

Avaliação da reflectância espectral de solos representativos da bacia do rio Benevente com o emprego da análise de componentes principais

Akenya Freire de Alkimim¹
Gustavo Vieira Veloso²
João Luiz Lani²
Júlio Gaspar¹
José Alexandre Melo Demattê¹

¹Universidade de São Paulo – USP/ESALQ
Caixa Postal 9 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil
{akenyaalkimim@yahoo.com.br; jgaspar@esalq.usp.br; jamdemat@esalq.usp.br}

²Universidade Federal de Viçosa – UFV
DPS/Campus UFV - 36570-000 – Viçosa - MG, Brasil
{gustavoviveloso@yahoo.com.br; lani@ufv.br}

Abstract. Remote Sensing is an important tool which contributes to soil survey because of its efficiency in data analysis when a large number of samples are needed. The aim of this study was to analyze the spectral behavior of soil samples in the spectral bands of visible and near infrared (350-2.500 nm) based on their physical, chemical and mineralogical attributes. Samples of nine of the most representative soils of Benevente river basin - ES were submitted to chemical, physical, mineralogical and spectroscopy analysis. Analytical results were combined with principal component analysis (PCA) with the strategy of retaining a maximum of the original variation in soil properties with only a small selection of variables. Fieldspec Pro sensor (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo.) with spectral resolution of 1 nm between 350 and 1.100 nm and 2 nm between 1.100 and 2.500 nm was used for recording on 34 soil samples (TFSA) and the first derivative of each spectrum used in the PCA. The soil samples presented, in general, similar spectral behavior differing mainly in its reflectance. PCA has reduced the dimensionality of the data and it was efficient in determining the variables that could explain a significant proportion of the total variation of the original data. Analyzing the score-plot was possible to observe the formation of four clusters of different soils.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, espectroradiometria, atributos dos solos, levantamento de solos, remote sensing, spectroscopy, soil properties, soil survey.

1. Introdução

A bacia do rio Benevente é bem representativa do sudeste brasileiro por pertencer à Mantiqueira Setentrional. A sua localização no estado do Espírito Santo é estratégica, em função da proximidade do mar (porto), da capital (Vitória) e de grandes indústrias. Dentre os estados brasileiros, ela é considerada modelo pela implementação do projeto ProdutorES de água o qual incentiva a conservação de florestas, com o intuito de diminuir a taxa de erosão dos solos, em importantes áreas destinadas à proteção dos corpos hídricos (IEMA, 2008). Nesse sentido, o levantamento de solos dessa área é considerado informação valiosa para se avaliar a potencialidade física da Bacia, constituindo-se, portanto, em base de dados para projetos de viabilidade técnica, econômica, planejamento, manejo e conservação dos solos, com vista ao desenvolvimento sustentável dessa Bacia.

O desenvolvimento tecnológico tem contribuído de forma significativa para o aprimoramento de ferramentas que otimizam os tradicionais métodos de caracterização dos solos. Dentre essas ferramentas, o Sensoriamento Remoto (SR) é relevante, visto que fornece caminhos alternativos para o levantamento de solos, principalmente, por apresentar vantagens quando comparadas aos métodos convencionais de análises (McBratney et al., 2003). Essa técnica otimiza o processo de identificação e caracterização dos solos em laboratório (Fontes e Carvalho, 2005; Nani e Demattê, 2006) e no campo, por meio do seu comportamento ou

assinatura espectral. A forma, intensidade e bandas de absorção das curvas espectrais possibilitam constatar a presença de alguns constituintes do solo, especialmente matéria orgânica, minerais de argila e óxidos de Fe e Al (Stoner e Baumgardner, 1981). Assim, a espectroradiometria é considerada uma técnica promissora para análises de solos (Formaggio et al., 1996). Dentre suas vantagens, destaca-se a preservação da amostra, o não consumo de reagentes (McCarty et al., 2002), além de sua eficiência na aquisição de dados provenientes de um grande número de amostras. Adicionalmente, um único espectro pode ser usado para avaliar diferentes atributos do solo (McBratney et al., 2006).

Os procedimentos para a manipulação desses dados espectrais, tais como calibração, modelamento e reconhecimento de padrões são baseados na análise multivariada que é uma ferramenta da quimiometria fundamentada na representação das informações originais em poucas variáveis, como o método de análise de componentes principais (PCA). O PCA tem por finalidade a redução da dimensionalidade dos dados, fornecendo novas variáveis que contém o máximo da informação original (Adams, 1995).

O tradicional levantamento de solos é uma técnica que apresenta custo elevado para aquisição de dados, principalmente, quando existe a demanda por um grande número de amostras (Odeh et al., 2009). Outra desvantagem é o tempo considerável despendido em laboratórios para alcançar o maior nível de credibilidade dos resultados (Fiorio e Demattê, 2009). Dessa forma, o SR tem sido amplamente utilizado para fins de levantamento de solos (Palacios-Orueta e Ustin, 1998; Brown et al., 2006), com o objetivo de otimizar a etapa de obtenção dos dados.

