



Espectroscopia vis–NIR e distância pedológica na classificação de solos⁽¹⁾.

Fabício da Silva Terra⁽²⁾; José Alexandre Melo Demattê⁽³⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

⁽²⁾ Professor; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM); Unaí, MG; fabicio.terra@ufvjm.edu.br; ⁽³⁾ Professor; Universidade de São Paulo (USP).

RESUMO: A classificação de solos tem como propósito sintetizar e organizar informações granulométricas, químicas, mineralógicas e morfológicas em unidades taxonômicas. A natureza dos espectros vis–NIR sugere uma alternativa ao processo de classificação, uma vez que o comportamento espectral de um perfil de solo é resultado da pedogênese atuante nesse e sintetiza algumas destas informações. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o potencial da aplicação de espectros vis–NIR na classificação automatizada de perfis de solo. Foram selecionados 20 perfis de solos, descritos morfológicamente, analisados e classificados até o 4º nível categórico conforme o SiBCS. Os dados de reflectância foram obtidos com o sensor FieldSpec e, após, submetidos à remoção do espectro contínuo e análise por componentes principais (ACP). A distância pedológica foi empregada na classificação automatizada dos perfis. O comportamento espectral dos horizontes dos perfis de solo apresentaram variações quanto à intensidade de reflectância e feições de absorção, resultantes do intemperismo químico, principalmente. Classes de solo com pedogênese distinta tenderam a ocupar posições específicas no domínio espectral representado pelos escores da ACP. A discriminação das 20 classes de solo com base na distância taxonômica possibilitou a formação de 11 grupos. Os espectros apresentaram sensibilidade para individualizar as classes RQo típico, GXbd típico, LVAd típico, NVdf latossólico, LVAd típico e PVAe típico. Latossolos vermelhos hematíticos foram agrupados conjuntamente. Apesar das confusões na discriminação de algumas classes de solo, o uso integrado dos dados vis–NIR e da distância pedológica apresenta grande potencial na classificação automatizada de perfis de solo.

Termos de indexação: Pedometria, Sensoriamento Próximo, Distância Taxonômica.

INTRODUÇÃO

A grande maioria das atividades agrícolas (práticas de manejo), hidrológicas e de conservação dos recursos naturais necessita de informações referentes aos atributos granulométricos, químicos,

mineralógicos e morfológicos dos solos. O conhecimento da variabilidade espacial destes atributos também se faz necessário para a adequação de tais práticas. A classificação de solos tem como um de seus propósitos sintetizar e organizar tais informações granulométricas, químicas, mineralógicas e morfológicas em distintas unidades taxonômicas. Sendo assim, cada classe de solo abrange específicas informações que são resultantes da pedogênese atuante e também afetam a morfologia do solo em questão. Resumidamente, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS), o 1º (ordem) e o 2º (subordem) níveis categóricos envolvem, respectivamente, o tipo de pedogênese atuante e as características deixadas no solo, principalmente morfológicas, por esse (Embrapa, 2013).

Dependendo da escala de trabalho, a representação da variabilidade espacial dos pedons pertencentes, ou próximos, a estas classes (unidades de mapeamento) acarreta em um número elevado de amostragens a campo e análises laboratoriais e, conseqüentemente, alto investimento financeiro, sem contar com a geração de resíduos (Demattê et al., 2004). Neste sentido, a natureza dos dados espectrais vis–NIR sugere uma alternativa a estes inconvenientes, onde uma maior densidade de amostras pode ser avaliada de maneira rápida, econômica e sem impactar o meio ambiente (Terra et al., 2015), inclusive *in situ*. Avaliações espectrais de perfis de solos para fins de levantamento e classificação já tem sido reportadas (Bellinaso et al., 2010; Rizzo et al., 2014; Demattê & Terra, 2014; Vasques et al., 2014).

