

Funções de pedo-transferência para a curva de retenção da água no solo

Pedotransfer functions for the soil water retention curve

A. M. Paz¹, D. Cipriano¹, M. C. Gonçalves² & L. S. Pereira¹

RESUMO

As funções de pedo-transferência (PTFs) permitem estimar propriedades hidrodinâmicas do solo a partir das suas propriedades básicas. Neste estudo desenvolveram-se PTFs para a determinação de pontos específicos da curva de retenção da água no solo por meio de análise de regressão linear múltipla. Relacionaram-se os teores de água retida no solo contra sucções de 0.25 kPa, 9.8 kPa e 1554 kPa, considerando estes valores correspondentes respectivamente à porosidade total, capacidade de campo e coeficiente de emurchecimento, com propriedades básicas do solo: textura, teor em matéria orgânica, massa volúmica aparente, profundidade média da camada, média geométrica do diâmetro das partículas e o seu desvio padrão. Utilizou-se uma base de dados de propriedades do solo com 304 observações de horizontes ou camadas de diversas famílias de solos de várias regiões de Portugal Continental. As PTFs obtidas apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0.84. Para a validação estatística das PTFs utilizou-se uma série de dados independente, obtidos

para as unidades-solo do Aproveitamento Hidroagrícola do Lucéfécit com 55 observações. O coeficiente de correlação simples entre os valores medidos e estimados para os valores do teor de água retidos a 0.25 kPa, 9.8 kPa e 1554 kPa, respectivamente, foi de 0.90, 0.73 e 0.85, significantes ao nível de 0.1% de probabilidade.

ABSTRACT

Pedotransfer functions allow prediction of the soil hydraulic characteristics from basic soil data. In this study pedotransfer functions were developed in order to obtain three specific points of the soil water retention curve: field capacity, wilting point and maximum capacity, which were considered to be correspondent to the water held in soil against suctions of 0.25 kPa, 9.8 kPa and 1554 kPa. The basic properties of soil used were particle size distribution, organic content, bulk density, depth of the layer and the statistical variables geometric mean diameter and geometric standard deviation of the soil particles. The method for building the functions was multiple linear

¹ *Instituto Superior de Agronomia, Dep. Eng. Rural, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa; e-mail: aa15198@isa.utl.pt; lspereira@isa.utl.pt;* ² *Estação Agronómica Nacional, Dep. Ciência do Solo, Av. República, 2784-505 Oeiras; e-mail: mc.goncalves@netc.pt*

regression analysis with 304 measurements of soil layers from numerous soil families from different locals in Portugal. The adjusted coefficient of determination of the pedotransfer functions was higher than 0.84. The validation of pedotransfer functions was made with a regional, independent data set of 55 measurements, obtained in this study for a particular irrigation area in Alentejo. The correlation coefficient obtained between the values predicted with the pedotransfer functions and the measured ones, for water retained in the soil at 0.25 kPa, 9.8 kPa e 1554 kPa was, respectively, 0.90, 0.73 and 0.85 which were considered significant at the 0.1% probability level.

INTRODUÇÃO

A curva de retenção de água do solo, que relaciona o potencial mátrico, ou a pressão efectiva da água no solo, com o teor de água do solo submetido a essa pressão, constitui, juntamente com a condutividade hidráulica, as características hidrodinâmicas do solo. Estas características são essenciais como dados de entrada para a utilização de modelos de movimento da água e solutos no solo. A utilização destes modelos é importante quer ao nível da gestão da rega, quer ao nível de controlo do meio ambiente. A medição das características hidrodinâmicas, quer através de métodos de campo, quer laboratoriais, é morosa e difícil, sendo muitas vezes a falta destes dados uma limitação para utilização dos modelos de circulação da água no solo (Gonçalves *et al.*, 1997; Wösten *et al.*, 2001). As funções de pedo-transferência permitem estimar as características hidrodinâmicas do solo a partir de propriedades básicas do solo, de determinação relativamente fácil e muitas vezes

existentes na bibliografia, como resultado dos estudos de reconhecimento dos solos, tornando assim o processo de obtenção daquelas características muito mais expedito.