Considerando as novas técnicas de levantamento de solos economicamente viáveis, e que fornecem informações com significativa acurácia em relação aos métodos tradicionais, pretendeu-se analisar o comportamento espectral dos solos mais representativos do sul do estado Espírito Santo localizados na bacia do rio Benevente. Os dados foram obtidos por meio da espectroradiometria nas faixas espectrais do visível e infravermelho próximo (350 – 2.500 nm). Adicionalmente, foram avaliadas as variáveis que mais contribuíram na variabilidade dos dados espectrais com o emprego da PCA.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização Geral da Bacia do Rio Benevente

A bacia do rio Benevente localiza-se no sul do estado do Espírito Santo e abrange o município de Alfredo Chaves, e parte dos municípios de Anchieta, Iconha, Guarapari e Piúma (Figura 1). O rio Benevente tem sua principal nascente na Serra do Tamanco entre os municípios de Alfredo Chaves e Vargem Alta no distrito de Urânia, com sua foz localizada na cidade de Anchieta. A bacia do rio Benevente está inserida na Unidade Hidrográfica Benevente que inclui as bacias da Lagoa Mãe-bá e do rio Meaípe, em Guarapari (IEMA, 2008). Possui uma área de drenagem de, aproximadamente, 1.090 km² e sua geologia é considerada como bem representativa do Estado, uma vez que é composta, em sua maior parte, por rochas cristalinas Pré-Cambrianas (granito-gnaisses). Essas rochas fazem parte do Escudo Cristalino Brasileiro e se apresentam na forma de cadeias de montanhas pertencentes a Serra da Mantiqueira. O restante da área é formado por sedimentos Terciários (Grupo Barreiras) e Quaternários (Aluviões e Sedimentos Marinheiros). Das rochas Pré-Cambrianas, a maior parte pertence ao Complexo Paraíba do Sul e, em menor parte, à Suíte Intrusiva Espírito Santo (Radambrasil, 1983).



Figura 1. Localização da bacia do rio Benevente no sul do estado do Espírito Santo.

2.2. Obtenção e tratamento de dados obtidos no campo

A área da bacia do rio Benevente foi, previamente, avaliada por meio da análise de ortofotos (escala 1:15.000), no intuito de nortear o trabalho de mapeamento de solos. A região foi percorrida para a visualização das classes de solos mais representativas. Após a caracterização das diferentes unidades de mapeamento foram abertos 9 perfis para a descrição morfológica de seus respectivos horizontes (Santos et al., 2005) e foram efetuadas coletas de 34 amostras para a caracterização analítica. O material de solo coletado foi acondicionado em sacolas plásticas, posteriormente destorroado, seco ao ar e passado em peneiras de 2 mm, para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras foram submetidas às análises física (granulometria) (EMBRAPA, 1997), química (rotina) (EMBRAPA, 1997) e fósforo remanescente (P-rem) (Alvarez et al., 2000) e mineralógica (Jackson, 1956; Chen, 1977; Brindley e Brown, 1980; Resende et al., 2005).

2.3. Obtenção e tratamento dos dados obtidos por espectroradiometria

Os dados espectrais foram obtidos em laboratório com o sensor FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo.) de fibra ótica com resolução espectral de 1 nm entre 450 e 1.100 nm e de 2 nm entre 1.100 e 2.500 nm. O sensor foi colocado a 27 cm de altura das amostras de solo (TFSA), acondicionadas em placas de petri com diâmetro de 9 cm, formando uma camada com espessura de 1,5 cm. A fonte de iluminação utilizada foi uma lâmpada halógena de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado, posicionada a 35 cm do recipiente amostral, com um ângulo zenital de 30 °. Como padrão de referência, foi utilizada uma placa branca de sulfato de bário considerada como padrão de 100% de reflectância. Dessa forma, a razão entre o fluxo radiante espectral refletido pela superfície de uma amostra de solo e o fluxo radiante espectral refletido por um padrão de referência, iluminados e visados sob as mesmas condições geométricas, gera o “fator de reflectância bidirecional espectral”. A partir do fator de reflectância bidirecional dos solos, são então obtidas as curvas espectrais dos solos. Para cada amostra analisada, foram efetuadas três leituras, sendo que o valor utilizado foi aquele obtido da média das leituras.

