

ESTUDOS DE REFLECTÂNCIA DE AMOSTRAS DE 5 TIPOS DE SOLOS BRASILEIROS, EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO

ENZO D'ARCO¹
BRUMMER SEDA ALVARENGA¹
PIERRE MOURA¹
CLAUDIO GELELETE TEIXEIRA¹

¹INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 – 12201-970 – São José dos Campos – SP, Brasil
{ enzo, brummer }@ltid.inpe.br
{ pierre, gelelete }@dpi.inpe.br

Abstract. The soil spectral behavior defines the interactions of the electromagnetic radiation with different types of soils and intrinsic factors of the same. The mineralogical representatives are factors that influence the alterations of the spectral curves strongly. The objectives of this research were to characterize five types of different soils through techniques of laboratory radiometry and compare the patterns of spectral behavior of the studied soils. The division of two groups was observed with very different characteristics from soils, being a group with clearer soils and larger reflectance and another group with darker soils and of smaller reflectance.

Keywords: radiometry, remote sensing, soil spectral behavior.

1. Introdução

Todo o fundamento do Sensoriamento Remoto está na interação da energia eletromagnética com a matéria que constitui os objetos. De acordo com Steffen et al. (1996), a fonte principal de quase toda a energia disponível na Terra tem sua origem no Sol, de onde se propaga para o espaço como radiação eletromagnética (REM). A radiação eletromagnética é o elemento fundamental para a utilização das técnicas de Sensoriamento Remoto. A partir dela que há propagação de energia, partindo diretamente de uma fonte emissora ou indiretamente pela sua reflexão quando incidente em superfícies distintas. Por isso, a radiometria é fundamental para o Sensoriamento Remoto, pois permite a coleta de dados através dos sensores.

Segundo Lorenzetti (2002), pode-se definir a radiometria como a ciência ou a técnica de quantificar a radiação eletromagnética. Milton (1987) comenta que a radiometria atua no mínimo em três áreas do Sensoriamento Remoto: ligando as medidas de laboratório e as condições de campo para calibração de sensores orbitais e aerotransportados; predição de bandas espectrais e configuração de visadas e horários para as realizações das tarefas de Sensoriamento Remoto; e para o refinamento e teste de modelos que relacionam atributos biofísicos para dados de Sensoriamento Remoto.

A estrutura da superfície é muito importante na resposta espectral do solo, pois provoca variações em características como conteúdo da umidade e o sombreamento. Os principais fatores que influenciam o comportamento espectral do solo são a composição química (sendo relevante o teor de matéria orgânica), a textura, a estrutura e o conteúdo da umidade (Chuvienco e Congalton, 1990). Para Slater (1980), as interações da REM com os diferentes solos e fatores intrínsecos ao mesmo definem o comportamento espectral dos solos, sendo caracterizados pela sua assinatura espectral. Parte da energia radiante provinda da interação da REM com os solos e minerais é absorvida e parte refletida para a atmosfera, gerando uma resposta espectral que é obtida em decorrência das medidas de radiância realizadas pelo sensor (Slater, 1980).

A reflectância espectral dos solos é uma propriedade acumulativa que deriva do comportamento espectral inerente às combinações heterogêneas de minerais, matéria orgânica

e umidade do solo (Baumgardner et al., 1985; Formaggio, 1989; Epiphany et al., 1992, Lillesand e Kiefer, 1994; Demattê et al. 2000). Para Epiphany et al. (1992), existem diversos parâmetros que influenciam a reflectância do solo, nos quais podemos citar: cobertura vegetal verde, resíduos estranhos ao solo, rugosidade e formação de crosta superficial, umidade do solo, matéria orgânica, distribuição do tamanho de partículas, óxidos de ferro, mineralogia de argila, material de origem e o comportamento espectral de constituintes mineralógicos importantes (como por exemplo, caulinita ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$), gibsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), goetita e hematita, magnetita (Fe_3O_4) e ilmetita (FeTiO_3), quartzo).