O objectivo principal deste estudo é a obtenção da capacidade de água utilizável de um horizonte ou camada de solo. Este valor pode obter-se partir de dois pontos da curva de retenção de água no solo, referentes à capacidade de campo e coeficiente de emurchecimento (Paz, 2004). A capacidade de água utilizável é um parâmetro de elevada importância na gestão da rega. Pretende-se com este estudo possibilitar a caracterização dos solos do aproveitamento hidroagrícola do Lucefé-cit em Terena, concelho do Alandroal, (e, de futuro, de outras áreas de rega), para inclusão num programa de gestão do aproveitamento sob a forma de um sistema de informação geográfica. Este modelo de gestão encontra-se descrito em Mateus (2004).

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção das PTFs

As funções de pedo-transferência para determinação das características hidrodinâmicas do solo podem obter-se utilizando duas técnicas: técnica de estimação por pontos ou técnica de estimação por parâmetros. A técnica de estimação por pontos permite relacionar pontos da curva característica de humidade do solo ou da curva de condutividade hidráulica com as propriedades básicas do solo. A técnica de estimação por parâmetros permite obter parâmetros de modelos que descrevem as características hidrodinâmicas. Esta última pressupõe a existência de uma descri-

ção matemática do comportamento da curva característica. O modelo de van Genuchten com quatro parâmetros (θ_r , θ_s , α , N) é um exemplo de um modelo que permite obter um bom ajustamento dos dados experimentais e cujos parâmetros se podem estimar através da construção de quatro funções de pedo-transferência (Gonçalves, 1994; Paz, 2004). Exemplos de PTFs obtidas pela técnica de estimação por parâmetros são as PTFs desenvolvidas por Vereecken (1988), Wösten *et al.* (2001) e Gonçalves *et al.* (1997). No caso da utilização da técnica de estimação por pontos são exemplos as funções de Gupta e Larson (1979), Martins e Gonçalves (1986) e de Pinto *et al.* (2003).

Neste trabalho, tendo em conta o objetivo de estimar pontos específicos da curva de retenção de água no solo, foi utilizada a técnica de estimação por pontos. Pretendia-se obter três pontos específicos da curva de retenção da água no solo correspondentes à capacidade de campo, coeficiente de emurchecimento e porosidade máxima do solo. Consideraram-se estes valores como sendo o teor de água retida no solo contra as sucções de 0,25 kPa, 9,8 kPa e 1554 kPa, respectivamente e que correspondem, na tradicional escala de pF, aos pF 0,4, pF 2,0 e pF 4,2. Relacionaram-se os teores de água retida no solo contra estas sucções (variáveis dependentes) com as propriedades básicas do solo (variáveis independentes). As propriedades básicas do solo utilizadas foram os lotes texturais de acordo com a escala de Atterberg: areia grossa (AG), areia fina (AF), limo (L) e argila (A), o teor em matéria orgânica (MO), a massa volúmica aparente (ρ_b), a profundidade média do horizonte/camada de solo (z), a média geométrica do diâmetro das partículas (GPD) e o seu desvio padrão (GSD). O GPD e GSD são propriedades estatísticas

obtidas através dos valores dos diferentes lotes texturais. Estas propriedades foram apresentadas por Shirazi & Boersma (1984) e, segundo Campbell (1985), permitem obter uma boa descrição da textura do solo para estimar as características hidrodinâmicas. O cálculo das variáveis efectuou-se recorrendo à seguintes fórmulas (Shirazi & Boersma, 1984):

$$GPD = \exp \left[0.01 \left(\sum_{i=1}^n m_i \ln d_i \right) \right] \quad (1),$$

$$GSD = \exp \left[0.01 \left(\sum_{i=1}^n m_i (\ln d_i)^2 \right) - \left[0.01 \left(\sum_{i=1}^n m_i \ln d_i \right) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2),$$

onde m_i é a percentagem do lote i , d_i é o diâmetro médio aritmético do lote i e n é o número de lotes granulométricos.

Para a construção das PTFs recorreu-se à base de dados de propriedades do solo existente no Departamento de Ciência do Solo da Estação Agronómica Nacional. Esta base de dados é constituída por 304 observações de horizontes ou camadas de diferentes famílias de solo, recolhidas em diversas regiões de Portugal Continental. No Quadro 1 podem ver-se os valores médios, desvio padrão, mínimo e máximo das variáveis independentes e dependentes do modelo no total das 304 observações. Estes valores permitem verificar a diversidade das amostras utilizadas para o desenvolvimento das PTFs.

