

## Funções de pedotransferência para estimativa da densidade dos solos de áreas tropicais montanhosas.

**Waldir de Carvalho Junior<sup>(1)</sup>; Cesar da Silva Chagas<sup>(1)</sup>; Braz Calderano Filho<sup>(1)</sup>; Silvio Barge Bhering<sup>(1)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Pesquisador A; Embrapa Solos; Rio de Janeiro; RJ; (Waldir.carvalho; Cesar.Chagas; braz.calderano; silvio.bhering)@embrapa.br

**RESUMO:** O desenvolvimento de funções de pedotransferência (FPT) para a estimativa de valores de densidade dos solos deve ser feita levando em consideração os aspectos regionais onde se encontram os solos. A utilização de FPT de outras áreas, em geral mostra resultados inferiores aqueles estimados por funções desenvolvidas com dados da área de estudo. Foram usados 73 horizontes de solos com os dados de densidade para gerar 3 FPTs. A FPT1 utilizou como preditores 32 variáveis, e as FPT2 e FPT3 usaram 12 variáveis cada. Os valores de  $r^2$  mostraram melhor performance da FPT1 e FPT2, e significativamente diferentes da FPT3, que teve o pior desempenho. A FPT2 foi escolhida para estimar a densidade do solo dos 416 horizontes sem esta análise, e apresentou valor médio de 1,272 com desvio padrão de 0,208. A FPT2 teve  $r^2$  de 0,72. Esta FPT2 também apresentou o menor valor de erro padrão residual, corroborando com a escolha desta FPT2 para estimativa da densidade.

**Termos de indexação:** R, regressão linear, stepwise.

### INTRODUÇÃO

As funções de pedotransferência (FPT) para estimar atributos dos solos vem sendo cada vez mais utilizadas para cobrir a falta de informações sobre determinadas propriedades dos solos. Segundo Minasny & Hartemink (2011), é praticamente impossível medir as propriedades dos solos continuamente para cada local no globo terrestre, e assim, necessitamos de sistemas robustos para prever determinadas propriedades em determinados locais, principalmente em regiões tropicais onde a falta de informações pedológicas é grande.

O conceito de função de pedotransferência vem sendo usado para estimar propriedades dos solos que são difíceis de determinar, em razão do custo e tempo necessário. Desta forma, trabalhos focados neste tema vem sendo apresentados a sociedade científica desde o 7º Congresso Internacional de Ciência do Solo, onde De Leenheer & Van (1960), citado por Minasny & Hartemink (2011), colocaram a

seguinte questão: “É possível prever alguma característica física do solo, conhecendo-se os componentes do solos?”. Segundo Benites et al. (2007), a medição da densidade do solo é essencial para estimar a reserva de carbono do solo. Entretanto, a amostragem de campo, especialmente em profundidades variadas e a medição direta da densidade requer trabalho intenso, demorado e, muitas vezes, torna-se impraticável.

Segundo De Vos et al. (2005), as FPT mostram grandes diferenças de performance quando aplicadas em ambientes diferentes daqueles em que foram calibradas, o que reforça a necessidade de se construir FPTs para cada atributo em cada ambiente distinto.

Assim, o objetivo deste trabalho é de apresentar o desenvolvimento de FPTs ajustadas para estimar a densidade de solos de regiões tropicais montanhosas, a partir de atributos de solos comumente encontrados nas descrições de perfis de solos de levantamentos regionais.

### MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido para a região de “Mar de Morros”, especificamente para o município de Bom Jardim (RJ), que localiza-se na mesoregião Centro Fluminense, dentro da microrregião de Nova Friburgo, entre as coordenadas geográficas 22° 06' e 22° 18' de latitude sul e 42° 12' e 42° 30' de longitude oeste (**Figura 1**). Sua área total é de 385,04 km<sup>2</sup> e sua população de cerca de 25.400 habitantes segundo o censo de 2010 (IBGE, 2011), onde 60% está na área urbana e 40% no meio rural.

A densidade do solo é definida como a relação entre a massa de sólidos secos do solo e seu volume total, conforme **Equação (1)**, tendo como unidade de medida g cm<sup>-3</sup>.

$$D_s = m_s/V_s \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:  $D_s$  = densidade do solo;  $m_s$  = massa do solo seco; e  $V_s$  = volume do solo.

A determinação da densidade é obtida pela medição direta dessas duas variáveis (massa e volume). O método usual para determinação da densidade envolve a obtenção de uma amostra de volume conhecido por meio de anéis volumétricos

inseridos no solo com o uso de equipamento apropriado. A massa da amostra é obtida por pesagem em balança analítica após remoção da umidade em estufa a 105°C até peso constante. Esse método, denominado “Método do anel volumétrico”, é o mais usado em trabalhos de avaliação da densidade de solo (Blake & Hartge, 1986; Embrapa, 1997).

