

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÃO DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA ESTIMATIVA DE TEORES DE CARBONO EM SOLOS BRASILEIROS: ANÁLISE EXPLORATÓRIA

A. C. M. Cidin^{1,*}, M. L. R. C. Lopes-Assad², S. Crestana³

¹ Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São Carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, São Paulo

² Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Anhanguera, km 174, CEP 13604-900, Araras São Paulo, leonorrcla@gmail.com

³ Embrapa Instrumentação, Rua 15 de Novembro, 1452, CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo, silvio.crestana@embrapa.br

* Autor correspondente, e-mail: carolcidin@gmail.com

Resumo: Tendo em vista a necessidade de estimativas de teores de C mais precisas, numerosas, econômica e ambientalmente viáveis, como estratégia de mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atividade agropecuária, as funções de pedotransferências (PTF) podem ser desenvolvidas para estimar a quantidade de C, a partir de dados de atributos facilmente obtidos em análises de rotina. Este trabalho, que está em andamento, teve por objetivo apresentar a análise de dados de solos brasileiros organizados. Anteriormente, um banco de dados foi organizado em planilha, com informações de solos brasileiros, extraídas de diversas fontes e publicados até 2015. Após atualização e verificação crítica para ajustes e padronização de unidades, o banco ficou composto por 5.264 amostras de solo com profundidade 0-30 cm. Foram realizadas análises de estatística descritiva e construídos boxplots para apresentar as medidas de tendência central, de dispersão, dados discrepantes e extremos. As amostras recobriram todo o território brasileiro e classes e uso do solo. O alto CV dos atributos reflete à variabilidade de classes de solo. Amostras de C com valores acima de 80 gkg⁻¹ foram consideradas *outliers*. Apesar da distribuição assimétrica e a presença de *outliers*, o banco de dados tem potencial para desenvolver a PTF.

Palavras-chave: banco de dados, carbono orgânico, modelagem.

EVALUATION OF SOIL ATTRIBUTES FOR DEVELOPMENT OF PEDOTRANSFERENCE FUNCTION FOR CARBON CONTENT ESTIMATION IN BRAZILIAN SOIL: EXPLORATORY ANALYSIS

Abstract: In view of the need for more precise, numerous, economically and environmentally feasible C content estimates, as a strategy for mitigating carbon dioxide (CO₂) emissions in agricultural activity, pedotransfer functions (PTF) can be developed to estimate the amount of C, from attribute data easily obtained in routine analyses. This work, which is in progress, aimed to present the analysis of data from organized Brazilian soils. Previously, a database was organized in a spreadsheet, with information on Brazilian soils, extracted from various sources and published until 2015. After updating and critical verification for adjustments and standardization of units, the database was composed of 5,264 soil samples with depth 0-30 cm. Descriptive statistical analyses were performed and boxplots were constructed to present measures of central tendency, dispersion, discrepant and extreme data. The samples covered the entire Brazilian territory and classes and land use. The high CV of the attributes reflects the variability of soil classes. Samples with C values above 80 gkg⁻¹ were considered outliers. Despite the asymmetric distribution and the presence of outliers, the database has the potential to develop PTF.

Keywords: database, organic carbon, modeling.

1. Introdução

O manejo e uso do solo são considerados as principais fontes de emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente o dióxido de carbono (CO_2), no país (BRASIL, 2012). Contudo, o solo tem a capacidade de armazenar maior quantidade de carbono (C), comparado com a vegetação e a atmosfera (CERRI; CERRI, 2007).

A necessidade de medir a quantidade de C nos solos tem sido discutida mundialmente por entidades relacionadas às pesquisas sobre mudanças climáticas, com o intuito de se obter estimativas mais precisas (ROSSEL; BRUS, 2018), que possam compor um inventário de C no solo e subsidiar pesquisas e planejamentos de ações, visando o manejo e proteção de áreas com elevado potencial de estocar C no solo e ampliar a agricultura de baixo C (BRASIL, 2012), além de ser pré-requisito para iniciativas privadas de crédito de C. Organizar informações sobre solos em banco de dados é uma estratégia importante para estimar potenciais áreas de sequestro de C em escala nacional (SOMARATHNA, MINASNY, MALONE, 2017).