Com a finalidade de reduzir as discrepâncias existentes nos dados dos espectros, utilizamos a transformação e pré-processamento desses dados, que foram manipulados no programa ParLeS, através do emprego de vários algoritmos, com o objetivo de reduzir a sua não linearidade e ruídos, normalizar e realçar. A primeira derivada foi obtida por meio da transformação da reflectância espectral (R) em $\log(1/R)$ e a remoção das interferências,

devido ao espalhamento da luz, com a transformação SNV (Standard Normal Variate). Para a suavização do espectro e a diminuição dos ruídos foi utilizado o filtro wavelet e como pré-tratamento a média central (Rossel, 2006).

A manipulação dos dados de reflectância espectral foi feita pela análise multivariada (Análise de Componentes Principais - PCA), objetivando a diminuição da dimensionalidade dos dados a um valor equivalente ao número total de parâmetros (fatores), o que contribui de forma eficiente para a separação ou agrupamento dos dados (Smith et al., 1985; Stenberg et al., 1995; Sena et al., 1999; Sorensen e Dalsgaard, 2005). A aplicação da PCA teve por finalidade a redução dos dados espectrais a partir de combinações lineares das variáveis originais, sendo utilizada para indicar os comprimentos de onda que mais contribuíram para a maioria da variação (Galvão et al., 1997; Ray et al., 2002; Ladoni et al., 2010). A matriz de correlação entre os CP's e os atributos dos solos foi obtida pelo programa JMP 7.0.1.

3. Resultados e Discussão

A maior parte dos solos amostrados apresenta baixos níveis de fertilidade o que denota a pobreza química geral de grande parte deles. Para a maioria dos solos, os teores de alumínio trocável são altos e o fósforo constitui-se como um elemento limitante pela sua baixa disponibilidade. Os solos têm, em sua maioria, pequena quantidade de cálcio e magnésio trocáveis. A textura varia de muito argilosa a arenosa.

A análise mineralógica dos difratogramas das frações argila, silte e areia demonstra o pouco contraste existente entre os solos amostrados, à exceção do Neossolo Quartzarênico, em que há o domínio de quartzo. A caulinita e gibbsita foram os minerais identificados na maioria dos solos, além de indícios de minerais primários nas frações mais grossas como o feldspato potássico e a muscovita. É evidente a presença desses minerais, dado a constituição do material de origem da maior parte dos solos (granito-gnaiss), e de alguns solos como os Neossolos Litólicos que ainda tem grande influência deste.

Os solos estudados apresentaram, em sua maioria, feições de absorção semelhantes na faixa do visível e do infravermelho próximo, diferindo na porcentagem de reflectância, atribuída, em sua maior parte, a textura desses solos. A similaridade das feições de absorção se deve ao fato de que a mineralogia desses solos é muito semelhante. Pela análise do comportamento espectral dos solos, observamos três picos de maior absorção na região do infravermelho, em torno de 1.400 e 1.900 que são as bandas de absorção atribuídas à vibração molecular dos grupos OH da água adsorvida nos argilominerais (Lindberg e Snyder, 1972; Hunt, 1980), 1.400 e 2.200 nm onde ocorrem bandas de absorção devido às vibrações moleculares dos grupos OH e Al-OH presente nos minerais (Hunt e Salisburg, 1970), sendo típicas da presença de caulinita e/ou montmorilonita. As absorções nas regiões de 1.550 e 2.300 nm são atribuídas às vibrações dos grupos OH presentes na gibbsita (Hunt et al., 1971). Os minerais visualizados no espectro foram os mesmos identificados pela análise mineralógica.

A curva espectral é, portanto, o resultado da interação da radiação eletromagnética com os atributos dos solos como: material de origem, matéria orgânica, óxidos de ferro, mineralogia e granulometria, (Baumgardner et al., 1985; Formaggio, 1989; Lillesand e Kiefer, 1994; Demattê et al., 2000). Dessa forma, fica evidente que a energia refletida pelo solo é a soma integrada de todas as energias refletidas pelos seus diferentes componentes sabendo que alguns deles têm maior influência na reflectância mascarando o efeito dos demais (Baumgardner et al., 1970; Demattê e Garcia, 1999; Galvão e Vitorello, 1998).

A PCA foi aplicada no sentido de agrupar os solos com características físicas e químicas semelhantes. Os três primeiros componentes principais explicam 93,90% da variância dos dados originais, sendo que à PC1 atribui-se a maior parte desta (81,23%). Os

PC's 2 e 3 contém, respectivamente, 9,36 e 3,30% da variância. Os demais PC's (4 a 10) explicam pouco da variância dos dados. A partir do PC4, não há diferença significativa da variância explicada, o que demonstra que ao se aplicar a PCA, foi possível reduzir a dimensão original dos dados (10 variáveis/dimensões) para 3 PC's.

