

XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

“Comparando modelos matemáticos para estimativa da densidade do solo em solos do Sudoeste Goiano”

THAMYRES LACERDA ROCHA⁽¹⁾, MARÍA CELESTE MIRETTI⁽²⁾; FABIANO DE CARVALHO BALIEIRO⁽³⁾; MARCONI BETTA⁽⁴⁾; VINÍCIUS DE MELO BENITES⁽³⁾; JOSÉ CARLOS POLIDORO⁽³⁾

RESUMO - A densidade do solo é um atributo de importância para estudos agrônomicos e mais recentemente tem sido amplamente utilizada na avaliação dos impactos do uso da terra nos estoques de carbono (C) do solo. Alguns trabalhos foram previamente realizados com o intuito de propor modelos de regressão, ou funções de pedotransferência (PTFs) capazes de estimar esse atributo. Este trabalho propõe comparar alguns desses modelos e verificar, para um conjunto de dados de solos do Sudoeste Goiano, qual melhor estima esse atributo. O valor médio de densidade da base utilizada se apresentou diferente estatisticamente a todas as médias das densidades estimadas. Os modelos também tenderam a apresentar médias diferentes entre si. A exceção são os modelos 1 e 2 de Benites *et. al* [1] e os modelos 3, 4 e 5 conforme Benites *et. al* [1], Bernoux *et. al* [10], Tomassela e Hodnett [11], que apresentaram, ao nível de 25% de significância, médias consideradas iguais. Os modelos 1 e 2 [1] estimaram valores de densidade que mais se aproximaram da densidade real dos solos amostrados. Conclui-se que os modelos se mostraram tendenciosos, na medida em que superestimaram a densidade de solos característicos do Sudoeste Goiano. Desta forma, acredita-se que modelos de regressão regionais devam ser propostos para serem utilizados para regiões particulares de estudo.

Palavras-Chave: funções de pedotransferência; matéria orgânica do solo; Cerrado.

Introdução

Os ecossistemas terrestres são reservatórios significativos de carbono, com destaque para o solo, que estoca cerca de três quartos desse total [2]. O uso e as mudanças de uso do solo, assim como o deflorestamento e as queimadas são responsáveis por perdas significativas de matéria orgânica do solo (MOS) e emissão de gases de efeito estufa (GEE), especialmente no Brasil [3,4,5].

A avaliação temporal dos estoques de C do solo tem sido bastante estudada na medida em que identifica usos ou sistemas de manejo que possam funcionar como fonte ou dreno de C. Para estudos dessa natureza é imprescindível a determinação da densidade do solo. A densidade do solo é um atributo físico que relaciona a massa de solo (Ms, geralmente seca a 105°C por 24 horas) existente num determinado volume (Vt), estando seu espaço poroso preservado. É um atributo que se relaciona com outras propriedades do solo, como a capacidade de retenção e armazenamento de água do solo, a porosidade e troca de gases e por isso assume grande importância em estudos diversos. A respiração de raízes, a metanogênese, a nitrificação e denitrificação, o potencial redox, o transporte de nutrientes e outros processos naturais do solo estão relacionados com as variações desse atributo.

A estimativa direta desse atributo, ou seja, em campo é bastante demorada e laboriosa e por isso modelos matemáticos têm sido propostos por diversos autores para predição desse atributo a partir de outras propriedades do solo, como teor de C orgânico, de argila, dentre outros. Esses modelos têm sido utilizados na geração de mapas de estoques de C em escalas regionais ou nacionais [6,7], quando se utilizam dados secundários que carecem de informação sobre tal atributo, como em alguns levantamentos pedológicos.

A partir da disponibilização de informações de informações de perfis de solo da região do Sudoeste Goiano, estudou-se o potencial de cinco funções de pedotransferência citadas na literatura na estimativa da densidade de solo dos mesmos perfis, comparando-os aos valores obtidos a partir do método direto.

Material e Métodos

Sessenta e sete perfis de solo foram abertos no Sudoeste Goiano, bioma Cerrado. Os perfis contemplavam quatro diferentes usos (vegetação nativa, agricultura, pastagem e silvicultura – eucalipto) e abrangiam predominantemente os Latossolos Vermelhos distroféricos [8].