Segundo Clark (1999), o método da remoção de contínuo é um meio de normalizar espectros de reflectância para que seja possível a comparação de feições de absorção individuais a partir de um valor de base comum. Os valores de reflectância são normalizados em 1,0, deste modo os pontos dos espectros resultantes são ajustados entre o contínuo e os espectros menores que 1,0, onde ocorrem feições de absorção. O contínuo é uma função matemática usada para isolar uma absorção especial que serve como uma entrada de análise.

Sendo assim, os objetivos deste estudo foram: (1) caracterizar, através de técnicas de radiometria em laboratório (usando o espectroradiômetro FieldSpec), o comportamento de cinco diferentes tipos de solos; e (2) comparar os padrões de comportamento espectral dos solos estudados.

2. Materiais e métodos

O experimento foi realizado no laboratório de radiometria (LARAD) da Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de São José dos Campos - SP.

Foram utilizados o espectroradiômetro FieldSpec Pro FR com um FOV de 25 graus, com range de 350 a 2500 nm (nanômetros), fonte de iluminação halógena (NORIS), placa de referência Spectralon, pano preto e quatro amostras para cada tipo de solo, sendo um total de cinco tipos de solos diferentes fornecidos pela Embrapa Solos – Jardim Botânico / RJ. Os solos estudados foram: **Argissolo Amarelo (AA)**, **Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)**, **Latossolo Vermelho (LV)**, **Nitossolo Vermelho (NV)** e **Latossolo Vermelho Eutroférrico (LVE)**. Foi considerada a nova classificação brasileira de solos (Embrapa, 1999).

Utilizou-se o software RS² (software de interface com o usuário). As medidas de radiância das amostras de solos eram convertidas pelo software em fatores de reflectância. O aparelho estava configurado para armazenar a média de dez espectros em cada registro.

Para calcular as médias dos espectros de cada solo, bem como a confecção dos gráficos, foi utilizada uma planilha eletrônica. A análise de correlação do fator de reflectância dos solos e análise de agrupamentos dos diferentes tipos espectrais de solos foi feita através de um software estatístico.

Em relação à geometria de aquisição dos dados, foi utilizado o campo de visada de 25°, contendo 7 cm de altura na vertical. A fonte de iluminação com inclinação de 62° de incidência e 72 cm de distância entre a fonte e o alvo.

Foi realizada, através do aplicativo ENVI 3.5, a técnica da remoção do contínuo para isolar as características espectrais em comprimentos de ondas específicos, acentuando as diferenças nas profundidades das bandas de absorção dos principais fatores envolvidos.

4. Resultados e discussão

Analisando a **Figura 1**, percebe-se claramente as várias faixas de absorção ao longo de todo o espectro analisado, concordando com Formaggio (1989), Epiphany et al. (1992) e Demattê (2000) que em uma curva característica de solos pode-se verificar as faixas de absorção do

ferro (em torno de 950 nm), matéria orgânica (ao longo de todo o espectro), água (em torno de 1400 e 1900 nm), hidroxilas (em torno de 1400 e 2250 nm), vermiculita (em torno de 1900 nm), caulinita (em torno de 2200 nm) e gibbsita (a partir de 2300 nm).

Nos cinco tipos de solo, de acordo com a **Figura 1**, observa-se a presença de óxidos de ferro, fato comprovado pelo comportamento típico das curvas em torno de 850 nm. O pico de absorção observado em torno do valor de 1950 nm, possivelmente se dá devido à presença de vermiculita e água; em torno de 2200 nm encontra-se a possível influência de caulinita e em torno de 2400 nm encontra-se a possível influência de gibbsita. A influência da água é mais marcante em solos claros do que em escuros.