Os agrupamentos das classes de solos foram identificados pela projeção dos três primeiros escores (CP1, CP2 e CP3) que são resultantes da multiplicação dos autovetores pelos comprimentos de onda originais. Os autovetores foram determinados pela matriz de covariância formada por 2.150 medidas de reflectância. Apesar de apresentarem similaridades com o espectro das amostras, eles não correspondem diretamente a este. O primeiro autovetor (E1) possui covariância negativa entre a reflectância espectral no visível e no infravermelho com os fatores de peso positivo das amostras. O que demonstra que os espectros tendem-se a correlacionar indiretamente quando transformados por esse autovetor de acordo com a reflectância destas. Nesse sentido, o albedo das amostras aumenta da esquerda para a direita (Figura 2A), ao passo que o CP1 aumenta da direita para a esquerda (Figura 2B). Os fatores de peso do segundo autovetor (E2) tiveram seus valores positivos próximos aos comprimentos de onda do azul e do verde e para a faixa do infravermelho em torno de 938 a 1.396 nm e de 1.421 a 1.886 nm, assumindo valores negativos em torno de 492 a 937 nm, 1.397 a 1.420 e acima de 1.887 nm. Os valores negativos estão associados às feições espectrais das amostras.

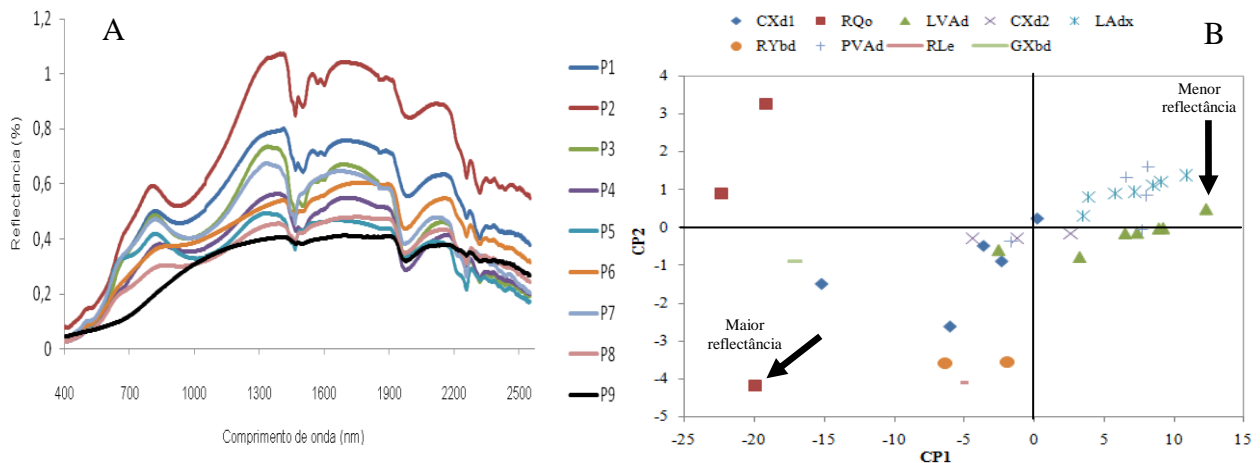
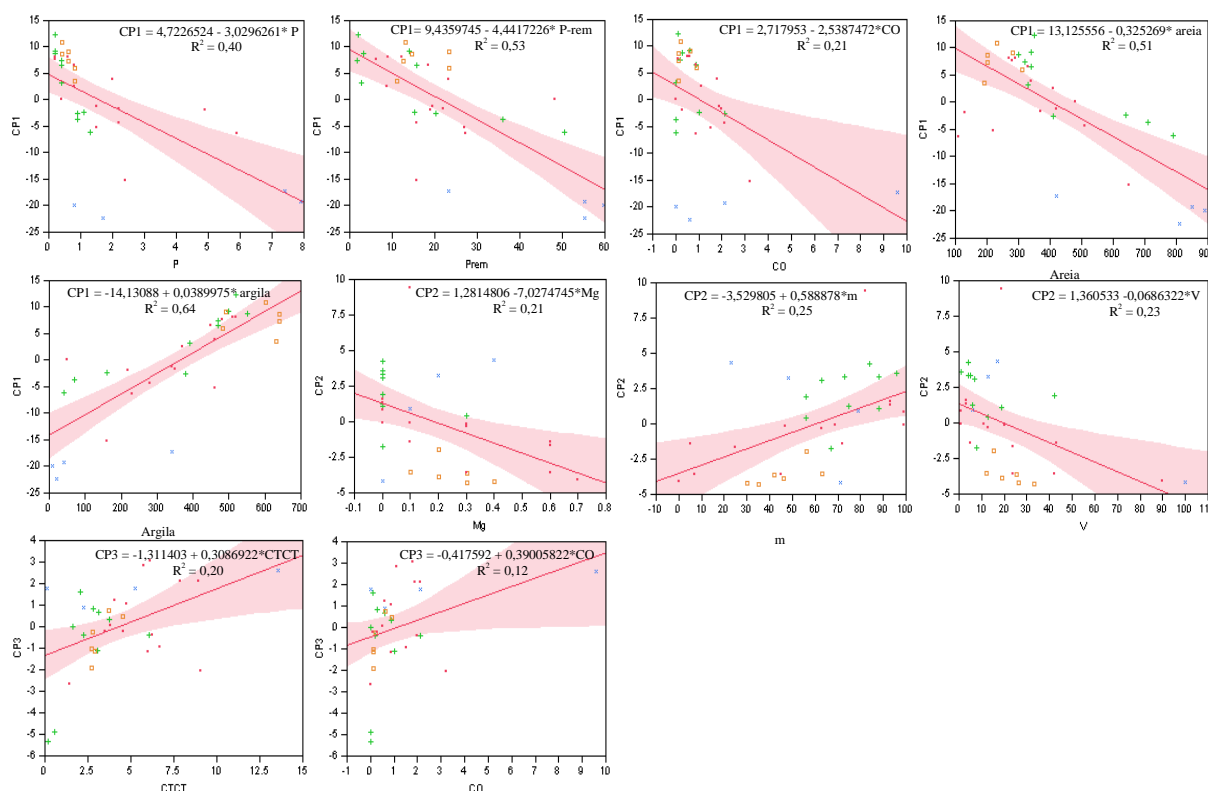


