



## Ajuste de um perfil contínuo de carbono orgânico do solo para fins de mapeamento digital

Michender Werison Motta Pereira<sup>(1)</sup>; Mara de Andrade Marinho<sup>(2)</sup>;  
Augusto Fernandes Nalin<sup>(3)</sup>; Antonio-Paz González<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola; Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP; Campinas, SP; michender.ambiental@gmail.com; <sup>(2)</sup> Profª. Drª.; Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP; <sup>(3)</sup> Eng. Agrícola; DPR Engenharia; <sup>(4)</sup> Prof. Dr.; Universidad de La Coruña, Espanha.

**RESUMO:** Os relatórios técnicos dos levantamentos pedológicos contêm inúmeros dados referidos a profundidades não coincidentes, uma vez que a diferenciação dos perfis em horizontes segue critérios genético-morfológicos, diferindo entre perfis. Assim, um modelo que permita ajustar uma função descrevendo a variação contínua de atributos edáficos a partir de um pequeno número de dados, caso dos perfis pedológicos, é de grande interesse em mapeamento digital, por permitir estimar valores em qualquer profundidade. Neste sentido, este trabalho objetivou aplicar a *função Spline quadrática de igual área* aos dados de COS provenientes de horizontes pedológicos (poucas observações) para ajuste de um perfil de variação contínua do COS em profundidade. Foram amostrados dois perfis (experimental: n=50; pedológico: n=5) de um Latossolo Vermelho Distrófico típico textura argilosa cultivado com cana-de-açúcar. A validação da estimativa deu-se por comparação entre valores extraídos da curva ajustada aos dados do perfil pedológico (n=5) e valores medidos em amostras independentes do perfil experimental (n=50) por meio de análises de regressão e correlação linear e cálculo do erro padrão. A *função Spline quadrática de igual área* permitiu não somente descrever com precisão e acurácia a curva de variação do COS em profundidade a partir de um pequeno número de dados (n=5), como também estimar o teor de COS em diferentes profundidades, abrindo uma imensa possibilidade de utilização em mapeamento digital e modelagem ambiental dos dados publicados nos levantamentos de solos.

**Termos de indexação:** pedometria, matéria orgânica do solo, função *spline* de igual área.

### INTRODUÇÃO

A ciência ainda necessita de novas e crescentes formas de aquisição de informação quantitativa acerca da variação espacial e temporal de atributos-chave do solo, como no caso do carbono orgânico do solo – COS (McBratney et al., 2003; Grimm & Behrens, 2010). A representação convencional dos valores de atributos edáficos por horizonte pedológico se refere a um valor médio constante

para uma dada profundidade. Essa representação escalonada não permite conhecer o valor de um dado atributo em uma profundidade definida, dificultando a utilização dos levantamentos pedológicos para fins de descrição da variação espacial de seus atributos.

No entanto, sabe-se que esses atributos, e em particular o COS, variam continuamente em profundidade, conforme já ressaltado por Ponce-Hernandez et al. (1986); Bishop et al. (1999); McBratney et al., (2003) e Malone et al., (2009).

A modelagem da variação contínua em profundidade de atributos do solo se constitui uma das novas formas de aquisição de informações quantitativas, possibilitando o aproveitamento de dados já disponíveis nos relatórios técnicos dos levantamentos de solos. Isto se deve ao fato de que a partir de um perfil contínuo de variação é possível extrair valores em quaisquer profundidades de interesse.

Este trabalho se insere no esforço de quantificação e detalhamento da informação de atributos do solo, onde se buscou responder à seguinte questão: Qual a eficiência da *função Spline quadrática de igual área* na modelagem da variação contínua em profundidade de atributos edáficos?

O objetivo deste trabalho foi aplicar a referida função a dados de COS de horizontes pedológicos (poucas observações) para ajuste de um perfil de variação contínua em profundidade.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho Distrófico típico (*Rhodic Hapludox*) textura argilosa, cultivado com cana-de-açúcar, sob sistema de colheita mecanizada da cana crua, no município de Iracemápolis/SP.