Nas curvas de reflectância das médias dos diferentes tipos de solos (**Figura 1**), podem ser observados comportamentos semelhantes dos solos AA e LVA, os quais apresentam maiores valores de reflectância, isto possivelmente explicado em função da composição pedológica dos mesmos. O outro agrupamento inclui os solos de coloração mais escura (LV, NV e LVE), com valores menores de reflectância e com diferentes influências nas bandas de absorção do primeiro agrupamento.

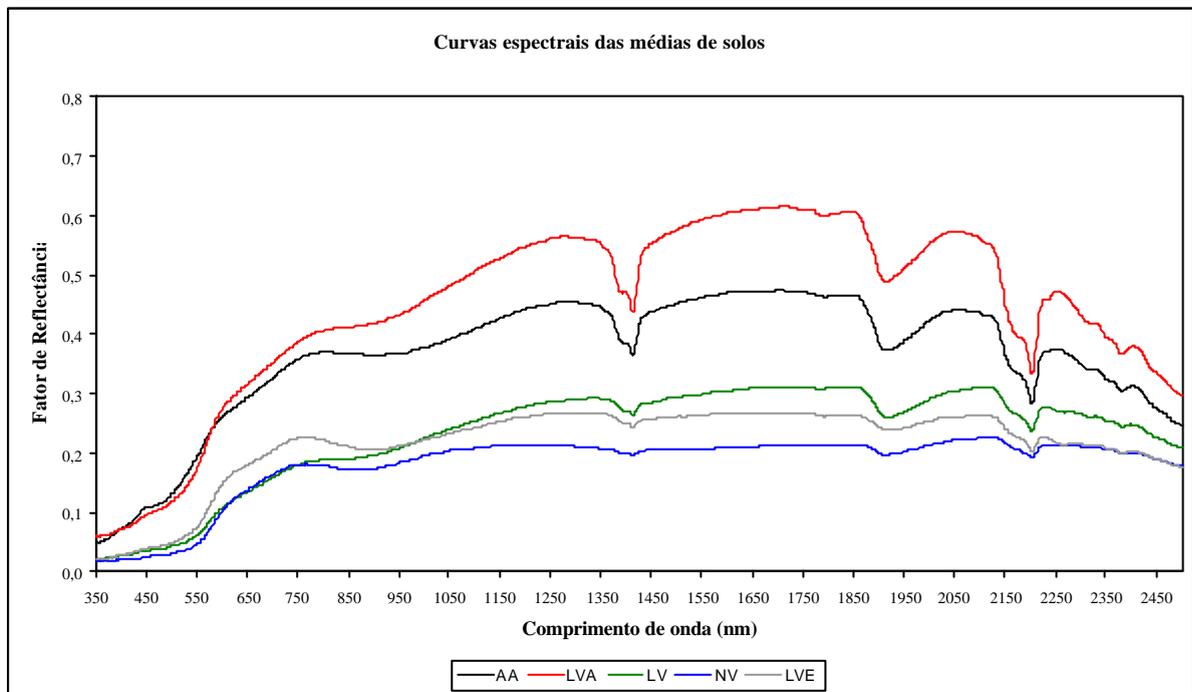


Figura 1. Comportamento espectral dos valores médios dos 5 tipos de solos.

Analisando a **Figura 2**, o primeiro grupo (LVA e AA) apresentou uma maior semelhança entre os solos que o compõe do que o segundo grupo (NV, LVE e LV), confirmando os resultados das curvas espectrais obtidas na **Figura 1**.