Foram coletadas amostras em 208 pontos (segundo Santos et al., 2005), compostos por perfis completos, amostras extras e amostras do horizonte A, que totalizam 603 horizontes amostrados e analisados. Dentre estes, 163 horizontes possuem a determinação de densidade (pelo método do anel volumétrico), sendo que 90 representam as amostras de horizonte A, que não possuem resultados analíticos de ataque sulfúrico, acrescidos de 24 horizontes com resultados analíticos incompletos e foram retiradas do desenvolvimento e aplicação das FPTs. Assim, utilizou-se 73 horizontes para desenvolver as FPTs para estimar a densidade do solo dos outros 416 (representado por 603 – 163 – 24 = 416) horizontes que não possuíam a determinação em laboratório.

As FPTs foram desenvolvidas a partir da utilização de todas as 32 variáveis correlatas e presentes nos resultados analíticos, a saber: densidade (g/cm<sup>3</sup>), calhaus (g kg<sup>-1</sup>), cascalho (g kg<sup>-1</sup>), Terra Fina (g kg<sup>-1</sup>), areia grossa (g kg<sup>-1</sup>), areia fina (g kg<sup>-1</sup>), silte (g kg<sup>-1</sup>), argila (g kg<sup>-1</sup>), argila dispersa em água (g kg<sup>-1</sup>), grau de floculação (%), relação silte/argila, pH em água e KCl, Ca+Mg (cmol<sub>e</sub>/kg), Potássio (cmol<sub>e</sub>/kg), Sódio (cmol<sub>e</sub>/kg), Valor S (cmol<sub>e</sub>/kg), Alumínio (cmol<sub>e</sub>/kg), hidrogênio (cmol<sub>e</sub>/kg), Valor T (cmol<sub>e</sub>/kg), Valor V (%), Saturação por Alumínio (%), Fósforo (mg.kg<sup>-1</sup>), Carbono orgânico (g kg<sup>-1</sup>), Nitrogênio (g kg<sup>-1</sup>), relação C/N, SiO<sub>2</sub> (g kg<sup>-1</sup>), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (g kg<sup>-1</sup>), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (g kg<sup>-1</sup>), TiO<sub>2</sub> (g kg<sup>-1</sup>), Ki, Kr e relação Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

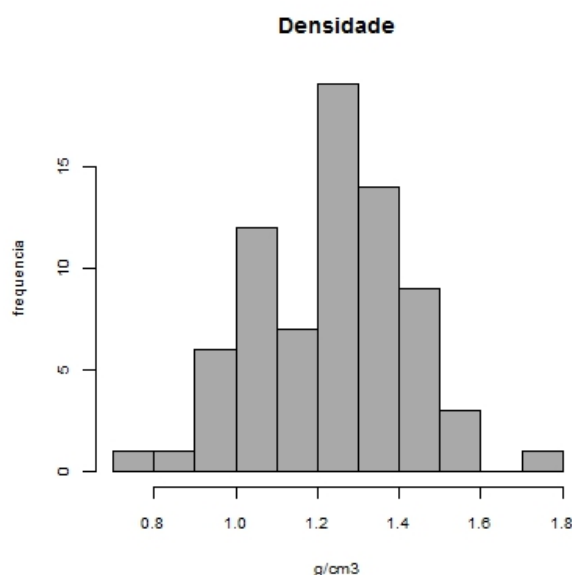
Para construir esta análise foi utilizado o pacote estatístico R (R Development Core Team, 2007) e o conjunto de dados do solo foi organizado em planilhas Excel (Microsoft) e exportados em formato de texto para a entrada no R. As FPTs foram elaboradas por regressão linear múltipla.

Inicialmente foram obtidos os valores de estatística básica da densidade, representados por média, desvio padrão, máximo, mínimo, mediana e valores dos 1º e 3º quartis e observada a distribuição de frequência. Em seguida foram elaboradas 3 FPTs, a saber: (A) FPT1 com todas as variáveis, (B) FPT2 utilizando stepwise com opção “direction=backward”, e (C) FPT3 com as variáveis

com valor *p* do teste de correlação com a densidade menor ou igual a 0,05.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição de frequência dos valores de densidade do solo das 73 amostras pode ser observada na **Figura 2**.



**Figura 2** – Distribuição de frequência dos valores de densidade de 73 mostras.

A **Tabela 1**, a seguir, mostra os valores da estatística básica para os dados de densidade.