Existem vários métodos para determinar os teores de C no solo: via úmida (NELSON; SOMMERS, 1996; PIMENTEL et al., 2006; WALKLEY; BLACK, 1934), via seca: mufla, analisadores automatizados, simulação através dos modelos Century (PARTON et al., 1987) e Roth C (COLEMAN; JENKINSON, 1996). Cada método tem vantagens e limitações, porém, idealiza-se o desenvolvimento de procedimento alternativo de baixo custo econômico e favorável ambientalmente, combinado com adequada precisão e acurácia, como estratégia para a estimativa de C em solos cultivados com diferentes sistemas de produção. Nesse sentido, as funções de pedotransferência (PTF) podem ser desenvolvidas para estimar a quantidade de C, a partir de dados de atributos facilmente obtidos em análises de solo (BOUMA, 1989; LOOY et al., 2017). O desenvolvimento de tais funções permite a estimativa dos teores de C a partir de informações de granulometria, CTC, densidade do solo (DS) e dados de climatologia (FERNÁNDEZ-UGALDE, TÓTH, 2017; MWANGO et al., 2019).

Este trabalho teve por objetivo apresentar a análise de dados de solos brasileiros organizado para desenvolver uma PTF para estimar teores de C no solo.

2. Materiais e Métodos

Dados de solos brasileiros foram extraídos de artigos científicos publicados em revistas nacionais e internacionais, de dissertações e teses defendidas em programas de pós-graduação do Brasil e de boletins técnicos de levantamentos de solos publicados até 2015 e organizados em planilha Excel (CIDIN, 2016).

Após atualização, foram levantados dados de 5.264 amostras na profundidade 0-30 cm. Os atributos organizados foram: local de amostragem, data de coleta, classificação do solo e uso do solo, composição granulométrica (teores de areia, silte e argila), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica total (CTC), quantidade de C, saturação por base (m), saturação por alumínio (V) e referência de origem dos dados. Neste trabalho serão discutidos os atributos teores de areia, silte, argila, CTC, SB e C.

Após a verificação crítica para ajustes e padronização de unidades, foram realizadas análises de estatística descritiva e foram construídos, no *software* R (R Core Team, 2014), boxplots para apresentar as medidas de tendência central, de dispersão, dados discrepantes e *outliers*, que foram identificados a partir do interquartil (IQR) e os primeiros e terceiros quartis e os cálculos dos limites superior e inferior (ROUSSEEUW; HUBERT, 2017).

3. Resultados e Discussão

A maior contribuição dos dados corresponde às amostras dos estados da região Norte, com 1.439 observações (27,4% dos dados), seguidos da região Nordeste e Sudeste, com 1.400 e 952 amostras, respectivamente. (Figura 1). As regiões Centro Oeste e Sul contribuíram com 764 e 689 amostras, respectivamente. Este resultado difere de Benedetti et al (2008), que verificaram com um banco de dados formado por 5.479 perfis de solos brasileiros, visando a atualização da sua

classificação, que 33,3% dos dados eram da região Norte, 26,4% da região Centro Oeste, 23,5% da região Nordeste, com as regiões Sudeste e Sul contribuindo com 9,2% e 7,7%, respectivamente. Na distribuição por estados (Figura 1), observou-se que Minas Gerais foi o estado com maior número de observações, totalizando 578 amostras (11%), enquanto o Amapá contribuiu com o menor número (58 amostras ou 1,1%).