O método de análise utilizado para a construção das PTFs foi a regressão linear múltipla passo a passo, que permite incluir no modelo apenas as variáveis independentes que contribuem de forma mais significativa para a descrição dos dados e excluir aquelas que não aumentam significativamente o coeficiente de determinação, tornando assim os modelos mais simples.

QUADRO 1 – Valores médios, desvio padrão, mínimo e máximo das variáveis independentes e dependentes utilizadas na construção dos modelos.

	Valor médio	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo
AG (%)	19,3	19,81	0,05	91,15
AF (%)	31,35	17,3	0,81	70,7
L (%)	24,25	14,77	68,1	1,2
A (%)	25,25	15,95	0,6	63,3
GPD	0,07	0,1163	0,0031	0,7741
GSD	106,29	101,86	2,65	401,33
MO (g)	0,99	0,86	0	4,33
ρ_b (mg m ⁻³)	1,45	0,19	0,91	1,87
Z (cm)	44,2	32,83	5,0	165
$\theta_{pF\ 0.4}$ (%)	44,26	8,16	28,53	63,47
$\theta_{pF\ 2.0}$ (%)	34,96	10,01	57,39	4,91
$\theta_{pF\ 4.2}$ (%)	17,2	8,9	0,67	39,92

Validação das PTFs

A validação das funções de pedo-transferência pode ser feita através da técnica de validação cruzada, isto é, dividindo os dados disponíveis em subgrupos de validação ou utilizando uma série independente de dados regionais independentes, não utilizados no desenvolvimento das funções. Este último método, quando possível de aplicar, é o ideal para a análise da capacidade de predição do modelo construído, neste caso das PTFs. Segundo Wösten, (2001) os estudos existentes não permitem ainda tirar nenhuma conclusão geral à cerca da especificidade regional das funções de pedo-transferência, mas é possível observar que as funções obtidas a partir de dados regionais permitem obter boas previsões em regiões com tipos de solo e topografia semelhantes ainda que em locais distintos.

Neste trabalho, para a validação estatística das PTFs utilizou-se um conjunto de dados regionais independentes, determi-

nados para as unidades-solo do Aproveitamento Hidroagrícola do Luçefécit. Na determinação das propriedades destes solos utilizaram-se métodos idênticos aos usados para a determinação das propriedades na base de dados a partir da qual se construíram as PTFs. Para a determinação da textura dos solos foi utilizado o método clássico da pipeta. A determinação da quantidade de matéria orgânica foi efectuada através do método de Walkley-Black como descrito em Balsa (1993). Para a obtenção dos pontos da curva de retenção foram recolhidas amostras não perturbadas de solo e utilizados os seguintes métodos, baseados no princípio do meio poroso: dispositivo da caixa de areia para valores de $pF \leq 2,0$; dispositivo da caixa de areia + caulino para os valores de pF compreendidos entre 2,0 e 2,7 e o dispositivo da membrana de pressão para valores de $pF > 3,0$. Estes métodos encontram-se detalhadamente descritos em Gonçalves *et al.* (2000)

Na estimativa do erro foram calculadas quatro parâmetros estatísticos: o coeficiente de correlação linear, r , o erro médio, ME , o desvio quadrático médio, MSD e a média dos erros relativos absolutos ARE . Estes parâmetros estatísticos foram calculados através das fórmulas 3, 4 e 5 (Liu *et al.*, 1998):

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \quad (3),$$

$$MSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}} \quad (4),$$

$$ARE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (5),$$

em que n é o número de observações, \hat{y} é

o valor estimado através das funções de pedo-transferência e y o valor observado laboratorialmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As PTFs obtidas através da regressão linear múltipla apresentam-se nas equações 6, 7 e 8. Calculou-se o coeficiente de determinação ajustado das funções obtidas. Este coeficiente é calculado de forma idêntica ao coeficiente de determinação mas subtraindo ao número de observações no denominador o número de variáveis independentes utilizadas. Assim é analisar a capacidade de descrição dos dados tendo em conta o número de variáveis utilizado na função.

Da série de dados independente do Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefécit retiraram-se os valores relativos às variáveis independentes necessários e inseriram-se nas PTFs. Os valores das variáveis dependentes assim estimados foram comparados com os valores observados através de uma regressão linear simples. Nas Figuras 1, 2 e 3 apresentam-se as regressões lineares simples entre os valores estimados com as PTFs e os valores observados e a sua dispersão à volta da linha 1:1.