⁽¹⁾ Graduando em Estatística, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Athos da Silva Ramos 149, Centro de Tecnologia, Bloco C, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, CEP 21941-909 E-mail: thamyreslacerda@uol.com.br.

⁽²⁾ Doutoranda CONICET, Docente de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, 86-Kreder 2805, Esperanza S3080HOF, Santa Fe, Argentina.

⁽³⁾ Pesquisadores Embrapa Solos Rua Jardim Botânico 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, CEP 22460-000

⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Fesurv – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, GO, CEP 75.901-970.

As informações utilizadas nesse trabalho, de cada perfil, e para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, foram: densidade (g cm^{-3}), pH (CaCl_2), carbono orgânico (g kg^{-1}), soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e teor de argila, silte e areia (g kg^{-1}), todos analisados segundo metodologia descrita por EMBRAPA [9].

Os modelos utilizados para estimativa da densidade do solo encontram-se na Tabela 1 [1,10,11,12]. A única adaptação feita para aplicação das informações disponíveis aos modelos, além das transformações de unidade, foi o uso do modelo proposto (abaixo) por [13] para estimativa do pH em água a partir de medidas de pH em CaCl_2 , para solos do Cerrado:

$$\text{pH(água)} = \frac{\text{pH(CaCl}_2) + 0.12}{0.889}$$

Como os modelos testados referem-se a duas categorias de profundidade: horizontes superficiais (0-30 cm), e horizontes subsuperficiais (30-100cm), e nossos dados recaem até a profundidade de 40 cm, foi utilizado o valor ponderado das quatro profundidades de cada atributo (teores de argila, silte, areia, soma de bases (SB), pH (em H_2O) e densidade do solo obtida).

Os valores de densidade estimada pelos diferentes modelos foram comparados entre si pelo teste t-Student. A regressão linear simples foi utilizada para relacionar as estimativas obtidas pelos modelos e aquela obtida pela amostragem *in situ*, de forma direta, sendo o intercepto e o coeficiente angular testado por meio do teste t-Student para validação da densidade estimada indiretamente.

Dos valores estimados para a densidade realizou-se ainda uma análise de resíduos, com posterior confecção de um gráfico de dispersão (Densidade estimada vs Resíduo de densidade) tornando possível a visualização da aleatoriedade dos resíduos e identificação de possíveis superestimações ou subestimações. Um gráfico do tipo Box Plot (gráfico que indica os quartis e *outliers* da distribuição) permite visualizar a simetria existente nos valores coletados e estimados de densidade. Os dados foram analisados pelo software Statística (versão 7.1) e pelo InfoStat (2008p).

Resultados

As medidas de dispersão e que caracterizam a estatística descritiva dos dados coletados e utilizados nos modelos estão disponíveis na Tabela 2. Os dados de densidade da base utilizada apresentaram valores médios diferentes estatisticamente a todas as médias das densidades estimadas. Os modelos também tenderam a apresentar médias diferentes entre si. A exceção são os modelos 1 e 2 e os modelos 3, 4 e 5, que apresentaram, ao nível de 25% de significância, médias consideradas iguais.

Se os modelos estimam bem a densidade, a reta de regressão obtida a partir do método direto vs. densidades estimadas (indiretamente) deve ter intercepto igual zero e inclinação da reta igual um. O teste *t* permitiu detectar que nenhum dos modelos

apresentaram proximidade das densidades coletadas, exceto com significância 0,95 o modelo 1 mostrou ter inclinação um. A Figura 1 apresenta as retas e regressões obtidas para os valores de densidade estimados e reais.

A densidade estimada vs. os resíduos se encontram na Figura 2. Os resíduos não são tendenciosos, e descrevem que 98% dos valores estimados estão superestimados.

No gráfico do tipo Box Plot pode ser observado que o conjunto de valores de densidades obtidos *in situ* tiveram grande amplitude, assim como os valores estimados pelo modelos 1, 2 e 4, enquanto nos demais modelos a amplitude foi menor. Os valores máximos de densidades estimadas são semelhantes, e os mínimos não estão próximos entre si. Todos os modelos apresentaram um intervalo pequeno entre a mediana e os máximos estimados.

