

O ENSINO DE CONCEITOS E PRÁTICAS DE ESPECTRORRADIOMETRIA LABORATORIAL: ESTUDO DE CASO COM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

BRUMMER SEDA ALVARENGA¹
ENZO D'ARCO¹
MARCOS ADAMI¹
ANTONIO ROBERTO FORMAGGIO¹

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

Abstract. The objective of this study was to test the teaching of some radiometric concepts, as well as a study case about reflectance factor of ten soil classes from São Paulo State, Brazil. The methodology applied for the development of this study was laboratory radiometry and full participation of all students in the entire experiment. The pedagogical results obtained were considered excellent in function of the approaches and discussions realized by the student involved.

Keywords: radiometry, remote sensing, soil spectral behavior.

1. Introdução

O sensoriamento remoto, no amplo contexto das atuais e crescentes preocupações de sustentabilidade ambiental, vem se constituindo como meio imprescindível para o planejamento, o uso racional e o monitoramento dos recursos naturais terrestres.

Uma grande quantidade de avanços científicos e tecnológicos vem disponibilizando conhecimentos, equipamentos, plataformas e sensores cada vez mais sofisticados e enormes massas de dados sobre processos e fenômenos da superfície terrestre vêm sendo disponibilizados. Assim, torna-se necessário um grande contingente de profissionais em altos níveis de capacitação para a operação e o desenvolvimento contínuo dos sistemas de observação da Terra, visando fornecer as informações e alimentações necessárias à manutenção da cadeia de pesquisas, estudos e tomadas de decisões envolvidas.

O grande elo de ligação entre os objetos da superfície terrestre e os sensores remotos que os observam é a radiação eletromagnética (REM) e, desta forma, o entendimento sobre o funcionamento das interações entre a REM e os diferentes materiais (rochas, solos, vegetação, água, construções antrópicas, p.ex.) constitui-se em requisito chave para a interpretação dos dados coletados pelos diferentes sensores.

Neste contexto, o ensino de espectrorradiometria, em especial a realizada em laboratório, é fundamental para compreender e fixar conceitos utilizados dentro do sensoriamento remoto. Da mesma forma, o conhecimento do comportamento dos espectros dos solos, gerados em laboratório, visa proporcionar um melhor entendimento de como cada fator (minerais, umidade, matéria orgânica, óxidos de ferro, entre outros) influencia a assinatura espectral dos diferentes solos, atores quase omnipresentes nas imagens de sensores remotos.

Conceitualmente, a radiometria pode ser definida como a ciência ou a técnica de quantificar a radiação eletromagnética (Lorenzetti, 2002). A extração de informações contidas em imagens, multi ou hiperespectrais, fundamenta-se no conhecimento sobre como cada objeto sensoriado comporta-se com relação aos fenômenos de absorção, emissão e reflexão da REM com eles interagida, permitindo, então, analisar os componentes e as condições dos objetos estudados.

As principais faixas espectrais para o sensoriamento remoto são a do visível (REM de comprimentos de onda entre 0,4 e 0,7 μm), a do infravermelho – IR (0,7 a 15,0 μm) e as microondas (maiores que 1 mm a 1 m) (Slater, 1980; Steffen et al., 1996).

O termo “comportamento espectral dos solos” é, em geral, utilizado para definir as interações da REM com os diferentes solos e fatores intrínsecos dos mesmos. Tratando-se das imagens ópticas de sensores colocados em satélites como os Landsats, os Spots ou o CBERS, grande interesse tem o entendimento da reflectância dos solos. Assim, em função das interações REM x solos, a energia incidente é parte absorvida e parte refletida para a atmosfera, gerando uma resposta espectral que é coletada pelo espectrorradiômetro.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi testar o potencial de transmissão das bases teóricas e práticas da espectrorradiometria, para pós-graduandos de um curso da área de sensoriamento remoto brasileiro, através de um estudo de caso envolvendo um espectrorradiômetro moderno e solos, em condições de laboratório. Em função do exercício realizado como estudo de caso, buscou-se também comparar os padrões de comportamento espectral dos solos e discutir o relacionamento entre as curvas espectrais e os dados das análises pedológicas de dez solos do estado de São Paulo.

