

## Espectroscopia de reflectância difusa para determinar a matéria orgânica do solo

Luiza Mantiça Kreimeier<sup>1</sup>  
Alexandre ten Caten<sup>2</sup>  
Geisy Bahls Fogaça<sup>3</sup>  
Evandro Loch Boeing<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/Curitibanos  
Caixa Postal 101- 89520-000 - Curitibanos - SC, Brasil

luiza.mantica@gmail.com

<sup>2</sup>ten.caten@ufsc.br

<sup>3</sup>geisybahls1996@gmail.com

<sup>4</sup>dro.loch@gmail.com

**Abstract.** Diffuse reflectance spectroscopy, a technique of proximal soil sensing, has been used to quantify physical and chemical soil attributes. Spectral signatures are generated from the electromagnetic energy reflected from the ground, being able to reflect or absorb energy. Latosols, Cambisols, Nitosols and Neosols are classes of soils of greater occurrence in the region. The aim of this study was to evaluate a spectroradiometer of lower cost, FieldSpec HandHeld II (ASD Inc.), operating in the spectrum range of 325-1075nm for prediction of soil organic matter (SOM). A total of 539 soil samples were collected in the Marombas river watershed in a mountainous plateau in the state of Santa Catarina, Brazil. Spectral analyzes were performed in a controlled environment, collected spectral signatures were processed with The Unscrambler X 10.3 software and R programming language. Modeling was performed with PLSR technique (partial least squares regression) where 377 samples (70%) were used for calibration and 162 samples (30%) for validation. The validation model has achieved a R<sup>2</sup> of 0.45 and RMSE of 0.87 % for SOM prediction. The mean standard error presented a high value (%), but even so, it was verified that a lower cost spectroradiometer has potential for soil attribute prediction, nevertheless further studies have to be conducted specially regarding preprocessing of the soil spectral signatures.

**Palavras-chave:** pedologia espectral, pedometria, radiometria, espectrorradiômetro.

### 1. Introdução

Recursos hídricos, segurança alimentar e proteção da biodiversidade têm relação com o recurso natural solo, um recurso que, segundo McBratney et al. (2014), é lentamente renovável e que necessita ser melhor entendido. Para o manejo do solo, a textura e a matéria orgânica do solo (MOS) são atributos de fundamental importância e, portanto, demandam de quantificação (Dotto et al., 2014; ten Caten et al., 2016). O mapeamento digital de solos (MDS) apresenta-se como uma importante via para a predição desses atributos (Viscarra Rossel e Behrens, 2010).

Entre as variadas técnicas utilizadas em MDS, destaca-se a Espectroscopia de Reflectância Difusa (ERD), uma técnica de sensoriamento proximal do solo que registra o fluxo de radiação eletromagnética refletida pelo solo, ou outros objetos, não havendo contato físico entre sensor e alvo (Dalmolin et al., 2005). A energia eletromagnética incidente (solar ou luz artificial padronizada) interage com a amostra e, em função da constituição da amostra, revela uma série de feições as quais são relacionadas com as características físicas e químicas do solo (Stoner e Baumgardener, 1986). As informações contidas nas assinaturas espectrais das amostras são posteriormente utilizadas em modelos preditivos dos atributos texturais e da MOS (McBratney et al., 2014).

Na região do espectro do visível e parte do infravermelho próximo (VNIR) (325-1075 nm) são possíveis de serem observadas feições específicas. Feições essas relacionadas com a

distribuição do tamanho de partículas, óxidos de ferro (goethita e hematita) e MOS. A MOS é responsável pela alta absorção de energia, devido à presença dos ácidos húmicos (Obukhov e Orlov, 1964) os quais causam a diminuição da reflectância do solo.