As medianas estimadas são próximas e diferem da mediana das densidades observadas. A simetria foi maior nas densidades coletadas e no modelo 6 comparado com os demais modelos.

Discussão

Os modelos 1 e 2 de Benites *et al.* [1] estimaram valores de densidade que mais se aproximaram da densidade real dos solos amostrados, apresentando médias semelhantes entre si e erros-padrão iguais. Como a única diferença entre os modelos é o acréscimo da variável SB, atenta-se para praticidade do uso do modelo 1 e economia decorrente da necessidade de se analisar os cátions componentes da SB. Vale destacar que os mesmos autores citam modelos mais complexos no trabalho, mas que não puderam ser utilizados nesse trabalho devido a ausência de informações de algumas variáveis (teores de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , N, argila dispersa em água e relação C:N) para sua aplicação.

Como as regressões (Figura 1) não passam pela origem e não tem inclinação um, os valores gerados pelos modelos não conseguem expressar a verdadeira densidade. Vale comentar que o fato dos interceptos dos modelos que foram sugeridos serem elevados, em relação a contribuição relativa das demais variáveis independentes dos modelos pode indicar, talvez, que essas variáveis, muitas vezes as únicas disponíveis para o tratamento estatístico, pudessem ser substituídas por outras.

Os modelos 3, 5 e 6 tiveram menor sensibilidade em captar a variabilidade das distintas situações de densidade amostradas, pois apresentaram amplitudes distintas para os valores estimados, especialmente para aqueles de menor valor. Todos os modelos tenderam a “achatar” a amplitude superior da densidade.

Os modelos tenderam ainda a superestimar (em 11-16%) a densidade do solo. Como o erro durante a amostragem desse atributo é comum e deva ser superior aquele envolvido na sua determinação (procedimentos de pesagem basicamente), os autores não podem descartar a possibilidade de ele ter ocorrido. Porém,

não havendo erro algum os autores acreditam que seria mais indicado gerar novos modelos ou funções de pedotransferência para a região do Sudoeste Goiano.

Conclusões

Os modelos testados tenderam a superestimar os valores de densidade de solos do Sudoeste Goiano, e por isso recomenda-se a geração de novos modelos ou funções de pedotransferência para a estimativa desse atributo na região.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao projeto “Transição Agroecológica da Agricultura Familiar da Região Serrana Fluminense”, da Embrapa, pela Bolsa concedida a primeira autora, ao projeto ADUBA BRASIL, pela disponibilização dos dados e ao IAI pelas passagens aéreas.

Referências

- [1] BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; FIDALGO, E.C.C.; COELHO, M.R. & MADARI, B.E. 2007. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, 139: 90-97.
- [2] WATSON, R.T., CORE WRITING TEAM (Ed.) *Climate Change 2001: synthesis report third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge: University Press, 2001, 397p.
- [3] FEARNSIDE, P.M. 2000. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change*, 46: 115–158.
- [4] MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L., KING, J.; PALM, C.2004. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. *Environment, development and sustainability*, 6: 11-49.
- [5] TEIXEIRA, M.A.; MURRAY, M.L.; CARVALHO, M.G.2006. Assessment of land use and land use change and forestry (LULUCF) as CDM projects in Brazil. *Ecological Economics*, 60, 260-270.
- [6] BERNOUX, M.; SANTANA CARVALHO, M.C.; VOLKOFF, B. & CERRI, C. 2002. Brazil's Soil Carbon Stocks. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:888-896.
- [7] SCHAEFER, C.E.G.R., AMARAL, E.F., MENDONÇA, B.A.F., OLIVEIRA, H., LANI, J.L., COSTA, L.M., FERNANDES FILHO, E.I. 2008. Soil and vegetation carbon stocks in Brazilian Western Amazonia: relationship and ecological implications for natural landscapes. *Environ. Monit. Assess.*, 140: 279-289.
- [8] BRASIL.1989. Ministerio das Minas e Energia. Folhas SE-22-VD (Jataí), SE-22-X-A (Inhúmas), SE.22-X-C (Rio Verde), SE-22-Y-B (Caçu) e SE-22-Z-A (Quirinópolis): Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso potencial da terra. Mapas escala 1: 250.000. Levantamento de Recursos Naturais, v.25, *Projeto Radambrasil*. Rio de Janeiro, 1981. 636p
- [9] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. *Manual de métodos de análise de solos*. 2nd Ed. Documentos. Vol 1 Embrapa-CNPS. Rio de Janeiro. 212 pp.
- [10] BERNOUX M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; VOLKOFF, B.; JOLIVET, C. 1998. Bulk Densities of Brazilian Amazon Soil Related to Other Soil Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:743-749.
- [11] TOMASELLA, J. & HODNETT, M.G. 1998. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Science*, 163(3):190-202.
- [12] MANRIQUE, L.A. & JONES, C.A. 1991. Bulk Density in Relation to Soil Physical and Chemical Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:476-481
- [13] SOUZA, D.M.G, MIRANDA, L.N., LOBATO, E., CASTRO, L.H.R.1989. Métodos para determinar as necessidades de calagem e solos dos Cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13: 193-198.