A hipótese deste trabalho é que o comportamento espectral de um perfil de solo é resultado a atuação da pedogênese que afeta seus atributos em profundidade possibilitando, desta forma, discriminar classes de solo utilizando apenas espectros vis–NIR. Sendo assim, nosso objetivo foi avaliar numericamente o potencial da aplicação direta dos dados vis–NIR na classificação automatizada de perfis de solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionados 20 perfis de solos (73 horizontes) de diferentes geologias e regiões do



Brasil com classes e granulometria variadas. Esses foram descritos morfologicamente (Santos et al., 2005) e, após análises de granulometria e química para fins de levantamento e classificação (Camargo et al., 2009), foram classificados até o 4º nível categórico (subgrupo) conforme Embrapa (2013). As classes foram: RQo típico (14%), RLd típico (40%), PVAe típico (17%), PVAvd típico (24%), LVAd típico (16%, 22% e 37%), LAd típico (16%), LVe típico (34%), LVef típico (47% e 71%), LVd típico (26% e 91%), LVdf típico (69%), LBd típico (69%), NVdf latossólico (78%), CXbd latossólico (79%), GXbd típico (34%), GXbe típico (12%) e SXa típico (60%). Entre parênteses está representado o conteúdo de argila do horizonte diagnóstico.

Para cada perfil, amostras de solo (< 2 mm) dos horizontes foram secas e submetidas à análise de espectroscopia de reflectância vis-NIR (350 a 2500 nm). Os dados espectrais foram obtidos com o sensor FieldSpec. A geometria e os procedimentos de aquisição dos dados espectrais encontram-se descritos em Demattê & Terra (2014) e Terra et al. (2015). Análise por Componentes Principais - ACP com centro médio foi aplicada aos dados espectrais com a remoção do espectro contínuo.

Na discriminação (ou agrupamento) das classes de solo foi empregado o conceito da distância pedológica (ou taxonômica) (Carré & Jacobson, 2009), onde a semelhança entre perfis é determinada comparando a distribuição dos atributos entre horizontes e ao longo de suas profundidades de forma numérica. A proximidade entre dois perfis é calculada como a distância média entre horizontes (considerando suas sequências) de cada perfil (**Equação 1**).

$$D_{ped}(S_a, S_b) = \frac{\sum_{j=1}^{M_a} D_h(h_{a,j}, h_{b,j}) + \sum_{j=M_a+1}^{M_b} D_h(h_{a,M_a}, h_{b,j})}{M_b} \quad (1)$$

Onde: D_{ped} é a distância entre os perfis "a" (S_a) e "b" (S_b), M é o número de horizonte de cada perfil, D_h é a distância entre horizontes e "h" é o horizonte. D_h é obtida pelo método da Distância Euclidiana (**Equação 2**).

$$D_h(h_a, h_b) = \left(\sum_{f=1}^F (v_{a,f} - v_{b,f})^2 \right)^{0.5} \quad (2)$$

Onde cada horizonte é descrito por um vetor (V) de F variáveis. Os 10 primeiros escores resultantes da ACP foram utilizados como variáveis. O processo de agrupamento das classes foi definido pelo algoritmo k-médias. O número máximo de grupos teve de ser inicialmente fornecido ao modelo. A matriz de contingência (ou confusão) resultante do processo de agrupamento foi utilizada para avaliar o poder de discriminação dos dados espectrais. Este método de

agrupamento baseado na distância pedológica está implementado no programa OSACA (Carré & Jacobson, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média dos dados granulométricos e químicos, obtidos para o conjunto de horizontes dos perfis analisados, encontra-se na **tabela 1**. A descrição completa destes dados por horizonte de cada perfil pode ser obtida na tese do primeiro autor (<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-23032012-105559/pt-br.php>).

Através do comportamento espectral médio do conjunto de amostras de solo (**Figura 1A**) observou-se uma variação quanto à intensidade de reflectância dos espectros condicionadas principalmente pela alteração granulométrica e conteúdo orgânico das amostras. A relação entre albedo e os atributos mencionados costuma ocorrer de forma inversa (Demattê et al., 2004).