Estudos utilizando a ERD ainda são recentes no Brasil se comparado internacionalmente. Silva et al. (2016) e ten Caten et al. (2016) avaliaram a capacidade do espectrorradiômetro de menor custo FieldSpec HandHeld II (325 -1075 nm) (ASD Inc.) em Santa Catarina, Brasil. Ambos os estudos verificaram que é possível obter eficientes modelos para prever atributos texturais e MOS a partir de um equipamento de mais baixo custo. Knox et al. (2015) afirmaram que a espectroscopia de reflectância difusa na faixa espectral VNIR tem sido amplamente utilizado para caracterizar carbono orgânico do solo (SOC). Na região do visível das assinaturas espectrais de 380nm a 700nm, Melendez-Pastor et al. (2008) encontraram uma alta correlação ( $r > 0,75$ ) entre os atributos do solo e a assinatura espectral das amostras. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de um espectrorradiômetro de menor custo, operando na região do espectro de 375 -1075 nm, em prever o atributo MOS.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Área de estudo**

O desenvolvimento deste estudo compreendeu a região da bacia hidrográfica do rio Marombas, localizada na mesorregião Serrana do Estado de Santa Catarina, no sul do Brasil. Foram amostradas 539 amostras de solos, totalizando 104 perfis de solo. Latossolos, Cambissolos, Nitossolos e Neossolos são classes de solos de maior ocorrência na região. O relevo é formado de rochas de basalto da formação Serra Geral, consistindo de uma altitude de 900 a 1300 m a cima do nível do mar. O clima predominante da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cfb (Clima temperado com verão ameno), tendo uma precipitação de 1600 mm. A vegetação predominante é de floresta ombrófila mista, constituída de araucárias, caracterizando uniformemente a região.

### **2.2 Coletas e preparo de amostras**

As amostras de solo foram coletadas em seis profundidades, sendo elas: 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 e 100-200 cm conforme o protocolo <Globalsoilmap.net> (Arrouays et al., 2014). Após secas, as amostras foram moídas e peneiradas em malha de 2 mm para então serem acondicionadas em uma placa de Petri (com dimensão de 40,7cm<sup>2</sup>) as quais foram utilizadas nas leituras espectrais com o uso do espectrorradiômetro.

### **2.3 Leituras espectrais**

As leituras espectrais foram feitas pelo espectrorradiômetro FieldSpec HandHeld II (ASD Inc.) o qual coleta informações na região do espectro de 325-1075nm. O aparelho foi disposto sobre uma caixa de madeira (sendo de dimensão L/750 mm x H400 mm x H400 mm), desenvolvida para auxiliar nas leituras apresentando um ambiente interno totalmente escuro. A fonte de radiação foi uma lâmpada halógena de 50 W que estava em posição de inclinação de 30° zênite refletindo sobre a amostra (figura 1). Para cada amostra foram feitas quatro leituras, onde a placa de Petri era rotacionada em 90° manualmente. A cada 20 leituras das amostras, foi realizada uma nova coleta de referência na placa Spectralom®.

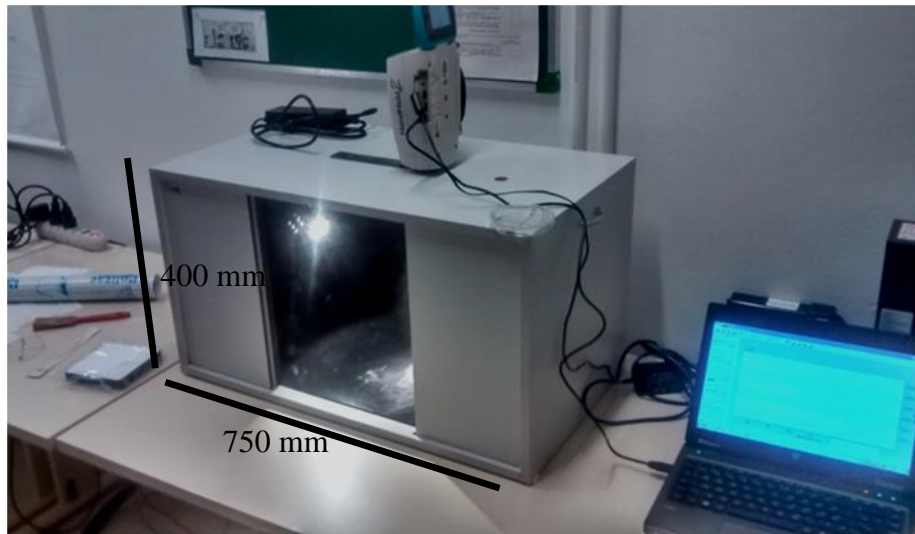


Figura 1. Espectrorradiômetro sobre a caixa desenvolvida para produzir um ambiente controlado.