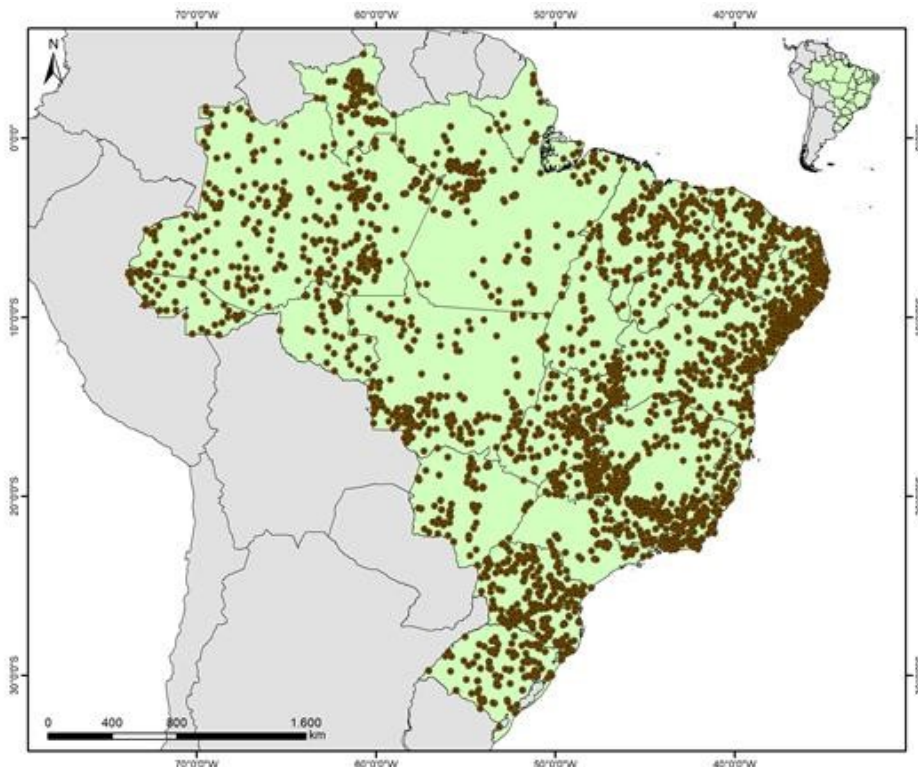


Figura 1. Distribuição das amostras de solo no Brasil.

O banco de dados representou quase as classes de solo definidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013) (Figura 2a). Assim como em Santos et al. (2011), Argissolos e Latossolos somam mais de 50% das amostras.

Entre as principais classes de uso do solo implantadas no Brasil e contempladas no banco de dados (Figura 2a), o maior número de dados corresponde a amostras de pastagens (1888 amostras), seguido de cultura anual (699 amostras) e vegetação nativa (645 amostras).