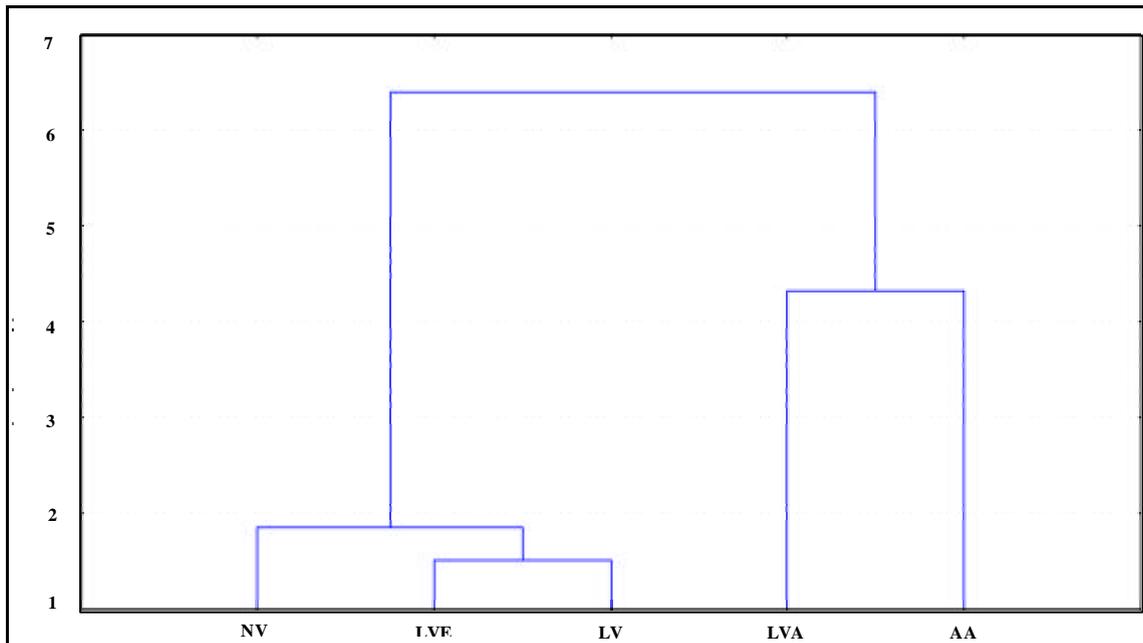


Figura 2. Análise euclidiana de agrupamento das médias dos solos.

A partir da análise da remoção do contínuo entre 750 e 950 nm (**Figura 3**), onde ocorre a influência dos óxidos de ferro (Fe_2O_3), pode-se verificar que não existe uma grande variação nas profundidades de absorção deste mineral para os diferentes tipos de solo. O solo que teve maior profundidade foi o NV (0,053), mostrando ser o solo com maiores teores de ferro, seguido muito próximo do solo LVE (0,052).