Após a realização das leituras espectrais, o programa *The Unscrambler X 10.3*. (CAMO Technologies Inc., Woodbridge, NJ) foi utilizado para reduzir a dimensão dos dados através de uma média em janela de 10 nm conforme Vasques et al. (2008).

## 2.4 Análise estatística

As análises descritivas foram desenvolvidas a partir da utilização da linguagem R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013). Foi utilizado o pacote “soiltexture” que permite produzir triângulos texturais, a fim de determinar a classe textural das amostras de solo. A normalidade dos dados foi obtida pelo teste de Normalidade de Shapiro-Wilk (S-W), sendo realizado com grau de confiança de 95% (nível de significância de 5%). Também foi utilizado o teste de Levene (Levene, 1960) para verificar a igualdade de médias entre os dois grupos, calibração que compreendeu 377 amostras (70%) e, validação que compreendeu 162 amostras (30%), buscando comprovar a representatividade entre os dois grupos de dados. Todas as análises foram realizadas com os dados de textura e MOS em porcentagem (%).

## 2.5 Radiometria

Para a modelagem dos dados foi utilizada a técnica regressão de mínimos quadrados parciais (*PLSR-Partial least squares regression*). Este método tem aplicação frequente na literatura científica para a análise quantitativa de espectros de reflectância difusa e para construir modelos preditivos quando há muitas variáveis altamente colineares (Viscarra Rossel e Behrens, 2010). Selecionaram-se sucessivos fatores (algoritmos ortogonais) que maximizaram a covariância entre previsão e resposta das variáveis. A predição da MOS foi realizada com dados de reflectância e de segunda derivada. A precisão da validação cruzada foi dada por  $R^2$  utilizado na qualidade de ajuste estatística, pela raiz do erro médio quadrático (RMSE), e a razão da performance do erro entre quartis (RPIQ) que complementam a avaliação do modelo preditor.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Características do solo

As proporções relativas das frações areia, silte e argila compõem a classificação textural dos solos amostrados através do diagrama de triângulo textural (figura 2). Valores obtidos a partir da determinação dos percentuais das diferentes frações na análise granulométrica foram plotados no triângulo textural, confeccionado em linguagem R.

De acordo como triângulo textural pode-se perceber que a maioria das amostras demonstrou alto teor de argila, se enquadraram nas classes MA e A (muito argiloso e argiloso). Outras amostras se enquadraram nas classes MeA e MeAr (médio argiloso e médio arenoso, e as demais amostras se enquadraram na classe MeS (médio siltoso) e S (siltoso).

Triângulo textural

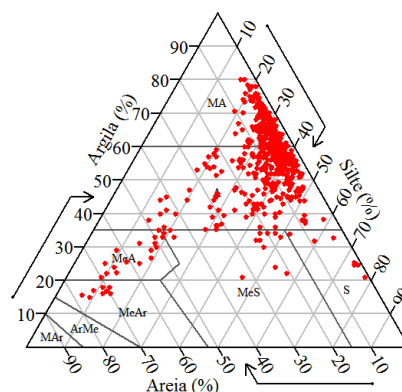


Figura 2. Triângulo textural baseado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Classes texturais: MA – Muito Argiloso; A – Argiloso; MeA – Médio Argiloso; MeS – Médio Siltoso; S – Siltoso; MeAr – Médio Arenoso; ArMe – Arenoso Médio; Mar – Muito Arenoso.

