |
| $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$                      | = -0,000328Areia + 0,00571Argila                                | 0,985**            | 0,0383 |
| $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$                   | = 0,000282Silte + 0,000487Argila - 0,101537Ds                   | 0,987**            | 0,0265 |
| $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$                 | = -0,000124Areia + 0,000107Silte + 0,000088Argila + 0,032813Ds  | 0,970**            | 0,0216 |
| Separação por atividade de argila                |   |                    |        |
| Argila de atividade alta                         |   |                    |        |
| $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$                      | = -0,000050Areia + 0,000190Silte + 0,000326Argila + 0,0473371Ds | 0,967**            | 0,3530 |
| $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$                   | = 0,000087Silte + 0,000285Argila                                | 0,952**            | 0,0237 |
| $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$                 | = -0,000035Areia + 0,000104Silte + 0,000048Argila + 0,041646Ds  | 0,943**            | 0,0214 |
| Argila de atividade baixa                        |   |                    |        |
| $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$                      | = 0,000088Areia + 0,000449Silte + 0,000448Argila - 0,058166Ds   | 0,962**            | 0,0372 |
| $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$                   | = 0,000072Areia + 0,000195Silte + 0,000363Argila - 0,052198Ds   | 0,957**            | 0,0257 |
| $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$                 | = 0,000011Areia + 0,000261Silte + 0,000073Argila                | 0,875**            | 0,0245 |
| Separação por grau aproximado de desenvolvimento |   |                    |        |
| Solos pouco desenvolvidos                        |   |                    |        |
| $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$                      | = -0,000019Areia + 0,000106Silte + 0,000594Argila               | 0,987**            | 0,0154 |
| $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$                   | = -0,000007Areia + 0,000042Silte + 0,000293Argila               | 0,979**            | 0,0077 |
| $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$                 | = -0,000060Areia + 0,000254Silte - 0,000104Argila + 0,046429Ds  | 0,948**            | 0,0159 |
| Solos parcialmente desenvolvidos                 |   |                    |        |
| $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$                      | = -0,000073Areia + 0,000259Silte + 0,000280Argila + 0,050707Ds  | 0,942**            | 0,0464 |
| $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$                   | = 0,000121Silte + 0,000260Argila                                | 0,946**            | 0,0254 |
| $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$                 | = -0,000027Areia + 0,000113Silte + 0,000028Argila + 0,041432Ds  | 0,935**            | 0,0224 |
| Solos desenvolvidos a muito desenvolvidos        |   |                    |        |
| $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$                      | = 0,000108Areia + 0,000513Silte + 0,000469Argila - 0,072730Ds   | 0,967**            | 0,0366 |
| $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$                   | = 0,000085Areia + 0,000229Silte + 0,000381Argila - 0,062662Ds   | 0,965**            | 0,0252 |
| $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$                 | = 0,000007Areia + 0,000262Silte + 0,000078Argila                | 0,877**            | 0,0253 |

<sup>(1)</sup> Conteúdo estimado de água retida pelo solo no potencial especificado (kg kg<sup>-1</sup>). <sup>(2)</sup> Os valores de areia, silte e argila em g kg<sup>-1</sup> e os de densidade do solo em t m<sup>-3</sup>. <sup>(3)</sup> Valores significativos a 1%.

pedofunções quanto à reunião dos dados num conjunto único, visto que os pequenos aumentos que foram constatados para alguns coeficientes de determinação foram, quase sempre, acompanhados por um aumento do erro-padrão da estimativa.

Esta tendência divergiu da obtida por Salchow et al (1996) e Pachepsky & Rawls (1999), que obtiveram melhorias consideráveis após agruparem os solos em categorias mais uniformes. Estes autores utilizaram, dentre outros critérios, a classe textural na categorização de seus dados.

Esperava-se uma melhoria na exatidão da estimativa após a categorização dos dados, uma vez que tal procedimento deveria reunir no mesmo grupo solos com similares relações de retenção de umidade e, por haver uma redução no número de amostras por grupo (Pachepsky & Rawls, 1999). A separação por grau aproximado de desenvolvimento mostrou-se eficiente apenas para o caso dos solos considerados pouco evoluídos, em que o aumento de  $R^2$  foi acompanhado pela diminuição do EPE. Como o número de casos de amostras de textura arenosa e siltosa foi muito pequeno, não foram elaboradas equações para estas classes texturais.