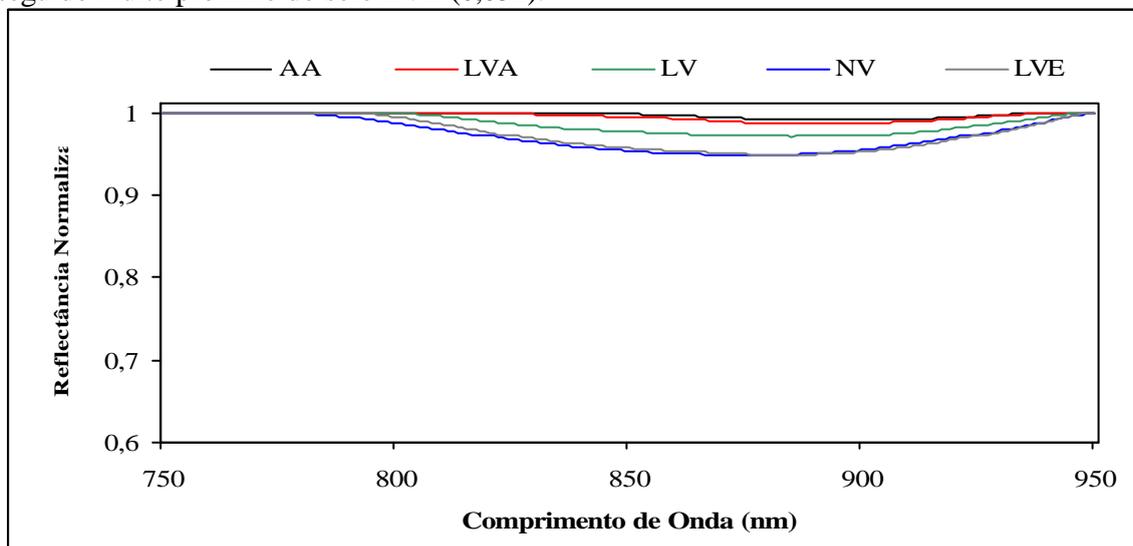


Figura 3. Espectros normalizados através do método de remoção do contínuo para os comprimentos de onda entre 750 a 950 nm.

A **Figura 4** mostra que os solos LVA e AA foram os que tiveram maiores influências da água e das hidroxilas (OH), tendo profundidades de bandas com 0,21 e 0,173, respectivamente. Estes dois solos são solos de coloração mais clara. Os demais solos apresentaram profundidade de bandas em função da água e das hidroxilas bastante semelhantes, com menores teores destes componentes.

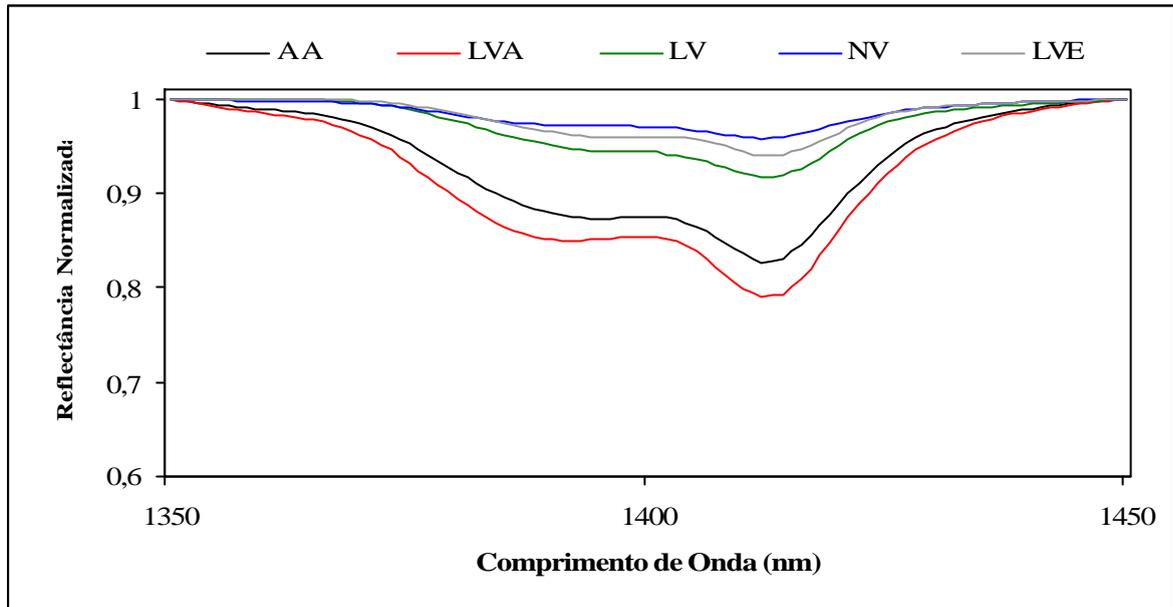


Figura 4. Espectros normalizados através do método de remoção do contínuo para os comprimentos de onda entre 1350 a 1450 nm.

A reflectância na faixa entre 1850 a 2000 nm é influenciada principalmente pela água e pela vermiculita. De acordo com a **Figura 5**, verificou-se que os solos AA e LVA apresentaram as maiores profundidades com valores próximos (0,170 e 0,163), seguido do solo LV com profundidade de 0,138. Os solos LVE e NV foram os que apresentaram menor influência em relação a H₂O e a vermiculita, ficando com profundidades de absorção de 0,084 e 0,078.