Da mesma maneira, foi observado na análise descritiva dos dados, onde o atributo argila apresentou valores altos, sendo que o valor máximo foi de 80% e o mínimo de 15%. Comparado aos demais atributos, a areia apresentou valor máximo de 77,5% e valor mínimo de 1%, já o atributo silte apresentou valores intermediários entre os valores de argila e areia, sendo o valor máximo de 77,99%, muito próximo da argila e o valor mínimo de 6,84 %. Silva et al. (2016) ao amostrarem a mesma área de estudo em SC, em suas 237 amostras, obtiveram solos predominantemente argilosos, profundos e com grande quantidade de óxidos de ferro, apresentando valor do atributo argila 78,48 g kg<sup>-1</sup> muito próximo do que foi encontrado neste estudo.

Em relação aos dados da matéria orgânica do solo (MOS) os mesmos não apresentam distribuição normal (figura 3). O clima é um dos fatores que mais influenciou no teor de MOS em decorrência das características regionais que apresenta baixas temperaturas ao longo do ano. Assim, diminui a taxa da decomposição de material vegetal e animal por microrganismos, acumulando-se sobre a superfície do solo. Estes valores elevados de MOS contribuem para a estrutura do solo e a consequente resistência à erosão e uma boa taxa de infiltração de água no solo.

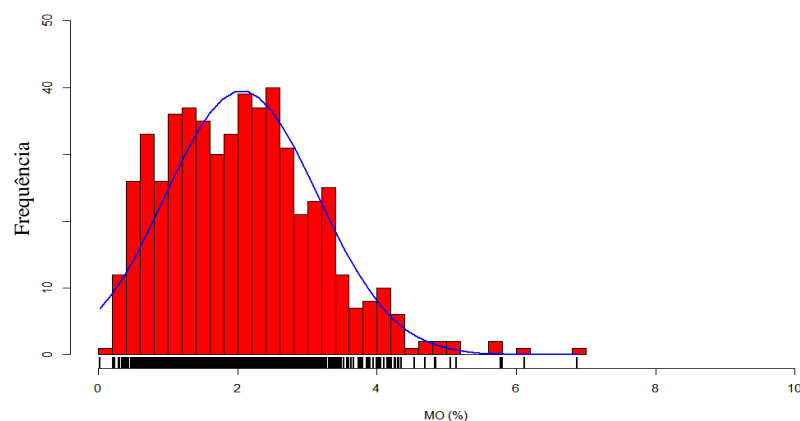


Figura 3. Histograma do atributo matéria orgânica (MOS).

De acordo com a estatística descritiva da MOS (tabela 1), devido ao acúmulo de matéria orgânica nos solos amostrados, como consequência das condições climáticas da região Serrana de Santa Catarina, foram encontrados valores elevados de MOS nas amostras. Com valores máximos de até 6,87%.

Tabela 1. Estatística descritiva da Matéria Orgânica do Solo (MOS).

	Conjunto total (100%)	Calibração (70%)	Validação (30%)
Amostras	539	377	162
Mínima	0,02	0,02	0,21
Q1	1,21	1,21	1,23
Mediana	2,01	2,05	1,98
Média	2,06	2,05	2,07
Q3	2,72	2,71	2,71
Máxima	6,87	6,12	6,87
SD	1,09	1,06	1,14

O atributo textural argila tem grande influencia no carbono orgânico do solo (SOC) por atuar como protetor dos agentes de decomposição via uma proteção física por aderência entre as partículas (Silva et al., 2016). No estudo de ten Caten et al. (2016), com amostras de solos da região da bacia hidrográfica do rio Marombas em SC, foram identificados valores de SOC de até 23,78 g kg<sup>-1</sup>. Esses autores ainda corroboraram a expectativa de menores valores para a SOC em profundidade devido à baixa solubilidade dos ácidos húmico e fúlvico em migrar para o interior do solo.

### 3.2 Radiometria

#### 3.2.1 Modelos PLSR

Com o uso do software *The Unscrambler X* 10.3 foi possível gerar os dados de reflectância e de segunda derivada pelo método de Savitzky-Golay. Posteriormente a modelagem pela técnica PLSR. As derivadas foram utilizadas visando eliminar os desvios lineares de linha de base e problemas de sobreposição diminuindo ruídos das assinaturas espectrais.