As principais feições de absorção observadas foram (**Figura 1A**): (A) devido a transições eletrônicas do átomo de ferro na goethita em 425, 480, 650, 940 e 1000 nm e na hematita em 513, 650 e 850 nm; (B) devido à vibração molecular não fundamental do radical OH⁻ na água higroscópica (ou estrutural) ou nos octaedros de alumínio dos filossilicatos (argilominerais 2:1 e 1:1) em 1400 e 1900 nm; e (C) devido à vibração molecular não fundamental do grupo funcional aluminol (Al-OH⁻) nos octaedros de alumínio dos filossilicatos em 2200, 2355 e 2448 nm e do hidróxido de alumínio (gibsite) em 2260 nm. Absorções devido aos compostos orgânicos foram também observadas em 2316 nm (carboidrato) e 2382 nm (metil).

Conforme observado por Demattê & Terra (2014), a variação das feições de absorção (posicionamento, forma e intensidade) entre espectros é resultante da transformação mineralógica do solo quando submetido ao intemperismo químico (hidrólise parcial ou total), onde a dessilicatação (ou ferralitação) é o processo pedogenético mais atuante. Alteração nas condições de oxidação e redução do solo também provocam transformações nas feições relacionadas ao ferro.

Através da **Figure 1B** observou-se que as classes de solo com pedogênese distinta, com reflexo na mineralogia e granulometria e, conseqüentemente, no comportamento espectral dos perfis, tenderam a ocupar posições específicas no espaço multivariado representado pelo diagrama de espalhamento dos escores da ACP. Tal fato pode ser verificado para os latossolos, argissolos, neossolos, cambissolos e gleissolos, principalmente.



Para unidades taxonômicas iguais com variação textural, os perfis afastaram-se conforme a diferença no conteúdo de argila, como no caso dos latossolos.

A discriminação das 20 classes de solo com base na distância taxonômica possibilitou a formação de 11 grupos (**Figura 1C**). A composição dos agrupamentos foi atribuída às variações na intensidade de reflectância e nas feições de absorção. O grupo 1 foi composto pelas classes LBd típico (69%), LVe típico (34%), LVd típico (26%), LAd típico (16%) e LVAd típico (16%). A distância relativa média destas classes ao centro do grupo foi de 11,14% e a característica principal do agrupamento foi o baixo conteúdo de argila dos latossolos. O grupo 2 foi composto pelas classes CXbd latossólico (79%) e SXa típico (60%) com distância relativa ao centro do agrupamento de 8,17%. O grupo 3 foi composto apenas por latossolos vermelhos de textura muito argilosa e mineralogia oxidica hematítica (LVdf típico (69%), LVd típico (91%) e LVe típico (71%)). A distância relativa ao centro deste agrupamento foi de 13,14%. O grupo 5 foi formado pelas classes GXbe típico (12%) e PVAvd típico (24%) com distância relativa de 19,57%. O grupo 6 foi formado pelas classes RLd típico (40%) e LVe típico (47%). Este grupo apresentou a maior distância média relativa (23,83%). Os valores dos escores da ACP apresentaram sensibilidade suficiente para discriminar e agrupar isoladamente as classes RQo típico (14%) (grupo 4), GXbd típico (34%) (grupo 7), LVAd típico (22%) (grupo 8), NVdf latossólico (78%) (grupo 9), LVAd típico (37%) (grupo 10) e PVAe típico (17%) (grupo 11).

O número reduzido de feições de absorção e a falta de outras informações mais direta à respeito da composição química e morfológica destes perfis puderam ter contribuído para a confusão na discriminação das classes.

CONCLUSÕES

No domínio espectral, perfis de solo com pedogênese distinta ocupam posições específicas no espaço multivariado, representado pelo diagrama de espalhamento dos escores da ACP.