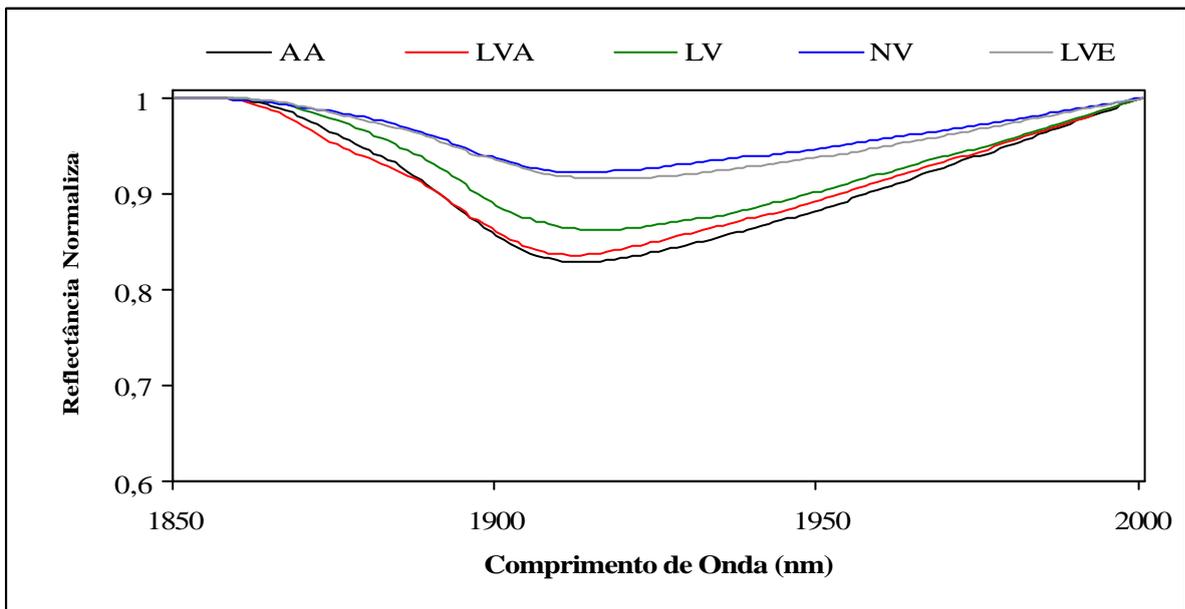


Figura 5. Espectros normalizados através do método de remoção do contínuo para os comprimentos de onda entre 1850 a 2000 nm.

Na **Figura 6**, pode-se ver a absorção em função da caulinita (até 2200 nm) e das hidroxilas (a partir de 2200 nm), concordando com Formaggio (1989). Os solos que apresentaram maiores teores destes componentes foram o LVA e o AA, com profundidade de

absorção de 0,310 e 0,265, respectivamente. Os solos de coloração mais escura tiveram menor influência por parte destes fatores, ficando com menores profundidades de absorção.