### 3.2.2 Radiometria de dados brutos

Na figura 4 obtiveram-se as assinaturas espectrais das amostras. As feições indicam solos com a presença de minerais de alta reflectância, como goethita e hematita (óxidos de ferro), enquanto que solos com alto teor de matéria orgânica pouco refletiram, em decorrência da absorção da energia.

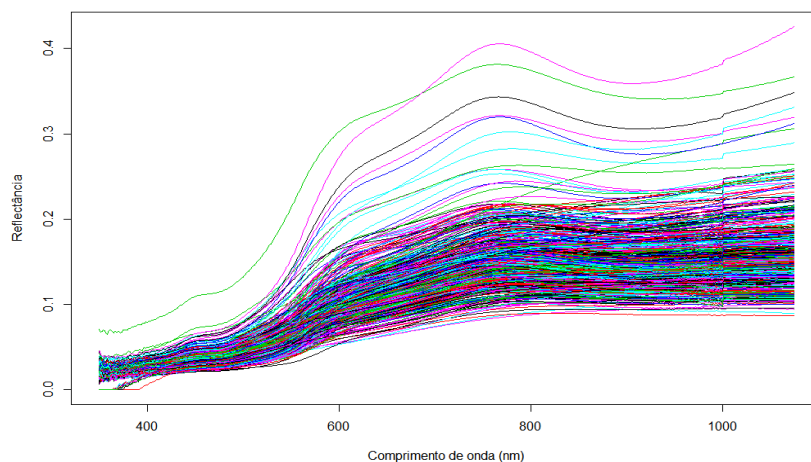


Figura 4. Assinaturas espectrais de dados brutos.

O modelo PLSR, em dados de calibração (70%) apresentou um  $R^2$  de 0,49, RMSE de 0,49 % um valor alto para um erro padrão (Tabela 2). Já os dados de validação (30%) indicaram um  $R^2$  de 0,45 e RMSE de 0,87%. Estes valores indicam que a aplicação de um espectrorradiômetro como o utilizado neste estudo apresenta potencial.

Tabela 2. PLSR dados radiométricos brutos pra matéria orgânica.

Amostras	$R^2$	RMSE (%)	RPIQ (%)
Calibração	0,49	0,49	196,23
Validação	0,45	0,87	169,00

No estudo de Dotto et al. (2014), os autores desenvolveram modelos para prever atributos texturais na região do Rebordo do Planalto no centro do Rio Grande do Sul. Foram encontrados para MOS  $R^2$  de 0,70 para conjunto de validação e  $R^2$  0,62 para conjunto de calibração o que qualifica o modelo sendo de bom desempenho por apresentar um valor predito acima de 0,70. Contudo, utilizou-se um espectrorradiômetro de maior capacidade de amostragem (350-2500 nm). Nos estudos de Silva et al. (2014) e Dotto et al. (2014) os melhores modelos de predição foram encontrados para o atributo argila.

### 3.3.3 Radiometria segunda derivada

Na busca por melhorar os modelos preditivos, verificou-se a aplicação da segunda derivada da reflectância. Utilizando-se os dados de calibração (70%) o  $R^2$  foi de 0,44 e RMSE de 0,81%. Já nos dados de validação (30%) o  $R^2$  foi de 0,36 e RMSE de 0,92%. Percebendo a intensificação do erro padrão médio, a segunda derivada não contribuiu para melhorar o modelo predito. Nanny e Demattê (2006) na quantificação de MOS obtiveram um de  $R^2$  de 0,79, um valor expressivo comparado ao obtido neste estudo e um RMSE de 0,86, sendo que não utilizaram a segunda derivada.

#### **4. Conclusão**

O espectrorradiômetro FieldSpec HandHeld II (325-1075 nm) apresenta potencial para quantificar a matéria orgânica do solo (MOS). Se for considerado que este equipamento tem um custo de aquisição de USD 16.000,00, verifica-se que pesquisas com as potencialidades desse equipamento devem ser ampliadas. Os equipamentos mais frequentemente utilizados em pesquisa com ERD coletam a reflectância das amostras entre 350-2500 nm, contudo, a um custo de USD 60.000,00. Assim, fica evidente a importância de mais estudos os quais explorem a aplicação do equipamento FieldSpec HandHeld II para a predição de atributos do solo.