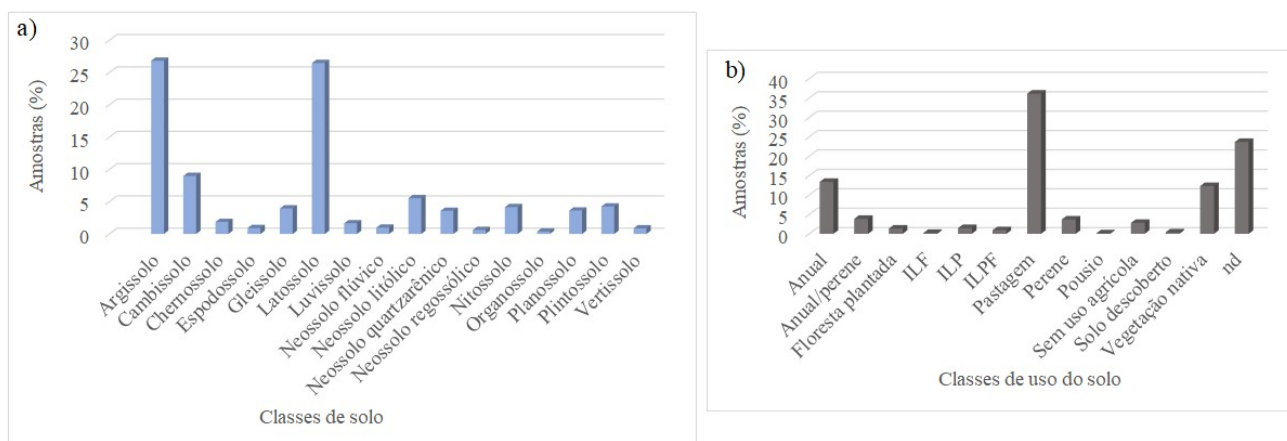


Figura 2. Distribuição das amostras por (a) classes de solo e (b) classes de uso do solo. (ILF = Integração lavoura-floresta, ILP = integração lavoura-pecuária, ILPF = Integração lavoura-pecuária-floresta, nd= não definido)

O elevado DP para atributos granulométricos e o elevado CV para atributos químicos refletem a variabilidade de classes do solo do banco de dados (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados

Variável	N	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP	CV (%)
Areia (g kg ⁻¹)	5.264	2,0	985,0	472,5	490,0	262,1	55,5
Silte (g kg ⁻¹)	5.264	0,0	865,0	211,0	170,0	146,9	69,4
Argila (g kg ⁻¹)	5.264	1,0	935,0	316,6	280,0	202,7	64,1
CTC (cmolc kg ⁻¹)	5.264	0,3	290,7	17,7	13,0	17,9	104,4
SB (cmolc kg ⁻¹)	5.264	0,0	158,2	7,9	3,0	13,3	165,9
C (g kg ⁻¹)	5.264	0,4	559,4	25,7	18,7	28,2	98,9

N = número de amostras, *DP* = desvio-padrão, *CV* = coeficiente de variação

Os teores de areia, silte e argila apresentaram distribuições assimétricas, com presença de outliers nos teores de silte e argila (Figura 3a). Solos com textura siltosa foram observados em Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Neossolos flúvicos, Planossolos e Plintossolos. Os dados de CTC e SB foram homogêneos, com muita presença de *outliers* (Figura 3b). Valores de C acima de 80 gkg⁻¹ foram considerados *outliers* (Figura 4c), com representações em amostras de pastagem, vegetação nativa e cultura anual em todas as regiões do país. O maior valor de C refere-se a uma amostra de Latossolo da região Sudeste.