**Tabela 1** – Estatística básica descritiva dos dados analíticos de densidade do solo para o município de Bom Jardim – RJ.

mín	1º qu	median	média	3º qu	máx	DP
0,71	1,095	1,26	1,232	1,35	1,72	0,181

Onde: mín=mínimo, 1º qu = 1º quartil, máx = máximo, DP = desvio padrão..

A primeira FPT desenvolvida utilizou todas as variáveis e apresentou um coeficiente de determinação (*r*<sup>2</sup>) igual a 0,75. A partir desta regressão, foi utilizada a opção “stepwise” para diminuir o número de variáveis, que passou de 32 para 12, a saber: calhaus, silte, relação silte/argila, pH<sub>H2O</sub>, pH<sub>KCl</sub>, Valor V, Fósforo, Carbono Orgânico, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e Ki. Nesta regressão o valor de *r*<sup>2</sup> foi de 0,72. Estas duas regressões não apresentaram diferença significativa pela análise de variância entre as regressões (ANOVA), que apresentou valor *p* menor que 0,005.

A terceira FPT desenvolvida com variáveis que

possuem valor  $p$  da correlação com a densidade menor que 0,05 apresentou  $r^2$  de 0,49 e utilizou as seguintes variáveis preditoras: areia grossa, areia fina, silte, argila, argila dispersa, alumínio, relação C/N,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Ki e Kr. Esta FPT, pela análise de variância ANOVA, foi significativamente diferente das outras duas FPTs.

A **Figura 3** apresenta o resultado gráfico da plotagem entre os valores observados e estimados para as três FPTs.

Os valores de erro padrão residual, calculado pela raiz quadrada da soma do quadrado dos resíduos (SSE) dividido por 45 (graus de liberdade), foi de 0,115, 0,105 e 0,142 para FPT1, FPT2 e FPT3, respectivamente.

### A estimativa para 416 horizontes

A estimativa dos valores de densidade para os 416 horizontes que não possuíam a medição deste atributo, foi feita pelas três FPTs e apresentaram os resultados conforme a **Tabela 2**.

**Tabela 2** – Estatística básica descritiva das estimativas de densidade do solo para o município de Bom Jardim – RJ.

	FPT1	FPT2	FPT3
Mínimo	-3,681	-0,582	-2,987
1º quartil	1,184	1,211	1,179
Mediana	1,291	1,294	1,250
Média	1,261	1,272	1,241
3º quartil	1,393	1,385	1,320
Máximo	1,675	1,631	1,585
Desv. pad.	0,311	0,208	0,236

Os resultados apresentados nas tabelas e figuras mostram diferenças entre as três FPTs. A FPT1, com todas as variáveis não foi significativamente diferente da FPT2, com 12 variáveis. Este fato nos leva a optar pela FPT2 exatamente por conter menos variáveis e ser mais simples que a FPT1.

A FPT3 foi significativamente diferente das outras duas FPT e com performance mais baixa que as demais. Além disto, a FPT3 mostrou um desvio padrão maior que a FPT2 (**Tabela 2**), como pode ser observado na **Figura 3C**, onde as estimativas aparecem mais dispersas em relação as outras duas funções.

### CONCLUSÕES

De acordo com os resultados alcançados pela aplicação da três FPTs, conclui-se que a FPT2 foi a que melhor estimou a densidade do solo para os horizontes sem esta análise, utilizando apenas 12 variáveis e tendo o menor erro padrão residual.

A aplicação da função “stepwise” para diminuir o

número de variáveis preditoras não diminui a performance da função e a torna mais simples.

Para esta função FPT2, as variáveis mais importantes foram o carbono orgânico,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , relação silte/argila,  $SiO_2$  e Ki.

A aplicação de procedimento como o deste trabalho, pode auxiliar na estimativa da densidade de horizontes de solos através de funções de pedotransferência para onde este atributo não foi analisado.

### REFERÊNCIAS

MINASNY, B. & HARTEMINK, A. E. Predicting soil properties in the tropics. *Earth-Science Reviews* 106:52–62, 2011.

BENITES, V.M., MACHADO, P.L.O.A., FIDALGO, E.C.C., COELHO, M.R., MADARI B.E. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma* 139:90–97. 2007.

De VOS, B.; Van MEIRVENNE, M.; QUATAERT, P.; DECKERS, J.; MUYS, B. Predictive quality of pedotransfer functions for estimating bulk density of forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:500–510, 2005.

IBGE. Censo 2010 – Disponível em <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>> Acesso em 03 de abril de 2011.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <<http://www.R-project.org>>, 2007.