#### **Agradecimentos**

A Universidade Federal de Santa Catarina e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida à primeira autora e o apoio financeiro concedido via o processo nº 442718/2014-4 (MCTI/CNPQ/Universal 14/2014).

## Referências

- Arrouays, D.; McKenzie, N.; Hempel, J.; Forges, A. R.; McBratney, A.B. GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system. Taylor and Francis, 2014.
- ASD. Disponível em : < <http://www.asdi.com/>> . Acesso em: 12 de outubro de 2016.
- CAMO Technologies Inc.(2006). The Unscrambler appendices: method references .PDF document. Disponível em: <<http://www.camo.com/TheUnscrambler/Appendices/The20%Unscrambler%20Method%20References.pdf>> . Acesso em 28 set. 2016.
- Dalmolin, R.S.D.; Gonçalves, C.N.; Klamt, E.; Dick, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.481-489, 2005.
- Dotto, A.C.; Dalmolin, R. S. D. ; de Araújo Pedron, F.; Ten Caten, A.; Ruiz, L. F. C. Mapeamento digital de atributos: granulometria e matéria orgânica do solo utilizando espectroscopia de reflectância difusa. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, 38, 1663-1671, 2014.
- Knox, N.M.; Grunwald, S.; McDowell, M.L.; Bruland, G.L.; Myers, D.B.; Harris, W.G. Modelling soil carbon fractions with visible near-infrared (VNIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy. **Geoderma**, p. 229-239, 2015.
- Levene, H. Robust test for equality of variances. In Olkin, L. **Contributions to probability and statistics: essays in honor of Harold Hotelling**. Palo alto, Stanford University Press, 1960. 278-292 p.
- Mcbratney, A.; Field, D. J.; Koch, A. The dimensions of soil security, **Geoderma**, 213:203-213, 2014.
- Melendez-Pastor, I.; Navarro Pedreño, J.; Gómez, I.; Koch, M. Identifying optimal spectral bands to assess soil properties with VNIR radiometry in semi-arid soils. **Geoderma**, v.147, p.126-132, 2008.
- Nanni, M.R.; Demattê, J.A.M. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.70, p.393-407, 2006.
- Obukhov, A.I.; Orlov, D.S. Spectral reflectivity of the major soil groups and possibility of using diffuse reflection in soil investigation. **Soviet Soil Science**, Washington, v.1, p.174-184, 1964.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013. Disponível em <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em 06 de outubro de 2016.
- Savitzky, A. ;Golay, M.J.E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Anal Chem**, v.36. n.8. p.1627-1639, 1964.
- Silva, E. B.; ten Caten, A.; Dalmolin, R.S.D.; Dotto, A.C.; Silva, W.C.; Giasson, E. Estimating soil texture from a limited region of the visible/near-infrared spectrum. In Hartemink, A.E.; Minasny, B. **Digital morphometrics**. Switzerland, Editora Springer, 2016. cap.6, p.73-87.
- Stoner, E.R.; Baumgardner, M.F. Data acquisition through remote sensing. In BEATTY, M.T, et al. Planning the uses and managements of land. **Madison: Soil Science Society of America**, 1986. p.159-185.
- ten Caten, A.; Dalmolin, R.S.D.; Dotto, A.C.; Moura-Bueno, J.M.; Boeing, E.L.; Safanelli, J.L. et al. Digital soil morphometrics via a low-cost Radiometer for estimating soil organic carbon and texture. In Hartemink, A.E.; Minasny, B. **Digital morphometrics**. Switzerland, Editora Springer, 2016. cap.20, p.249-257.
- Vasques, G.M.; Grunwald, S.; Sickman, J.O. Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra. **Geoderma**, v.146, p.14-25, 2008.
- Viscarra Rossel, R. A. & Behrens, T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. **Geoderma**, Amsterdam, v.158, p.46-54, 2010.