#### Amostragem e determinação do COS

Na área de estudo foi aberta uma trincheira para análise, descrição e coleta de amostras de dois perfis de solo, lado a lado, até 1,0 m de profundidade (**Figura 1**), sendo um perfil pedológico, subdividido em horizontes ( $P_p$ , n=5) (**Tabela 1**), de acordo com os critérios genético-morfológicos descritos em Santos et al. (2013), e um perfil

experimental, amostrado a cada 2 cm de profundidade, perfazendo um total de 50 amostras ( $P_e$ ,  $n=50$ ), utilizado para validação das estimativas.

Os teores de COS das amostras coletadas foram determinados por oxidação úmida utilizando-se o método Walkley-Black modificado por Cantarella et al. (2001).



**Figura 1.** Vista frontal da trincheira com os perfis experimental ( $P_e$ ) à esquerda e pedológico ( $P_p$ ) à direita.

**Tabela 1.** Designação e profundidades dos horizontes do perfil pedológico.

Horizonte	Profundidade cm
Ap1	0 a 23
Ap2	23 a 40
AB	40 a 50
BA	50 a 65
Bw	65 a 100+

### Modelagem do COS em profundidade

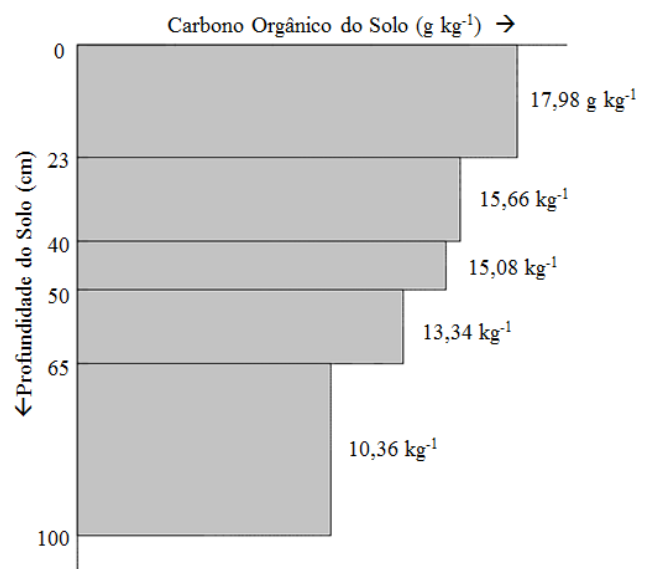
Para modelagem da variação do COS em profundidade (*perfil contínuo*), foi empregado o algoritmo da *função Spline quadrática de igual área* descrito por Malone et al. (2009). Para uso dessa função, fez-se a adaptação do citado algoritmo, implementando-o no programa MATLAB<sup>®</sup>. Outras rotinas também foram desenvolvidas no MATLAB<sup>®</sup>

para a representação gráfica do perfil contínuo de COS e para determinar o conteúdo de COS em uma profundidade definida (Pereira, 2014).

Para fins de validação das estimativas, valores estimados pelo modelo com base nos dados de COS do perfil pedológico ( $n=5$ ) foram comparados aos valores de COS medidos no perfil experimental por meio de análises de regressão e de correlação linear entre dados medidos (reais) e preditos (estimados), calculando-se também a raiz do erro quadrado médio (erro padrão).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de COS ( $\text{g kg}^{-1}$ ) do perfil pedológico ( $P_p$ ) (**Figura 2**) evidenciam decréscimo do COS em profundidade de forma não linear, corroborando com os resultados de Ponce-Hernandez et al. (1986); Bishop et al. (1999); McBratney et al. (2003); Hiederer (2009); Cambule et al. (2013); Sulaeman et al. (2013) e Lacoste et al. (2014).