A figura 1 mostra o resultado da validação das equações elaboradas. Uma pequena tendência de superestimativa foi observada para água disponível. As correlações indicam que as equações são mais precisas na predição da umidade retida nos potenciais de -33 e -1.500 kPa do que da água disponível entre estes potenciais. As melhores correlações foram obtidas para predição da umidade a -1.500 kPa e reforçam a discussão de que a relação entre a retenção de umidade e a textura dos solos, ao menos até certo ponto, estreita-se à medida que aumenta a tensão, como foi discutido por Prevedelo (1996).

### Avaliação de equações similares

O quadro 6 e as figuras 2 e 3 mostram o resultado das performances das equações selecionadas. As

equações selecionadas para comparação demonstram uma baixa capacidade preditiva, traduzida pelos elevados valores para MRQEE e MREE, que tendem a super ou subestimação. Os valores negativos para MREE indicam que os resultados estimados foram

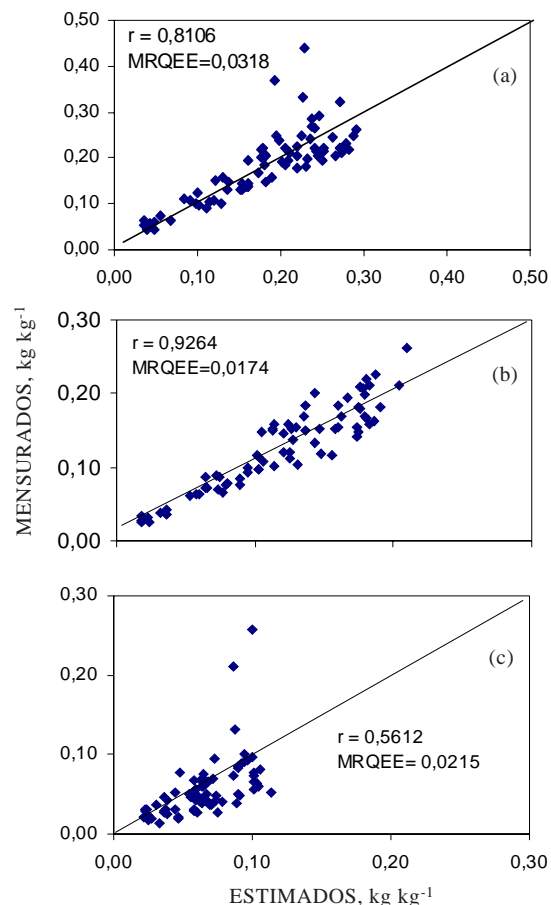


Figura 1. Comparação entre dados estimados e mensurados da validação das equações. a, b e c correspondem, respectivamente, à umidade a -33kPa, -1.500 kPa e água disponível.

Quadro 6. Avaliação de equações de regressão apresentadas na literatura baseada na raiz do quadrado da média do erro da estimativa (RMQEE)