Tabela 1. Modelos de regressão utilizados para estimativa da densidade do solo.

| Autor | Modelo | R ² | Ep | n |
|---|---|----------------|------|-------|
| Benites <i>et al.</i> , [1] (Modelo 1) | D1= 1,566 -0,0005*argila(g kg ⁻¹) -0,01*OC(g kg ⁻¹) +0,0075*SB(cmol _c kg ⁻¹) | 0,66 | 0,11 | 1396 |
| Benites <i>et al.</i> , [1] (Modelo 2) | D2= 1,5688 -0,0005*argila(g kg ⁻¹) -0,009*OC(g kg ⁻¹) | 0,63 | 0,11 | 1396 |
| Benites <i>et al.</i> , [1] (Modelo 3) | D3= 1,5224 -0,0005*argila(g kg ⁻¹) | 0,42 | 0,14 | 1396 |
| Bernoux <i>et al.</i> , [10] (Modelo 4) | D4= 1,524 -0,0038*argila(%) - 0,05*OC(%) -0,045*pH _{água} +0,001*areia(%) | 0,56 | 0,09 | 323 |
| Tomassela e Hodnett, [11] (Modelo 5) | D5= 1,578 -0,054*OC(%) -0,006*silte(%) -0,004*argila(%) | NI | NI | 396 |
| Manrique e Jones, [12] (Modelo 6) | D6= 1,66 -0,318*OC ^{1/2} (%) | 0,41 | 0,19 | 19651 |

R²: Coeficiente de determinação; EP: Erro padrão da média; n: Número de informações utilizadas na geração do modelo; D1, D2, D3, D4, D5, D6: densidade do solo estimada pelos diferentes modelos em g cm⁻³; OC: teor de carbono orgânico; SB: soma de bases; NI: não informado.

Tabela 2. Medidas resumo dos valores observados e estimados de densidade do solo.

| | N | Média | Min | Max | Var | DP | EP |
|-----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Coletados | 67 | 1,16 | 0,777 | 1,391 | 0,021 | 0,143 | 0,018 |
| Modelo 1 | 67 | 1,29 | 0,841 | 1,454 | 0,020 | 0,141 | 0,017 |
| Modelo 2 | 67 | 1,30 | 0,882 | 1,455 | 0,019 | 0,139 | 0,017 |
| Modelo 3 | 67 | 1,35 | 1,157 | 1,445 | 0,007 | 0,086 | 0,010 |
| Modelo 4 | 67 | 1,35 | 1,016 | 1,494 | 0,017 | 0,129 | 0,016 |
| Modelo 5 | 67 | 1,35 | 1,072 | 1,478 | 0,014 | 0,118 | 0,014 |
| Modelo 6 | 67 | 1,34 | 1,047 | 1,492 | 0,008 | 0,091 | 0,011 |

N: Número de observações; Min: Mínimos observado e estimados; Max: Máximos observado e estimados; Var: Variância; DP: Desvio padrão; EP: Erro padrão.