Apesar das confusões na discriminação de algumas classes de solo, o uso integrado de espectros de reflectância vis-NIR e da distância pedológica apresenta grande potencial na classificação automatizada de perfis de solo, podendo ser empregado para otimizar a identificação de limites entre unidades de mapeamento, por exemplo. Tal potencial deve-se, principalmente, ao fato do comportamento espectral de um perfil de solo ser reflexo da sua pedogênese

e, também, pela comparação em profundidade entre horizontes dos perfis de solo.

Tal classificação automatizada de perfis de solo com dados espectrais ainda precisa ser testada e ampliada com outras classes de solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J. A. M. & ROMEIRO, S. A. Soil spectral library and its use in soil classification. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:861-870, 2010.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2009. 77 p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CARRÉ, F. & JACOBSON, M. Numerical classification of soil profile data using distance metrics. *Geoderma*, 148:336-345, 2009.
- DEMATTÊ, J. A. M.; CAMPOS, R. C.; ALVES, M. C. et al. Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. *Geoderma*, 121:59-112, 2004.
- DEMATTÊ, J. A. M. & TERRA, F. S. Spectral pedology: A new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations. *Geoderma*, 217-218:190-200, 2014.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 2006. 306p.
- LEPSCH, I. F. 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456p.
- RIZZO, R.; DEMATTÊ, J. A. M. & TERRA, F. S. Using numerical classification of profiles based on Vis-NIR spectra to distinguish soils from the Piracicaba Region, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:372-385, 2014.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G. et al. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 92p.
- TERRA, F. S.; DEMATTÊ, J. A. M. & VISCARRA ROSSEL, R. A. Spectral libraries for quantitative analyses of tropical Brazilian soils: Comparing vis-NIR and mid-IR reflectance data. *Geoderma*, 255-256:81-93, 2015.
- VASQUES, G. M.; DEMATTÊ, J. A. M.; RAMÍREZ-LÓPEZ, L. et al. Soil classification using visible/near-infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. *Geoderma*, 223:73-78, 2014.

Tabela 1 – Estatística descritiva resumida de alguns dos atributos dos perfis analisados.

Atributos ^{1/}	Argila	C.O	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC	V	pH	Ki	Kr
	%		mmol _c kg ⁻¹			%	H ₂ O		
Média	45	0,9	5,3	29,0	51,3	41	5,4	1,40	0,95
DP	25	0,6	9,0	18,2	31,2	24	0,7	0,44	0,35

^{1/} Carbono orgânico (C.O), alumínio trocável (Al³⁺), acidez potencial (H⁺+Al³⁺), capacidade de troca de cátions (CTC), razão molar Ki (1,7.SiO₂/Al₂O₃) e Kr (1,7.SiO₂/[Al₂O₃+(Fe₂O₃.0,64)]).