BLAKE, G. R. & HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd. ed. Madison: Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 363-375. (Agronomy Series, 5)

Embrapa. Manual de metodos de analise de solo. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5. ed. rev. ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

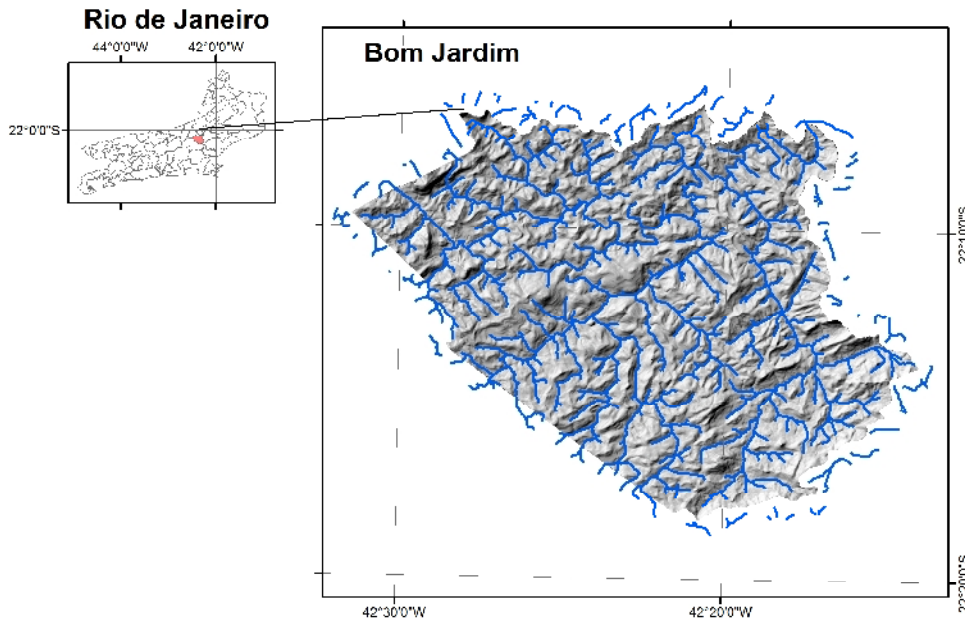


Figura 1 – Localização da área de estudo. Município de Bom Jardim – RJ.

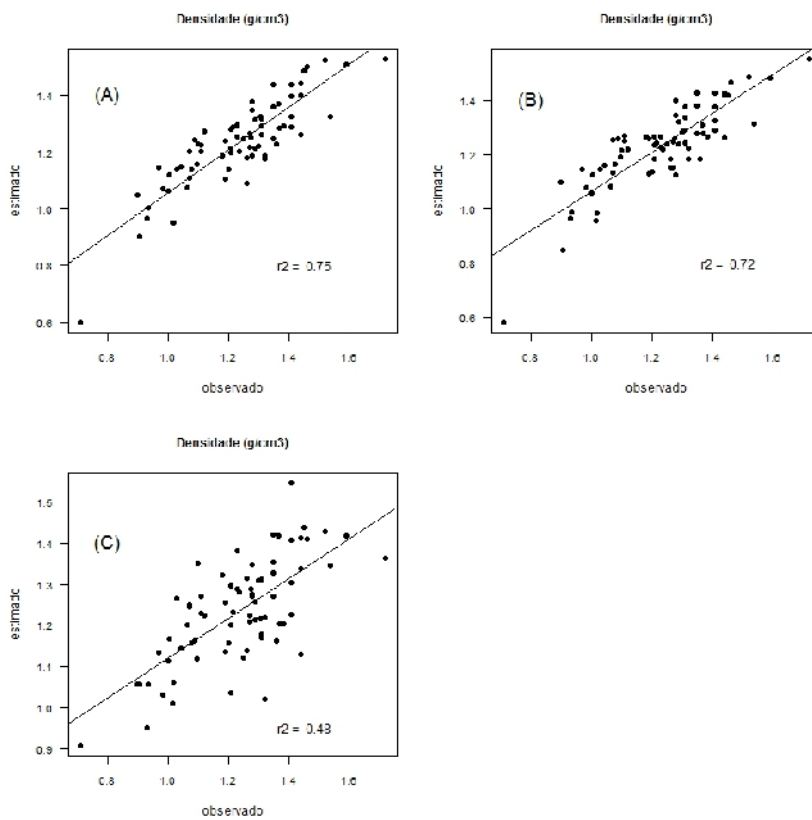


Figura 3 – Plotagem entre os valores observados e estimados para as 3 FPTs analisadas, com os respectivos valores de  $r^2$ , sendo: (A) com todas as 32 variáveis, (B) regressão stepwise com 12 variáveis e (C) com 12 variáveis com valor p da correlação menor ou igual a 0,05.