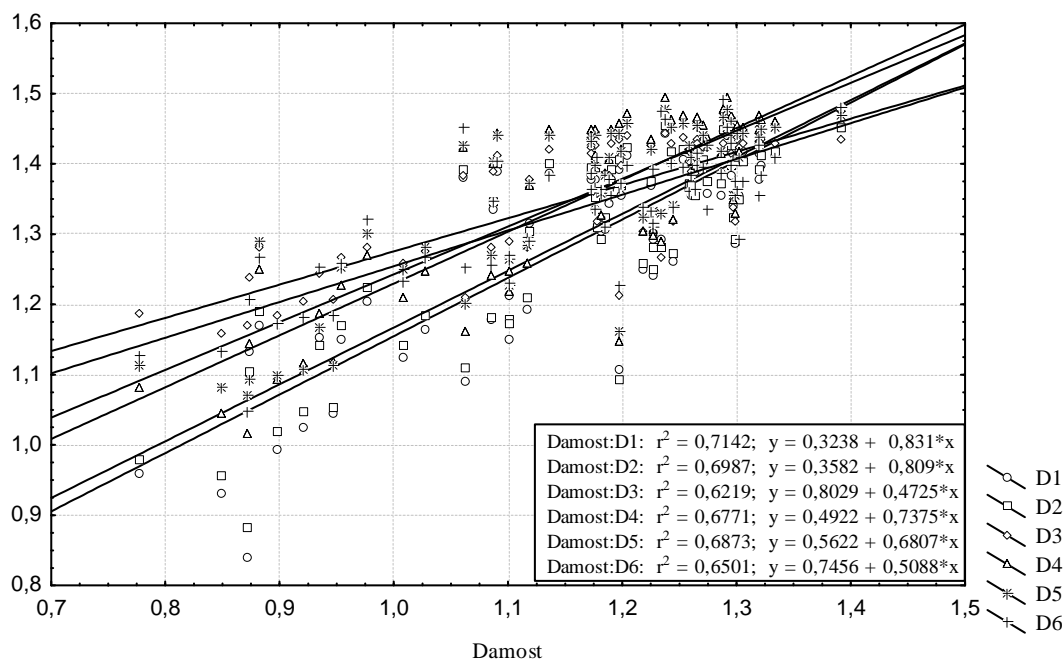


Figura 1: Regressão linear de Densidades observadas (Damost) vs Densidades Estimadas. D1, D2, D3, D4, D5 e D6 descrevem valores de densidade do solo estimados pelos modelos citados na Tabela 1.