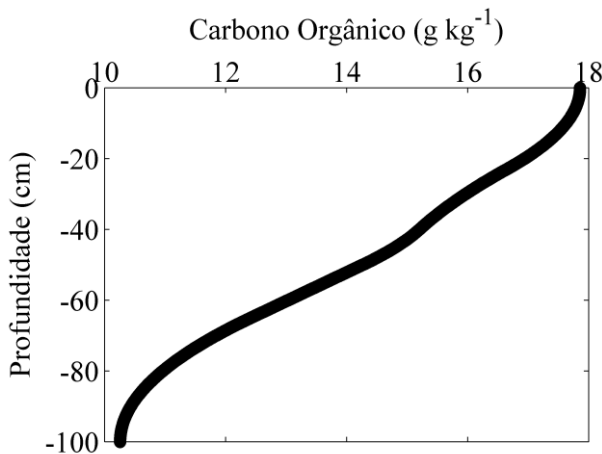


**Figura 2.** Representação convencional em perfil escalonado do carbono orgânico do solo (COS).

A **figura 3** ilustra o perfil contínuo de variação em profundidade do COS ajustado pela *função Spline quadrática de igual área* aos dados de COS da **Figura 2**. A *função spline quadrática de igual área* suaviza os máximos e mínimos obtidos em um horizonte amostrado, construindo um perfil suave e contínuo, como o da **figura 3**, corroborando os registros de Ponce-Hernandez et al. (1986); Bishop et al. (1999); McBratney et al., (2003) e Malone et al., (2009). No entanto, os valores médios para as profundidades definidas no perfil pedológico (medidos), mas empregando os valores do perfil contínuo (estimados) são próximos, com desvio máximo de  $0,64 \text{ g kg}^{-1}$  de COS (**Tabela 2**), o que produziu um erro padrão de apenas 0,397.

**Tabela 2.** COS medido (n=5) e estimado pela spline, desvio e erro padrão dos dados médios obtidos em camadas (espessura dos horizontes).

Profundidade cm	COS Medido (n=5) g kg <sup>-1</sup>	COS Estimado (Spline) g kg <sup>-1</sup>	Desvio g kg <sup>-1</sup>
0 a 23	17,98	17,48	0,50
23 a 40	15,66	15,91	0,25
40 a 50	15,08	14,83	0,25
50 a 65	13,34	13,40	0,06
65 a 100	10,36	11,00	0,64
Erro Padrão			0,397



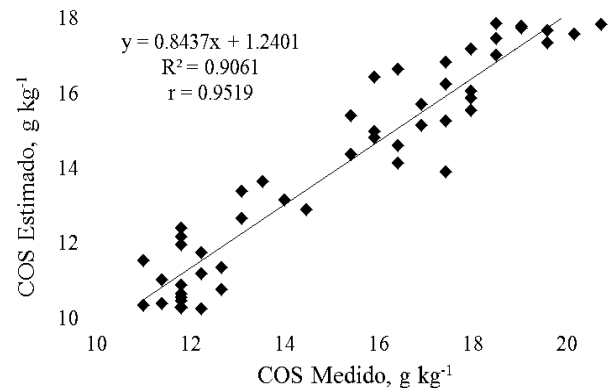
**Figura 3.** Ilustração da curva ajustada aos dados de COS do perfil pedológico (n=5), perfazendo um perfil contínuo do COS.

A validação dos resultados do ajuste do perfil contínuo de COS a partir de poucos dados (n=5) empregando-se os valores medidos do perfil experimental mostrou correlação linear significativa ( $p < 0,01$ ) com coeficiente de correlação  $r$  igual a 0,9519 e coeficiente de determinação elevado ( $R^2 = 0,9061$ ), conforme é mostrado na **figura 4**. O teste da qualidade do ajuste dos dados indicou um erro padrão de 1,46. Minasny et al. (2006) consideraram muito bom um ajuste com erro padrão de 1,22 e  $R^2 = 0,88$ .

Os resultados confirmam que a função *Spline quadrática de igual área* se aplica perfeitamente para descrever a variação contínua do COS em profundidade, mesmo a partir de pequeno número de dados, como no caso dos perfis pedológicos.