Figura 2A. Comportamento espectral dos horizontes diagnósticos das classes de solos (P1-P9) representativas da bacia do rio Benevente. B. Autovetores correspondentes aos principais eixos de variação obtidos por meio da matriz de covariância derivada de 2.150 pontos do espectro.

O CP1 apresentou correlação ($p < 0,05$) para os parâmetros químicos de fósforo (P), fósforo remanescente (P-rem) e Carbono Orgânico (C.O.) e físico como a textura arenosa, apresentando variação indireta com a reflectância das amostras, isto é, um aumento da concentração desses elementos contribui para a redução da reflectância (Tabela 1 e Figura 3). Já para a argila, foi observada uma correlação direta dessa fração com a reflectância. Essa correlação positiva com a argila pode ser observado na análise do espectro do LAdx em que os horizontes de textura mais argilosa (Bw1-C) são os que refletem mais (Figura 5). Depreende-se que a razão de tal comportamento é devido ao arranjo face a face das placas de caulinita que contribui para a formação de uma superfície mais lisa e diminuição do espaço poroso do solo favorecendo, assim, o aumento da reflectância. Todavia, quando se compara solos de texturas diferentes, os mais arenosos são os que possuem maior reflectância. As variáveis que mais influenciam na variação da reflectância no CP2 são magnésio (Mg) e saturação por bases (V%) com correlação negativa e saturação por alumínio (m) positiva. O CP3, que possui pequena participação na discriminação dos dados, obteve correlação positiva para a CTC_T e C.O.

Tabela 1. Correlação par a par das variáveis fatores e resposta (CP's).

	Variáveis (fatores)								
	(P)	(P-rem)	C.O.	Areia	Argila	(Mg)	V	m	CTC _T
CP	CP1	CP1	CP1/ CP3	CP1	CP1	CP2	CP2	CP2	CP3
Correlação	-0,631	-0,730	-0,457/ 0,348	-0,714	0,800	-0,458	0,477	0,500	0,448
P-valor	<0,0001	<0,0001	<0,01/<0,05	<0,0001	<0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

**Figura 3. Dispersão das amostras em função dos CP's 1, 2 e 3 e dos atributos do solo.**

Pela PCA foi possível distinguir 4 grupos de solos (Figura 4). Sendo que o primeiro grupo incorporou solos com características químicas e físicas bastante distintas entre si, mas que apresentam em comum a baixa reflectância. Os solos do grupo 2 apresentam similaridades, tendo em vista que os Cambissolos latossólicos estão intrinsecamente ligados à erosão dos antigos Latossolos Vermelho-Amarelos. Pelo fato dos CX1 terem significativa distribuição em relevo mais acidentado (Figura 5) estão, portanto, sujeitos à intensa erosão laminar e, em consequência dela, concentração de material mais grosso na parte superior do perfil. O que explica a diferença na intensidade de reflectância com relação ao LVAd, quando os demais fatores são considerados constantes.

No grupo 3 foi incorporado solos com características mineralógicas semelhantes, tendo o quartzo como mineral dominante na fração areia desses solos, contudo foram agregados a esse grupo devido, principalmente, aos maiores valores de P. A PCA foi muito eficiente na distinção do grupo 4, o qual pertence a classe do LAdx, uma vez que trata-se de um solo com características químicas e físicas bastantes diferentes dos demais. A sua gênese está associada às oscilações provocadas durante o período glacial que permitiu que houvesse uma grande deposição de sedimentos que atingiu uma área extensa do relevo acidentado cobrindo, parcialmente, as rochas cretáceas da bacia do Espírito Santo dando origem ao Grupo Barreiras (Terciário-Neógeno). O material do grupo Barreiras é muito

pobre em nutrientes, haja vista que são sedimentos originados de antigos solos (também pobres) que foram erodidos (Lani et al., 2008).