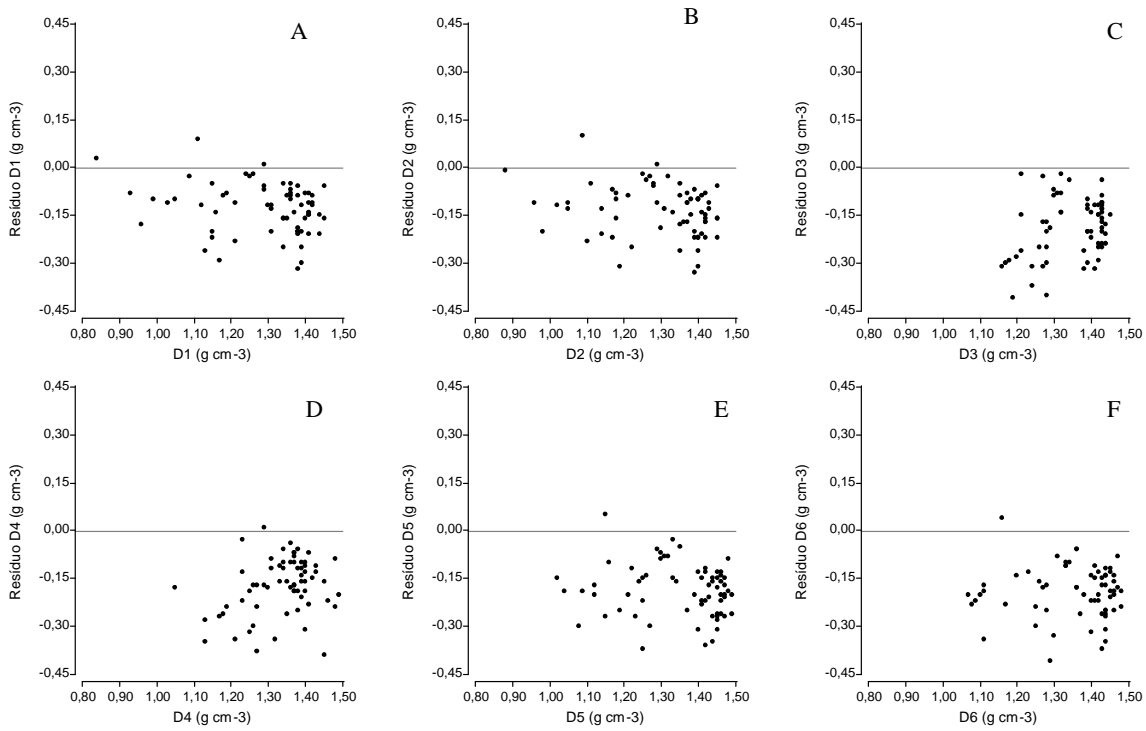


Figura 2: Análises de Resíduos para os modelos 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), 5 (E) e 6 (F)

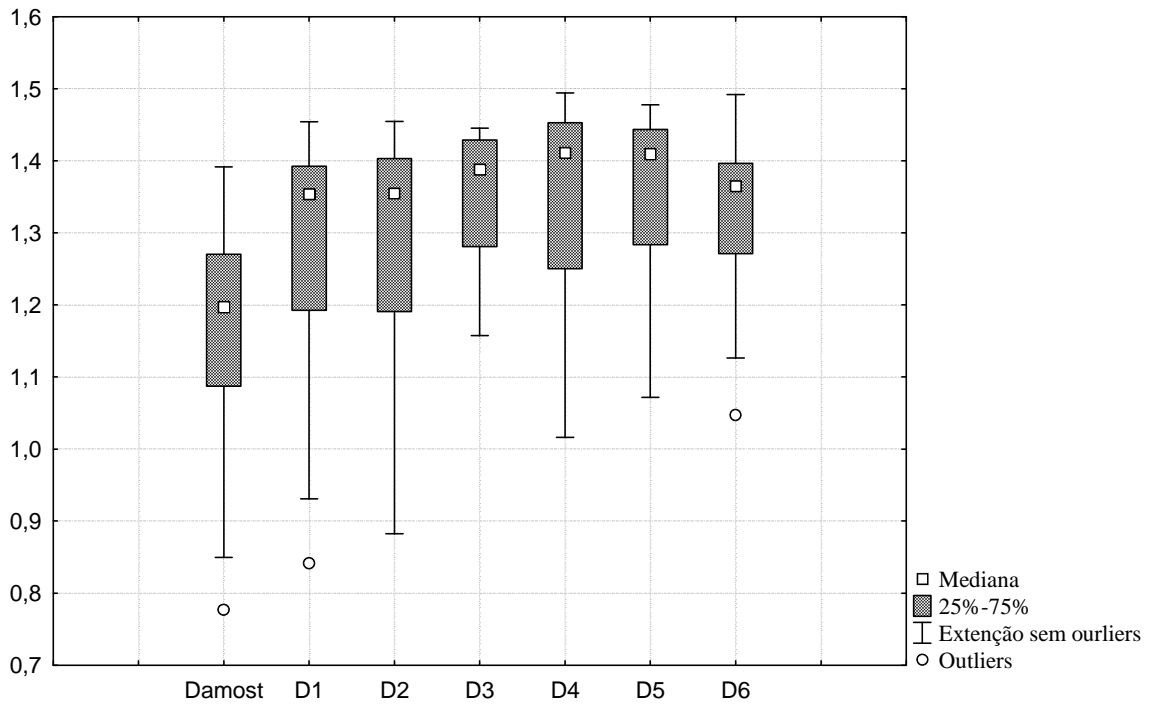


Figura 3: Box Plot para valores de densidade coletadas (D amost) e estimadas pelos modelos 1, 2, 3, 4, 5 e 6