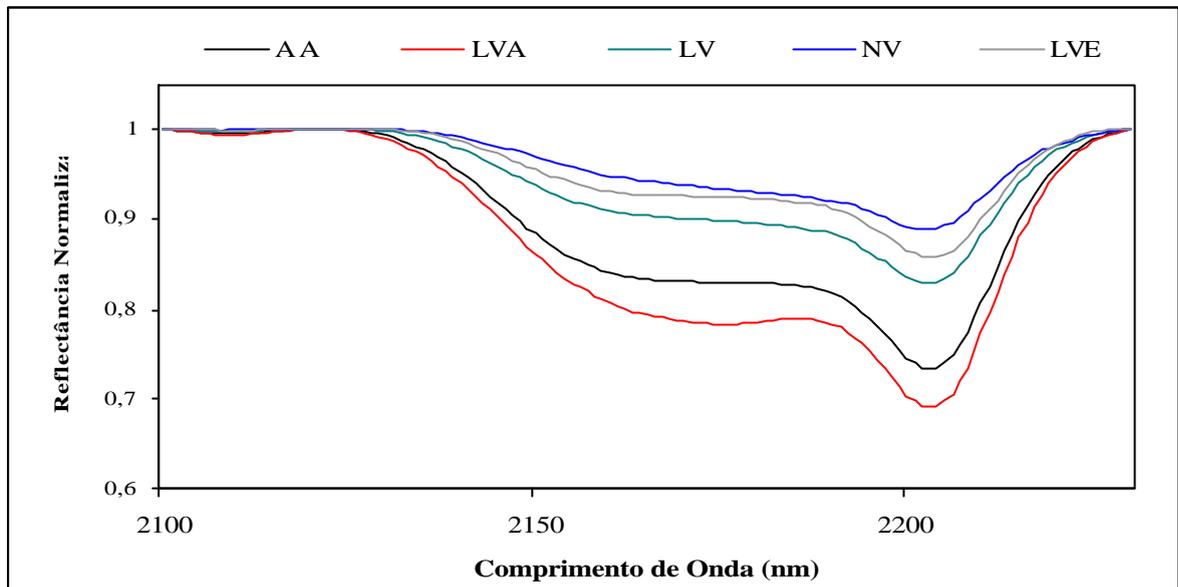


Figura 6. Espectros normalizados através do método de remoção do contínuo para os comprimentos de onda entre 2100 a 2230 nm.

De acordo com Demattê et al. (2000), as feições do mineral gibbsita como de outros minerais opacos são vistas na faixa a partir de 2300 nm. Conforme a **Figura 7**, não existiram grandes diferenças entre os solos, possivelmente pelas baixas quantidades destes minerais encontradas nos cinco diferentes solos. Entretanto, os solos LVA e AA foram os que apresentaram maiores profundidades de bandas (0,068 e 0,053).