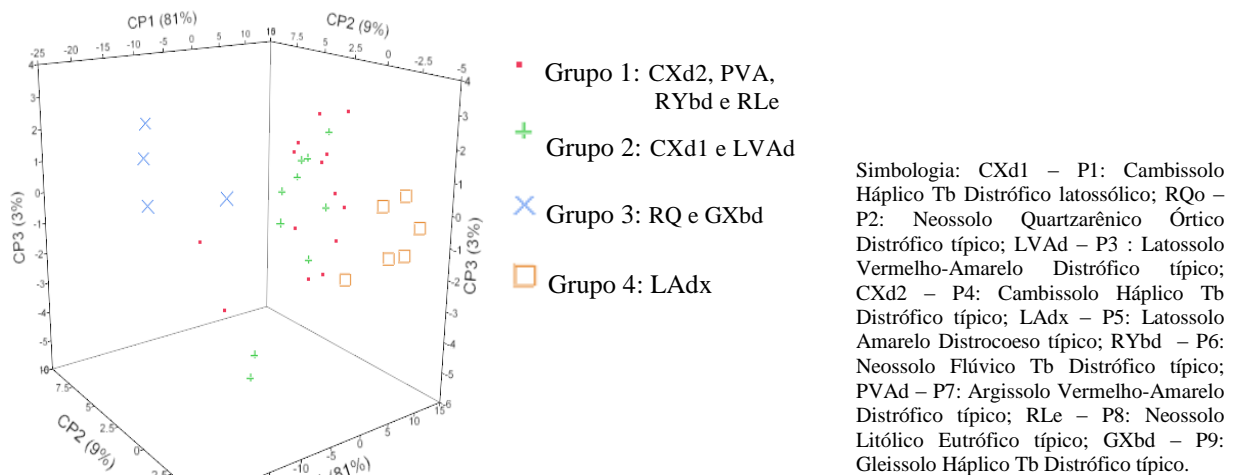


Figura 4. Resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) mostrando os escores dos três primeiros componentes principais: PC1, PC2 e PC3.