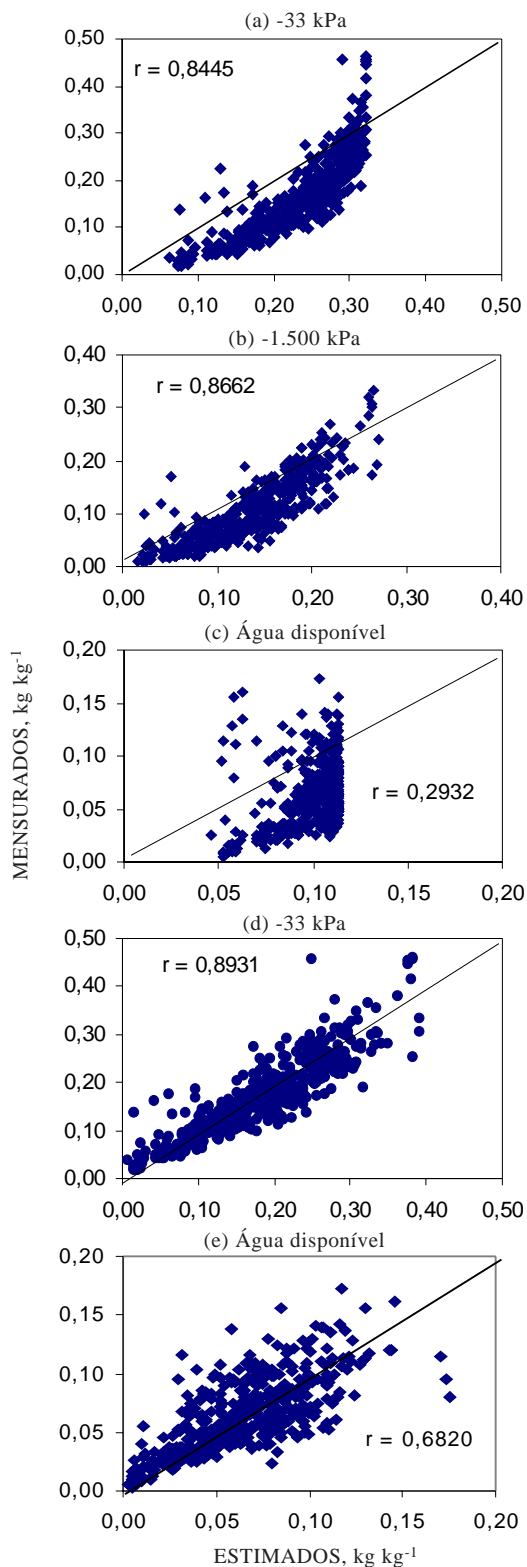
| Autor                    | Umidade                          | Equação <sup>(1)</sup>  | MRQEE  | MREE   |
|--------------------------|----------------------------------|---|--------|--------|
| Arruda et al. (1987)     | $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$      | $= (3,1 + 0,629(\text{Silte} + \text{Argila})/10 - 0,0034 ((\text{Silte} + \text{Argila})/10)^2)/100$ | 0,0784 | -37,55 |
|                          | $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$   | $= 398,9 ((\text{Silte} + \text{Argila})/10)/(1308,1 + (\text{Silte} + \text{Argila})/10)$            | 0,0422 | -27,30 |
|                          | $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$ | calculada pela diferença  | 0,0469 | -53,26 |
| Meng et al. (1987)       | $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$      | $= -0,0044 + 0,0082 \text{ Argila}/10$  | 0,0980 | -55,19 |
|                          | $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$   | $= -0,0028 + 0,0038 \text{ Argila}/10$  | 0,1361 | -13,69 |
| Bell & van Keulen (1995) | $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$   | $= (6,93 + 0,286 \text{ Argila}/10)/100$ (Equação 1)  | 0,0631 | -55,46 |
|                          | $\hat{U}_{-1.500 \text{ kPa}}$   | $= (5,72 + 0,433 \text{ Argila}/10)/100$ (Equação 2)  | 0,0966 | -88,66 |
| Masutti (1997)           | $\hat{U}_{-33 \text{ kPa}}$      | $= (-1,5691 + 0,4289 (\text{Argila} + \text{Silte})/10)/100$  | 0,0404 | -4,73  |
|                          | $\hat{U}_{33-1.500 \text{ kPa}}$ | $= (-0,530482 + 0,301235 \text{ Silte}/10 + 0,092822 \text{ Argila}/10)/100$                          | 0,0260 | -4,61  |

<sup>(1)</sup> O valores de silte e argila em  $g \text{ kg}^{-1}$ .