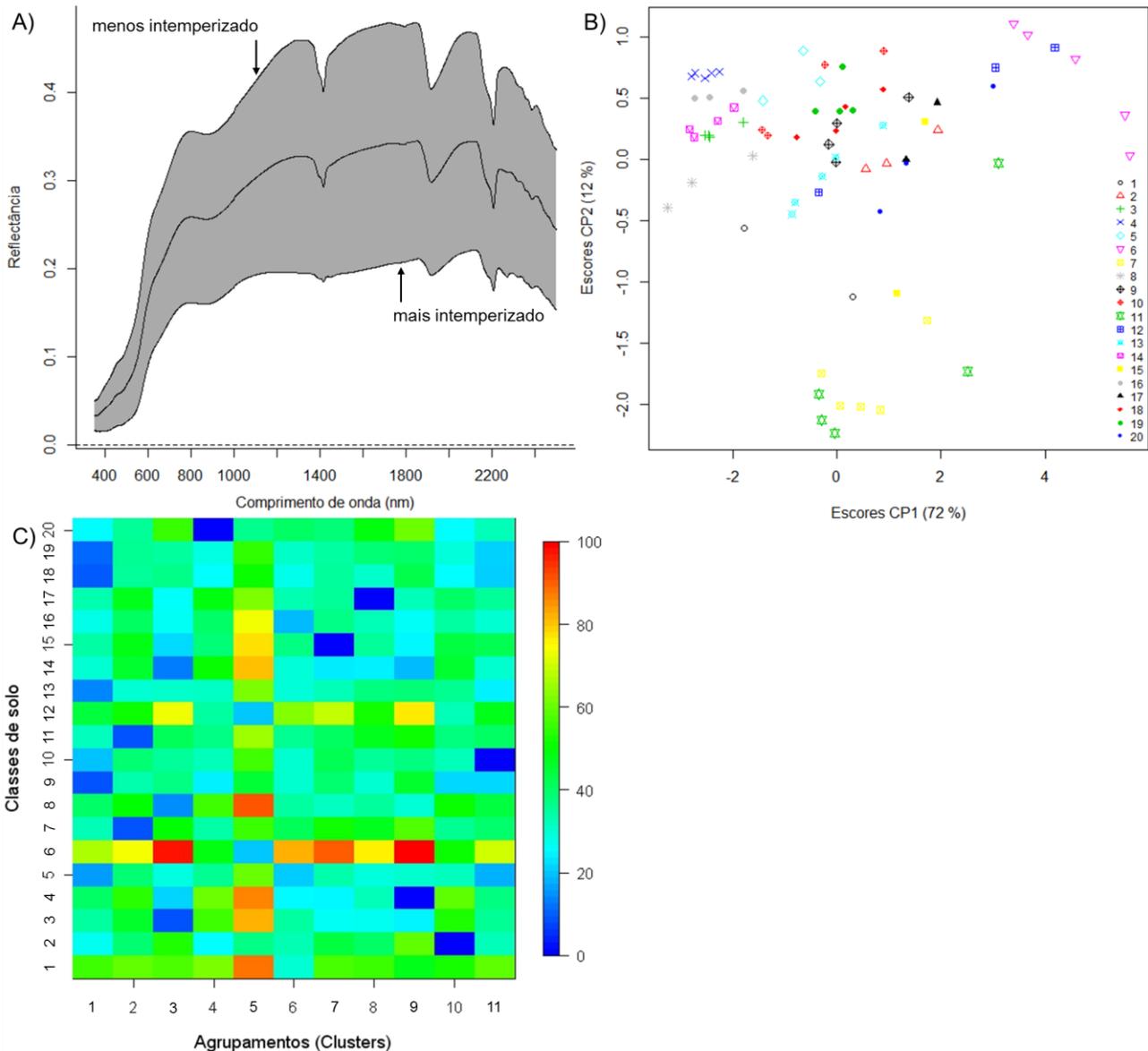


Figura 1 – Comportamento espectral médio (com desvio padrão acima e abaixo) do conjunto de amostras de solo (A); Diagrama de espalhamento dos escores resultantes da ACP (B); e Representação matricial das distâncias relativas (em %) entre perfil e agrupamento (C). Perfis estudados: 1 - RLd típico (40%), 2 - LVAd típico (37%), 3 - LVdf típico (69%), 4 - NVdf latossólico (78%), 5 - LBd típico (69%), 6 - GXbe típico (12%), 7 - CXbd latossólico (79%), 8 - LVD típico (91%), 9 - LVe típico (34%), 10 - PVAe típico (17%), 11 - SXa típico (60%), 12 - PVAvd típico (24%), 13 - LVD típico (26%), 14 - LVef típico (71%), 15 - GXbd típico (34%), 16 - LVef típico (47%), 17 - LVAd típico (22%), 18 - LAd típico (16%), 19 - LVAd típico (16%) e 20 - RQo típico (14%).