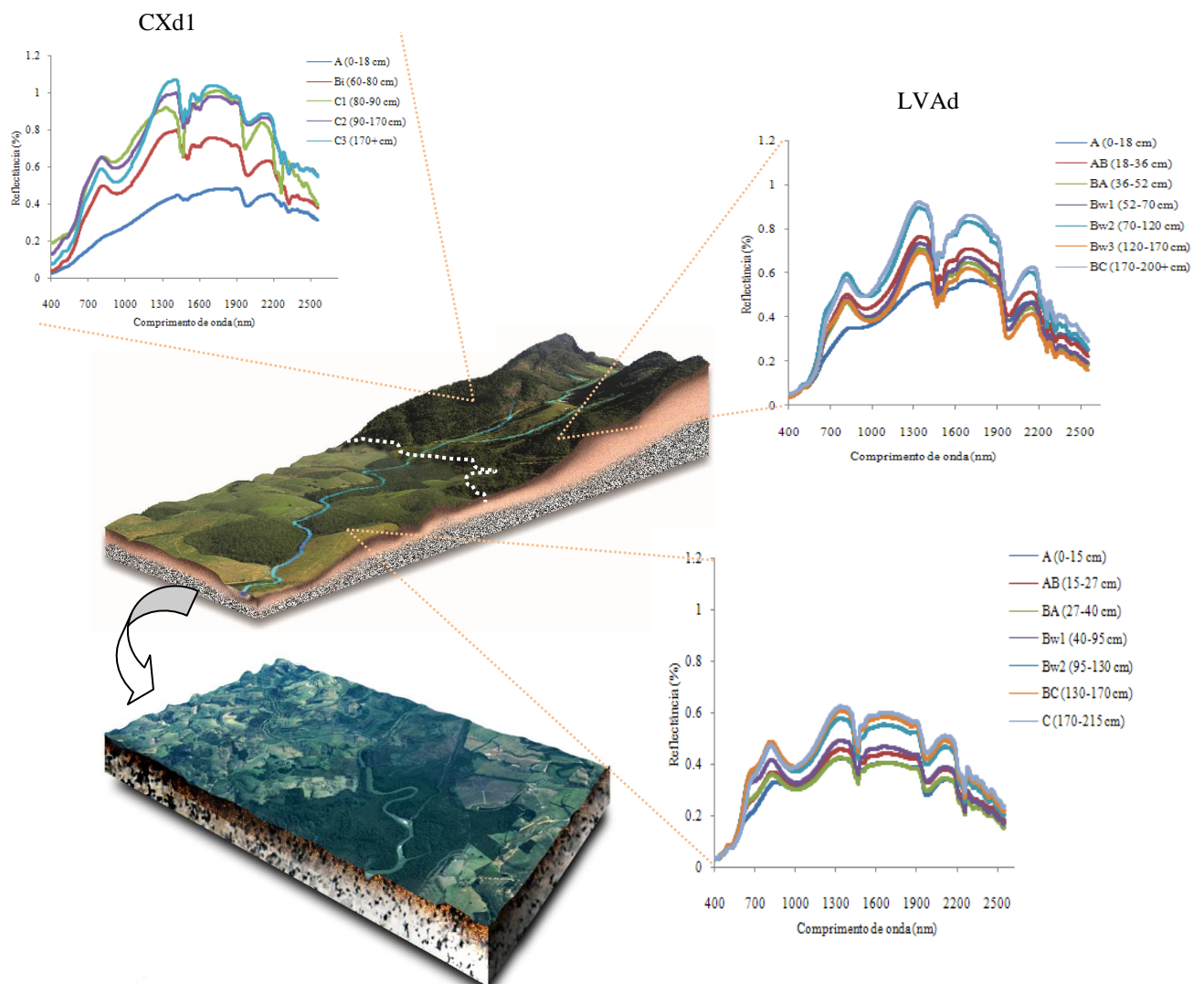


Figura 5. Bloco-diagrama representativo da posição na paisagem e gráficos do comportamento espectral dos solos do grupo 1: LVAd e CXd1 e grupo 2: LAdx.

4. Conclusões

A maior parte dos solos apresentou comportamento espectral semelhante devido, principalmente, ao pouco contraste existente na mineralogia dos solos amostrados que são compostos basicamente por caulinita e gibbsita, à exceção do Neossolo Quartzarênico.

A utilização da PCA permitiu a redução da dimensionalidade dos dados e determinação das variáveis que foram capazes de explicar uma proporção significativa da variação total dos dados originais. Dessa forma, foi possível distinguir 4 agrupamentos de classes de solos, sendo a PCA muito eficiente no agrupamento do LAdx.

A argila foi o elemento que obteve maior correlação com a reflectância. Observou-se que um aumento do seu teor resulta na diminuição da reflectância entre os horizontes de uma mesma classe de solo, mas não entre classes de solos diferentes, haja vista que o RQo (arenoso) possui maior porcentagem de reflectância do que o LAdx (muito argiloso).

Agradecimentos

À CAPES pela bolsa de estudo, à Universidade Federal de Viçosa – UFV e ao Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA-ES) pelo apoio.

Referências Bibliográficas

- Adams, M. J. **Chemometrics in analytical spectroscopy**. The Royal Society of Chemistry: Cambridge, 1995. 216p.
- Alvarez, V. H. V.; Novais, R. F.; Dias, L. E.; Oliveira, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Soc. Bras. de Ci. Solo**, v.25, p.27-33, 2000. (Boletim Informativo)
- Baumgardner, M. F.; Stoner, E. R.; Silva, L. F.; Biehl, L. L. Reflective properties of soils. In: Brady, N. (Ed), **Advances in Agronomy**, 38. Academic Press, New York, p.1-44, 1985.
- Baumgardner, M. F. et al. **Effects of organic matter on the multispectral properties of soils**. Proceedings Indiana Academy of Science, Brookville, v.79, p.413-422, 1970.
- Brindley, G. W.; Brown, G. **Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980. 495p.
- Brown, D. J.; Shepherd, K. D.; Walsh, M. G.; Mays, M. D.; Reinsch, T.G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, v.132, p.273-290, 2006.
- Chen, P-Y. **Table of key lines in x-ray powder diffraction patterns of mineral in clays and associated rocks**. Indiana: Bloomington, 1977. 65p. (Dep. of Natural Resources Geological Survey Occasional Paper 21)
- Demattê, J. A. M.; Campos, R. C.; Alvis, M. C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma toposequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2447-2460, 2000.
- Demattê, J. A. M.; Garcia, G. J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.327-342, 1999.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- Fioro, P. R.; Demattê, J. A. M. Orbital and Laboratory Spectral Data to Optimize Soil Analysis. **Sci. Agric.**, v. 66, p.250-257, 2009.
- Fontes, M. P. F.; Carvalho Junior, I. A. Color Attributes and Mineralogical Characteristics, Evaluated by Radiometry, of Highly Weathered Tropical Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 69, p.1162-1172, 2005.
- Formaggio, A. R. ; Epiphânio, J. C. E.; Valeriano, M. M.; Oliveira, J. B. Comportamento espectral (450-2450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.467-474, 1996.
- Formaggio, A. R. Interação da radiação eletromagnética com os solos. In: Formaggio, A.R.; TARDIN, A.T.; Galvão, L. S.; Vitorello, I.; Formaggio, A. R. Relationship of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing of Environment**, v.61, p.24-33, 1997.
- Galvão, L. S.; Vitorello, I. Role of organic matter in obliterating the effects of iron on spectral reflectance and color of Brazilian tropical soils. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, p.1969-1979, 1998.
- Hunt, G. R. Electromagnetic radiation: the communication link in remote sensing. In: Siegal, B. S.; Gillespie, A. R. **Remote sensing in geology**. New York : J. Wiley e Sons, 1980. p.5-45.