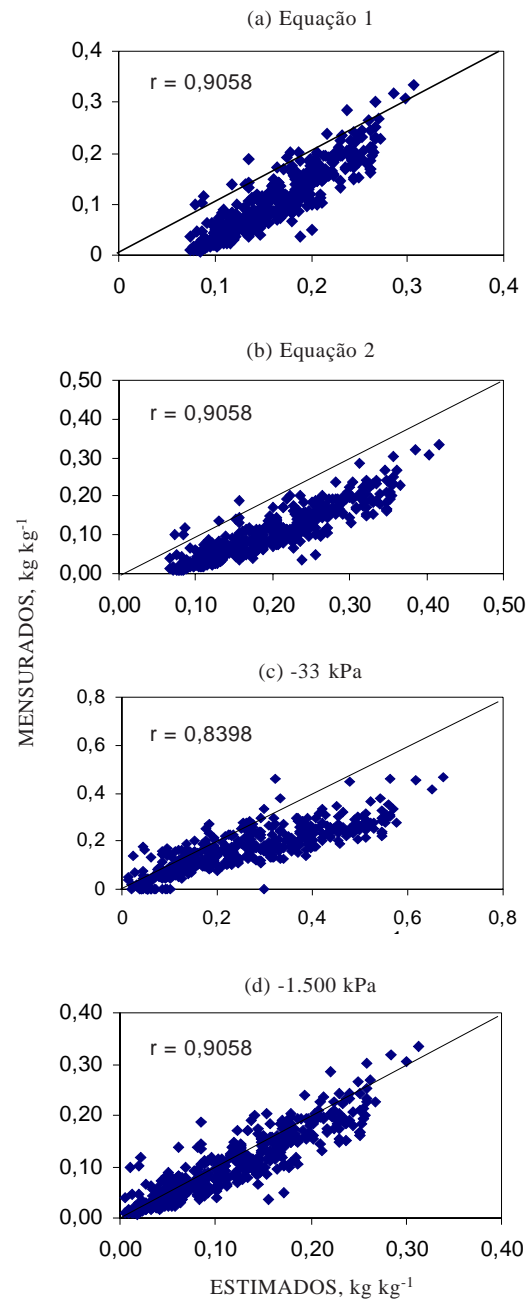
superiores aos mensurados, ou seja, foram superestimados. As melhores performances foram obtidas pelo emprego das equações propostas por

Masutti (1997), e o fato de ter o autor trabalhado com solos da Zona da Mata pernambucana é, possivelmente, a melhor explicação.

Todas as equações produziram valores superestimados de conteúdo de água retido nos potenciais especificados, com destaque para as equações propostas por Bell & van Keulen (1995). Isto parece reforçar a idéia de que a utilização de pedofunções deve basear-se em calibrações locais, como destacado por Coelho et al. (1998).



**Figura 2. Comparação entre dados mensurados e estimados pelas equações propostas por Arruda et al. (1987) (a, b, c) e Masutti (1997) (d, e).**



**Figura 3. Comparação entre dados mensurados e estimados pelas equações propostas por Bell & van Keulen (1995) para umidade retida a -1.500 kPa (a, b) e por Meng et al. (1987) (c, d).**

## CONCLUSÕES

1. O conteúdo de água retido nos potenciais de -33 e -1.500 kPa e a água disponível em solos do estado de Pernambuco podem ser estimados, com razoável precisão, a partir de dados granulométricos e de densidade do solo.

2. A categorização dos dados de acordo com a atividade da fração argila ou grau aproximado de desenvolvimento pedogenético ou classe textural não produziu melhorias consideráveis na capacidade preditiva das pedofunções.

3. As equações avaliadas (de outros trabalhos) demonstraram baixa capacidade preditiva, quando aplicadas a solos do estado de Pernambuco.