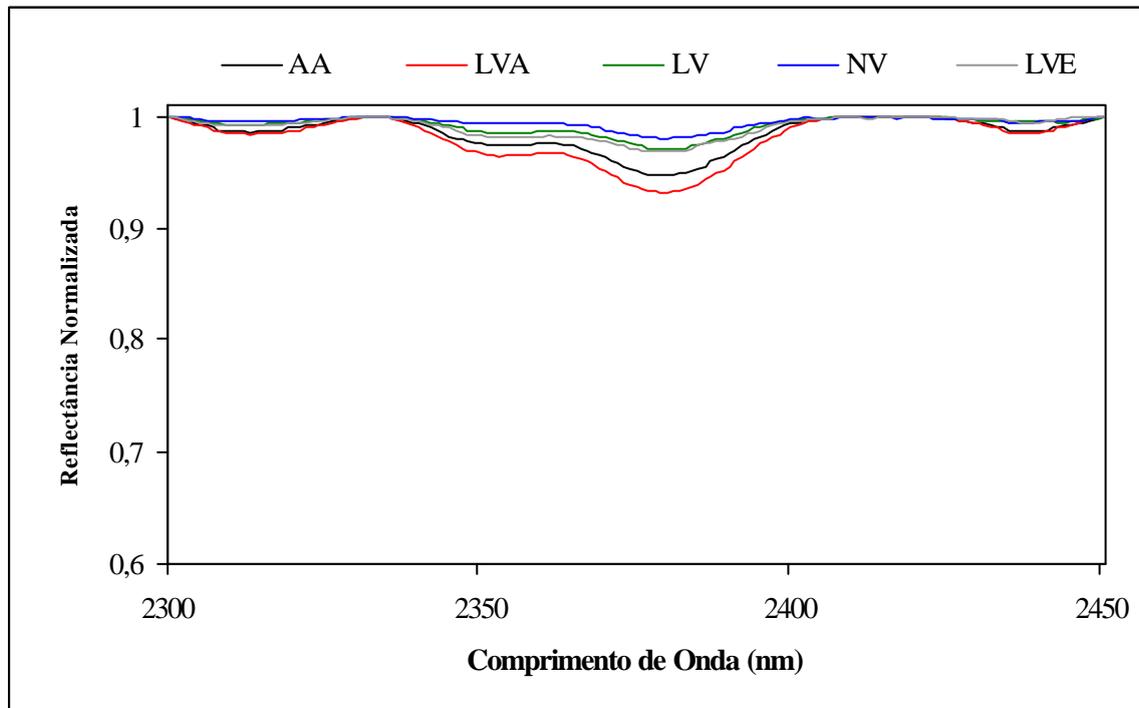


Figura 7. Espectros normalizados através do método de remoção do contínuo para os comprimentos de onda entre 2300 a 2450 nm.

5. Conclusões

O presente trabalho possibilitou chegar as seguintes conclusões:

1. a espectrorradiometria laboratorial é uma técnica eficiente e largamente empregada para a análise das respostas de reflectância de solos. Entretanto, os cuidados em relação à condução do experimento são fundamentais para obtenção de dados não tendenciosos;
2. partindo-se da análise estatística da resposta espectral média dos 5 tipos de solos estudados, observa-se que as amostras podem ser divididas em 2 grupos com características bem distintas: o primeiro com solos mais claros (LVA e AA) e maior reflectância; o segundo com solos mais escuros (LV, NV e LVE) e menor reflectância;
3. à interação existente entre os efeitos de cada componente, não se pode aplicar uma modelagem matemática que seja capaz de apontar o efeito ocasionado pela variação de um componente específico em cada tipo de solo;
4. deve-se buscar maiores conhecimentos em termos de mineralogia dos solos, tendo assim, melhores condições de avaliar os efeitos individuais de cada fator em determinados comprimentos de onda, ou mesmo em determinados intervalos. Paralelamente, uma possível alternativa seja comparar as análises com bibliotecas espectrais através de algoritmos que permitam esse tipo de análise.

6. Referências bibliográficas

- 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, pp. 1-44. 1985.
- Chuvieco, E.; Congalton, R.G. Using cluster analysis to improve the selecting of training statistics in classifying remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.54, n.9, p.1275-1281, 1990.
- Clark, R.N. *Manual of Remote Sensing*. U.S. Geological Survey, 1999.
- Demattê, J. A. M.; Campos, R. C.; Alves, M. C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma toposequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba, SP. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.35, n.12, p.2447-2460, dez. 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 421p.
- Epiphany, J.C.N.; Formaggio, A.R.; Valeriano, M.M.; Oliveira, J.B. Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. São José dos Campos, SP, INPE, 1992. 132 p. (INPE-5424-PRP/172).
- Formaggio, A. R. Interação da radiação eletromagnética com os solos. In: Formaggio, A.R.; Tardin, A.T.; Rudorf, B.; Assunção, G.V.; Epiphany, J.C.N.; Moreira, M.A.; Chen, S.C.; Duarte, V. *O sensoriamento remoto na agricultura: conceitos básico, metodologia e aplicações*. São José dos Campos: INPE, 1989. p. 31-52. (INPE-4806-MD/39).
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. *Remote sensing and image interpretation*. New York: John Wiley e Sons Inc., 1994.
- Lorenzetti, J. A. *Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto: notas de aula dadas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1º trimestre de 2002*.
- Milton, E. J. Principles of field spectroscopy. *Int. Journal of Remote Sensing*, v 8, n 12, 1807-27, 1987.

Slater, P.N. Remote sensing: optics and optical systems. Reading, MA, Addison-Wesley, 1980. 575p.

Steffen, C. A.; Oliveira, J. L.; Gama, F. F. Programa Espectron. Manual de Referência. São José dos Campos: INPE. LARAD, 1996, 11p.