- Hunt, G. R.; Salisbury, J. W.; Lenhoff, C. J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III Oxides and hydroxides. **Modern Geology**, v.1, p.195-205, 1971.
- Hunt, G. R.; Salisbury, J. W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Silicate minerals. **Modern Geology**, v.1, p.283-300, 1970.
- IEMA. Instituto Estadual do Meio Ambiente do estado do Espírito Santo. **As águas do Rio Benevente**. Disponível em: <<http://www.iema.es.gov.br>>. Acesso em: 31 jul. 2008.
- Jackson, M.L. **Soil chemical analysis – advanced course**. Dept. Soils. Un. Wisconsin, Madison, W.I., 1956.
- Ladoni, M.; Bahrami, H. A.; Alavipanah, S. K.; Norouzi, A. A. Estimating soil organic carbon from soil reflectance: a review. **Precision Agricultural**, v.11, p.82–99, 2010.
- Lani, J. L.; Resende, M.; Rezende, S. B.; Feitosa, L. R. **Atlas do Ecossistemas do Espírito Santo**. Viçosa: UFV, 2008.
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley e Sons Inc., 1994.
- Lindberg, J. D.; Snyder, D. G. Diffuse reflectance spectra of several clay minerals. **American Mineralogist**, v.57, p.485-493, 1972.
- Mcbratney, A. B.; Mendonça Santos, M.L.; Minasnya, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v.117, p.3-52, 2003.
- Mcbratney, A. B.; Minasnya, M. L.; Rossel, R.V. Spectral soil analysis and inference systems: A powerful combination for solving the soil data crisis. **Geoderma**, v.136, p.272-278, 2006.
- Mccarty, G. W.; Reeves, J. B.; Reeves, V. B.; Follet, R. F.; Kimble, J. M. Mid-Infrared and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy for Soil Carbon Measurement. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 66, p.640-646, 2002.
- Nanni, M. R.; Dematte, J. A. M. Spectral Reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.70, p.393-407, 2006.
- Odeh, I. O. A.; Triantafyllidis, J.; Mcbratney, A. B. **Are quantitative methods useful for regional soil inventories?** Disponível em: <<http://www.regional.org.au/au/gia/02/017odeh.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2009.
- Palacios-Orueta; Ustin, S. L. Remote Sensing of Soil Properties in the Santa Monica Mountains. **Remote Sen. Environ.**, v. 65, p.170-183, 1998.
- Radambrasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL**. Rio de Janeiro, 1983. 775p.
- Ray, S. S.; Singh, J. P.; Dutta, S.; Panigrahy, S. Analysis of within field variability of crop and soil using field and spectral information as a pre-cursor to precision crop management. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing*, v.34, p.302–307, 2002.
- Resende, M.; Curi, N.; Ker, J. C.; Rezende, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações**. Lavras: UFLA, 2005. 192p.
- Rossel, R. A. V. ParLeS for chemometric analysis of spectroscopic data. **Chemometrics and Intelligent Laboratory System**, v.90, p.72-83, 2008.
- Santos, R. D.; Lemos, R. C.; Santos, H. G.; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 92 p.
- Sena, M. M.; Poppi, R. J.; Frighetto, R. T. S.; Valarini, P. J. **Livro de Resumos**, AB-073, 22^a R. A. da SBQ, Poços de Caldas, 1999.
- Smith, M. O.; Johnson, P. E.; Adams, J. B. Quantitative determination of mineral types and abundances from reflectance spectra using principal components analyses. *Journal of Geophysical Research*. v. 90, p. C797-C804, 1985.
- Sorensen, L.K.; Dalsgaard, S. Determination of clay and other soil properties by near infrared spectroscopy. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.69, p.159–167, 2005.
- Stenberg, B. O.; Nordkvist, E.; Salomonsson, L. Use of near infrared reflectance spectra of soils for objective selection of samples. **Soil Science**, v.159, p.109-114, 1995.
- Stoner, E. R.; Baumgardner, M. F. characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society America Journal**, v.45, p.11161-1165, 1981.