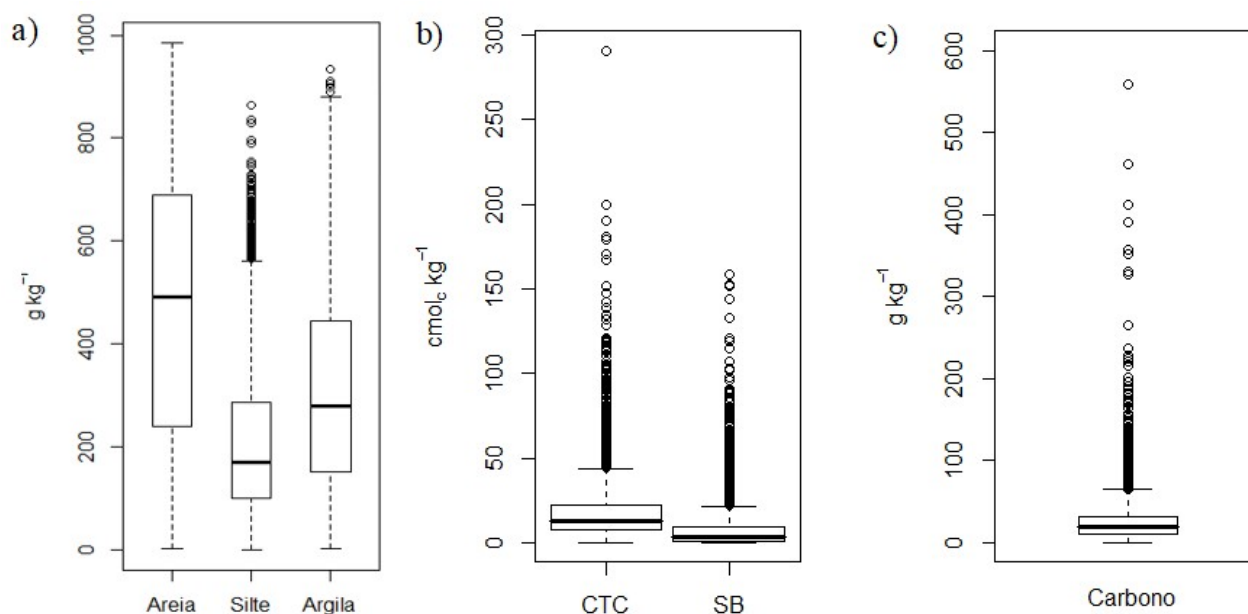


Figura 3. Distribuição dos teores de (a) areia, silte, argila, (b) CTC (total), soma de bases (SB) e (c) carbono representados em boxplots

4. Conclusões

O grande número de dados organizado recobriu todo o território brasileiro, representando as principais classes de solo e uso do solo existentes no país. Apesar da presença de *outliers* em algumas variáveis e distribuições assimétricas dos dados, o banco de dados tem grande potencial para desenvolver a PTF para estimar teores de C no solo e contribuir com a mitigação das emissões de CO₂.

Agradecimentos

À CAPES pela concessão de bolsa e Embrapa Instrumentação pelo apoio.

Referências

- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília: MAPA/ACS, 2012, 173 p.
- CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Agricultura e aquecimento global. Boletim Informativo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.40-44, 2007.
- CIDIN, A.C.M. Estoque de carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição de mitigação de emissões de gases de efeito estufa. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.
- FERNANDEZ-UGALDE, O.; TÓTH, G. Pedotransfer function for predicting organic carbon in subsurface horizons of European soils. *European Journal of Soil Science*, 2017. DOI: 10.1111/ejss.12464.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate change 2001: The scientific basis. Cambridge, Cambridge University, 2001, 881p.
- LOOY, K.V. et al. Pedotransfer functions in Earth system science: challenges and perspectives. *Reviews of Geophysics*. v.55, p.1199-1256, 2017. doi:10.1002/2017RG000581
- MWANGO, S.B. et al. The use of pedo-transfer function for estimating soil organic carbon contents in maize cropland ecosystem in the Coastal Plains of Tanzania. *Catena*, v.172, p.163-169, 2019.
- PIMENTEL, L.C.F. et al. O inacreditável emprego de produtos químicos perigosos no passado. *Química Nova*, v.29, p.1138-1149, 2006.
- PARTON, W.J. et al. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Science Society America Journal*, v.51, p.1173-1179, 1987.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: the R Foundation for Statistical Computing. 2014. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.
- ROUSSEEUW, P.J.; HUBERT, M. Anomaly detection by robust statistics. *WIRES Data Mining and Knowledge Discovery*. Lovaina, Belgium, p. 3-4, 2017.
- SANTOS, H. G. dos et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013, 353 p.
- SANTOS, H. G. dos et al. O novo mapa de Solos do Brasil: Legenda atualizada. Embrapa Solos, 2011. (Documento n. 130).
- SOMARATHNA, P.D.S.N., MINASNY, B.; MALONE, B.P. More Data or a Better Model? Figuring Out What Matters Most for the Spatial Prediction of Soil Carbon. *Soil Science Society of America Journal*, v.81, p.1413-1426, 2017. doi:10.2136/sssaj2016.11.0376
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v. 37 p. 29-38, 1934.