No Quadro 2 podem observar-se os valores do coeficiente de regressão simples, r , o erro médio, ME , o desvio quadrático médio, MSD e a média dos erros relativos absolutos ARE , calculados de acordo com as equações 3, 4 e 5. O valor

de r permite verificar a correlação entre os valores observados e estimados com as PTFs. Para as três funções os valores de r são significantes ao nível de confiança de 99%. O erro médio permite indicar se pode existir algum erro sistemático relacionado com a medição (Williams & Ahuja, 1992). Verifica-se que este valor é especialmente significativo na estimativa da capacidade de campo. O facto de ser negativo significa que em geral, os valores estimados são superiores aos observados. Tal poderá ser devido ao método de recolha das amostras não perturbadas em cilindros de 100 cm³. A generalidade dos solos no Aproveitamento Hidroagrícola do Lucefécit apresenta textura muito fina, tornando frequente a compactação das amostras durante a sua recolha o que poderá originar valores para a capacidade de campo inferiores. Seria interessante analisar esses valores através de métodos de campo. Este efeito não teria a mesma influência ao nível do coeficiente de emurchecimento, uma vez que aí o factor mais determinante é a microporosidade. O MSD representa a média do erro na estimativa e é vantajoso em termos de interpretação pois apresenta as mesmas dimensões que os dados experimentais. O valor deste parâmetro é de 2,03 para a estimativa da porosidade total, 5,26 para a capacidade de campo e 3,31 para o coeficiente de emurchecimento. Em relação aos valores de ARE foram de 4,2% para a estimativa da porosidade total, 17,5% para a capacidade de campo e 18,3 para o coeficiente de emurchecimento.

$$\theta_{pF\ 0,4} = 84,0454 + 0,01632AG + 0,0925L + 0,0174GSD - 29,9822\rho_b - 0,0207Z \quad (6)$$

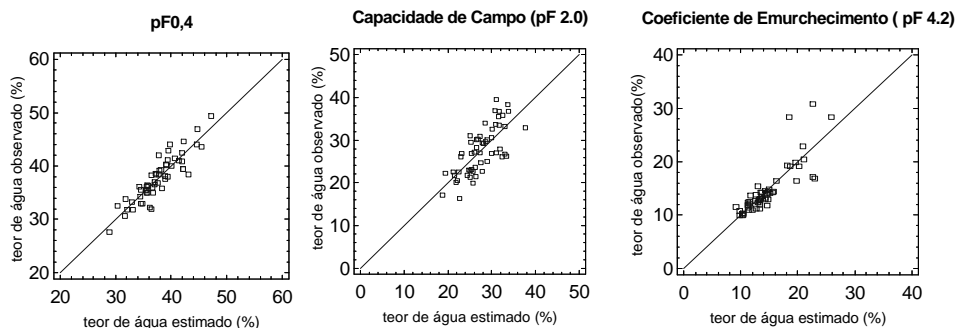
$$R^2_{ajust} = 0,8636$$

$$\theta_{pF\ 2,0} = 56,1365 + 0,0508AG + 0,1692L - 37,8293GPD + 0,0265GSD - 18,3327\rho_b \quad (7)$$

$$R^2_{ajust} = 0,8599$$

$$\theta_{pF\ 4,2} = 13,6985 - 0,1025AF - 0,0595L + 0,2490A - 19,6574GPD + 0,0190GSD + 0,0244Z \quad (8)$$

$$R^2_{ajust} = 0,8405$$



Figuras 1, 2 e 3 - Gráficos de dispersão com a linha 1:1 dos valores observados e estimados com as PTFs para os teores de água retidos às succções correspondentes a pF 0,4, pF 2,0 e pF 4,2.

Valores de *MSD* verificados por Williams & Ahuja, (1992) na avaliação de modelos mais complexos que as PTFs obtidas por regressão linear múltipla, e que incluem como dado de entrada um ponto medido da curva de retenção de água no solo encontram-se entre 0,8 e 6,5 para o teor de água retido contra a succção de 2,5 kPa, 1,3 e 4,6 para 10 kPa e 1,4 e 6,4 para 1500 kPa. Os valores variam entre estes extremos devido ao tipo de solo analisado.