Os elevados coeficientes de correlação entre valores de referência (medidos) e os valores estimados, assim como baixo erro padrão, permitem recomendar a função *spline quadrática de igual área* para essa aplicação, corroborando com inúmeros autores que também a recomendam (Ponce-Hernandez et al., 1986; Bishop et al., 1999; McBratney et al., 2000, 2003; Minasny et al., 2006,

2010; Malone et al., 2009; Odgers et al., 2012).



**Figura 4.** Gráfico da dispersão dos valores de COS medidos no campo e estimados pelo perfil contínuo de COS usando a função *Spline*.

A importância dessa constatação e confirmação do que já vem sendo relatado na literatura é que abre uma possibilidade de utilização dos dados disponíveis em levantamentos de solos, inclusive para uso com outros atributos e não somente com o COS.

A primeira aplicação dessa teoria é a possibilidade de estimar o valor de atributos utilizados na diferenciação de solos e unidades de manejo em qualquer profundidade de interesse, com aplicação no mapeamento digital do solo e de seus atributos.

## CONCLUSÕES

Os valores estimados a partir do perfil contínuo de carbono orgânico do solo ajustado pela *função Spline quadrática de igual área* apresentaram altos coeficientes de correlação linear e de regressão e baixo erro padrão quando comparados aos dados medidos do perfil experimental, demonstrando que a referida função possibilita a modelagem com acurácia e precisão da variação contínua do COS a partir de um pequeno número de dados. Os resultados obtidos permitem recomendar o uso dessa função para essa aplicação, ampliando as possibilidades de utilização dos dados de levantamento de solos em mapeamento digital e modelagem ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Doutorado do primeiro autor e ao FAEPEX/UNICAMP pelo aporte financeiro que possibilitou a realização das análises de COS.



## REFERÊNCIAS

- BISHOP, T. F. A.; MCBRATNEY, A. B.; LASLETT, G. M. Modelling soil attribute depth functions with equal-area quadratic smoothing Splines. *Geoderma*, 91:27–45, 1999.
- CAMBULE, A. H.; ROSSITER, D. G.; STOORVOGEL, J. J. A methodology for digital soil mapping in poorly-accessible areas. *Geoderma*, 192:341–353, 2013.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; VAN RAIJ, B.. Determinação da matéria orgânica. In: VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001.
- GRIMM, R.; BEHRENS, T. Uncertainty analysis of sample locations within digital soilmapping approaches. *Geoderma*, 155:154–163, 2010.
- HIEDERER, R. *Distribution of Organic Carbon in Soil Profile Data*. EUR 23980 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009.
- LACOSTE, M.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; MICHOT, D.; VIAUD, V.; WALTER, C. High resolution 3D mapping of soil organic carbon in a heterogeneous agricultural landscape. *Geoderma*, 213:296–311, 2014.
- MALONE, B. P.; MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B.; LASLETT, G. M. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. *Geoderma*, 154:138–152, 2009.
- MCBRATNEY, A. B.; BISHOP, T. F. A.; TELIATNIKOV, I. S. Two soil profile reconstruction techniques. *Geoderma*, 97:209–221, 2000.
- MCBRATNEY, A. B.; SANTOS, M. L. M.; MINASNY, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117:3-52, 2003.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; SANTOS, M. L. M.; ODEH, I. O. A.; GUYON, B. Prediction and digital mapping of soil carbon storage in the lower Namoi valley. *Australian Journal of Soil Research*, 44:233-244, 2006.
- ODGERS, N. P.; LIBOHOVA, Z. THOMPSON, J. A. Equal-area Spline functions applied to a legacy soil database to create weighted-means maps of soil organic carbon at a continental scale. *Geoderma*, 189–190:153–163, 2012.
- PEREIRA, M. W. M. *Modelagem da variação contínua do carbono orgânico em profundidade no solo*. Dissertação de Mestrado, 2014, Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2014. 111p.
- PONCE-HERNANDEZ, R.; MARRIOTT, F. H. C.; BECKETT, P. H. T. An improved method for reconstructing a soil profile from analyses of a small number of samples. *Journal of Soil Science*, 37:455–467, 1986.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 6.ed. Revisada e Ampliada. Viçosa: SBCS, 2013. 100.