## LITERATURA CITADA

- AHUJA, L.R.; NANEY, J.W. & WILLIAMS, R.D. Estimating soil water characteristics from simpler properties on limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:1100-1105, 1985.
- ALVES, A.J.O. Caracterização e potencialidade dos solos da estação experimental de cana-de-açúcar de Carpina. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1994. (Tese de Mestrado)
- ARRUDA, F.B.; ZULLO Jr., J. & OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:11-15, 1987.
- BELL, M.A. & van KEULEN, H. Soil pedotransfer functions for four mexican soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:865-871, 1995.
- BERG, M.D.; KLANT, E.; van REEUWIJK, L.P. & SOMBROEK, W.G. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferrasols and related soils. *Geoderma*, 78:161-180, 1997.
- COELHO, E.F.; CONCEIÇÃO, M.A.F. & SOUZA, V.A.B. Estimativa dos limites de disponibilidade de água em função da densidade global e da textura do solo. *R. Ceres*, 45:183-192, 1998.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO - CODEVASF. Projeto Sertão de Pernambuco: levantamento semidetalhado de solos, classificação de terras para irrigação e aptidão agrícola das terras. Recife, 1998. 135p.
- COSTA, E.F.S. Efeito do clima e do solo na produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) na Zona da Mata de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1988. 224p. (Tese de Mestrado)
- DANTAS, J.A. Averiguação dos efeitos da irrigação em solos podzólicos no sub-médio São Francisco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996. 104p. (Tese de Mestrado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, 1979. 247p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília, 1995. 101p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação - SPI. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. Brasília, 1999. 412p
- GUSMÃO, G.O. Efeito da cobertura morta sobre algumas características físicas e químicas do solo e sobre a produção de matéria seca da cultura do milho. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1993. 107p. (Tese de Mestrado)
- KERN, J.S. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1134-1141, 1995.
- LIER, Q.J. Índices da disponibilidade de água para as plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.95-106.
- LIN, H.S. McINNES, K.J.; WILDING, L.P. & HALLMARK, C.T. Effects of soil morphology on hydraulic properties: II. Hydraulic pedotransfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:955-961, 1999.
- LUZ, L.R.Q.P. Pedogênese de uma topossequência de solos do semi-árido de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989. 96p. (Tese de Mestrado)
- MASUTTI, M.M. Caracterização da água disponível a partir de parâmetros físico-hídricos em solos da zona da mata do estado de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1997. 69p. (Tese de Mestrado)
- MEDINA, B.F. & OLIVEIRA Jr., R.C. Relações entre capacidade de campo determinada in situ e em laboratório em latossolo amarelo muito argiloso. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:91-95, 1987.
- MENG, T.P.; TAYLOR, H.M.; FRYREAR, D.W. & GOMEZ, J.F. Models to predict water retention in semiarid sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1563-1565, 1987.
- OLIVEIRA NETO, M.B. Pedogênese de uma topossequência no Agreste de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1992. 142p. (Tese de Mestrado)
- PACHEPSKY, A.Y. & RAWLS, W.J. Accuracy and reability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1748-1757, 1999.
- PARAHYBA, R.B.V. Gênese de solos planossólicos do Agreste de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1993. 152p. (Tese de Mestrado)
- PETERSEN, G.N.; CUNNINGHAM, R.L. & MATELSKI, R.P. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: I. Moisture retention as related to texture. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:271-275, 1968.
- PREVEDELLO, C.L. Física do solo: com problemas resolvidos. Curitiba, 1996. 446p.



- RAWLS, W.J.; GISA, T.J. & BRAKENSIER, D.L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. *Adv. Soil Sci.*, 16:213-234, 1991.
- RIBEIRO, M.R. Land suitability for sugarcane production in the coastal humid zone of Pernambuco state, Brazil. Saskatoon, University of Saskatchewan, 1982. 132p. (Tese de Doutorado)
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:211-216, 1988.
- SALCHOW, W.; LAL, R.; FAUSEY, N.R. & WARD, A. Pedotransfer functions for variable alluvial soils in southern Ohio. *Geoderma*, 73:165-181, 1996.
- SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. II. Available water capacity and moisture release characteristics. *J. Soil. Sci.* 16:310-317, 1965.
- SALTER, P.J.; BERRY, G. & WILLIAMS, J.B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. III. Quantitative relationships between particle, composition, and available capacity. *J. Soil. Sci.* 17:93-98, 1966.
- SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S. & PAPENDICK, R.I. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1031-1036, 1986.
- SOUTO MAIOR, F.C. Podzólicos plínticos e os efeitos do cultivo de uva com irrigação no sub-médio São Francisco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996. 107p. (Tese de Mestrado)
- SYSTAT, Inc. SYSTAT 5.03 for Windows. Evanston, 1993.
- VERECKEN, H.; MAES, J.; FEYEN, J. & DARIUS, P. Estimating the soil moisture retention from characteristic texture, bulk density and carbon content. *Soil Sci.*, 148:389-403, 1989.