QUADRO 2 – Estatísticas de validação das funções de pedo-transferência

	<i>R</i>	<i>ME</i>	<i>MSD</i>	<i>ARE</i> (%)
$\theta_{pF\,0,4}$ (%)	0,90	-0,703	2,03	4,2
$\theta_{pF\,2,0}$ (%)	0,73	-3,555	5,26	17,5
$\theta_{pF\,4,2}$ (%)	0,85	1,510	3,31	18,3

Tentou-se verificar se ocorria alguma relação entre o erro na estimativa e os valores das variáveis independentes. Por exemplo, se as PTFs seriam mais precisas para solos de textura fina do que grossa. No entanto, não foi encontrada qualquer relação entre a variação da dimensão dos erros com a variação de nenhuma das variáveis independentes.

CONCLUSÕES

As PTFs obtidas para a porosidade total, capacidade de campo e coeficiente de emurchecimento, apresentaram coeficientes de determinação ajustados entre 0,84 e 0,86, o que significa que é possível modelar a relação entre as propriedades básicas do solo e os pontos da curva de retenção de água do solo referidos através de regressão linear múltipla.

Na validação das PTFs, para uma série de dados regionais independentes, os valores do coeficiente de correlação simples entre os valores estimados e calculados foram de 0,897, 0,732 e 0,852, significantes ao nível de confiança de 99%, para os valores do teor de água retidos ao pF 0,4, 2,0 e 4,2, respectivamente. De acordo com estes resultados obtidos as PTFs podem permitir extrapolar informação para outras unidades-solo cujas propriedades básicas sejam conhecidas. No entanto os resultados da validação mostram que a utilização das PTFs deve ser feita com alguma cautela, tendo em conta o erro máximo permitido para fim em vista.

De futuro, é de grande interesse a validação das PTFs obtidas com outras séries de dados e verificar se a sua consistência é comprovada. Assim será ainda testada a

capacidade de previsão das PTFs com uma série independente com propriedades de unidades-solo do Aproveitamento Hidroagrícola da Vigia, no concelho de Évora.

AGRADECIMENTOS

Este projecto foi realizado no âmbito do projecto AGRO 115.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balsa, M. E. 1993. *O solo, metodologia química-analítica para a sua caracterização*. Instituto Nacional de Investigação Agrária, Estação Agronómica Nacional, Oeiras.
- Campbell, G. S. 1985. *Soil physics with basic. Transport Models for soil-plant systems*. Developments in soil science 14. Elsevier, Amsterdão.
- Gonçalves, M. C. 1994. *Características hidrodinâmicas dos solos: sua determinação e funções de pedo-transferência*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Gonçalves, M. C.; Martins, J. C. & Santos, M. J. 2000. Métodos laboratoriais para a determinação das propriedades hidráulicas do solo. *Pedologia*, **28**:1-23.
- Gonçalves, M. C.; Pereira, L. S. & Leij, F. J. 1997. Pedo-transfer functions for estimating unsaturated hydraulic properties of Portuguese soils. *European Journal of Soil Science*, **48**: 387-400.
- Gupta, S. C. & Larson, W. E. 1979. Estimation soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. *Water Resources Research*, **15**(6): 1633-1635.
- Liu, Y.; Teixeira, J. L.; Zhang, H. J. & Pereira, L. S. 1998. Model validation and crop coefficients for irrigation scheduling in the North China plain. *Agricultural Water Management*, **36**: 233-246. Elsevier.
- Martins, J. C. & Gonçalves, M. C. 1986. Influência dos componentes do solo em relações quantitativas solo-água. *Pédon*, **5**:133-144.
- Mateus, P. 2004. Desenvolvimento das Interfaces Vigia e Sig-Vigia Numa Aplicação Sig para a Gestão de Aproveitamentos hidroagrícolas. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Paz, A. M. 2004. *Funções de Pedo-transferência para a capacidade de água utilizável dos solos do perímetro de rega do Luceférit*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Pinto, P. A., Brandão, A. P., Lemos, F., Braga, R. 2003. Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. Actas do Encontro Anual da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 10 a 12 de Julho 2003.
- Shirazi, M. A. & Boersma, L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Science Society of America Journal*, **48**: 142-147.
- Verreken, H. 1988. *Pedotransfer functions for the generation of hydraulic properties for belgian soils*. Dissertations de Agricultura, K. U. Leuven, 254 pp.
- Williams, R. D. & Ahuja, L. R. 1992. Evaluation of similar-media scaling and a one-parameter model for estimating the soil water characteristic. *Journal of Soil Science*, **43**: 237-248.
- Wösten, J. H.; Pachepsky, Ya. A. & Rawls, W.J. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*, **251**: 123-150.