2. Conceitos e grandezas radiométricas:

No processo de interação da radiação com um alvo, a REM pode ser mensurada e analisada por técnicas de radiometria. As quantidades de energia envolvidas são denominadas grandezas radiométricas e são medidas em campo ou laboratório utilizando radiômetros. Destas grandezas, a fundamental é a **energia radiante (Q)**, a partir do qual são derivadas as demais grandezas, como: **radiância (L)**, **irradiância (E)**, **fluxo radiante (ϕ)**, **exitância (M)**, **intensidade radiante (I)**. Para maiores detalhamentos sobre cada grandeza, recomenda-se Steffen e Moraes (1993).

Quando um fluxo radiante interage com a matéria, ele pode ser parcialmente refletido, absorvido e transmitido, sendo que os fluxos resultantes variam basicamente com as propriedades do mesmo e com o comprimento de onda (Steffen e Moraes, 1993). Esta relação pode ser explicada pela lei da conservação de energia: $\phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t$. A fração do fluxo incidente (ϕ_i) que é refletida (ϕ_r) expressa a reflectância (ρ) deste objeto, a fração absorvida (ϕ_a) expressa a absorptância (α) e a transmitida (ϕ_t) representa a transmitância (τ) (Slater, 1980). Desta forma, a somatória dos três processos é igual a um ($1 = \rho + \alpha + \tau$).

Segundo Steffen e Moraes (1993), para uma melhor caracterização do comportamento espectral de objetos, deve-se obter as medições de reflectância em campo, preferencialmente sob mesmas condições atmosféricas e de iluminação em que estes seriam imageados pelos sensores. Entretanto, devido à dificuldade de se obter tais condições técnicas para as medidas da reflectância espectral, utiliza-se uma grandeza equivalente denominada fator de reflectância. Este fator é definido pela razão entre a radiância do alvo (L_a) e a radiância de uma superfície lambertiana com reflectância conhecida (L_r) nas mesmas condições de iluminação e observação (Steffen e Moraes, 1993). Assim como a reflectância, o fator de reflectância espectral depende das propriedades da amostra, da geometria de iluminação e de observação e da faixa espectral de medição.

O termo *fator de reflectância bidirecional espectral (FRBE)* é utilizado para as condições de obtenção da reflectância para distintos ângulos de visada e de iluminação; ou seja, os ângulos da fonte de REM (irradiância) e do radiômetro (que mede a radiância) variam com relação ao zênite e ao azimute, tomando a amostra em estudo como centro de referência. Ou seja, o caráter *bidirecional* está associado basicamente às direções de observação e de iluminação. Assim, a partir da obtenção dos valores de reflectância dos solos e minerais, por

exemplo, é possível elaborar gráficos que exprimem o seu comportamento espectral. Aspectos relacionados com instrumentação e cuidados necessários para a obtenção da reflectância de objetos naturais podem ser encontrados em Milton (1987) e em Steffen e Moraes (1993).

3. Comportamento espectral de solos

Para Epiphanyo et al. (1992), os principais componentes dos solos são sólidos inorgânicos, matéria orgânica, ar e água. Os espaços porosos entre as partículas de materiais sólidos são ocupados ou pela água do solo ou pelo ar do solo, em concentrações relativas variantes. A água do solo pode ser descrita como uma solução que contém variedade de compostos. As moléculas de água também podem ser encontradas como componentes estruturais em alguns cristais laminares.

De acordo com Baumgardner et al. (1985), Formaggio (1989), Lillesand e Kiefer (1994), Demattê et al (2000), os solos têm o comportamento espectral influenciado por diversos fatores, dentre os quais têm sido citados como os mais importantes: a umidade, o teor da matéria orgânica, a textura, a cor, a capacidade de troca catiônica, o teor de óxidos de ferro bem como às combinações heterogêneas de minerais, e as suas condições de superfície (Moreira, 2001). Pode-se acrescentar a estes também, a mineralogia e a estrutura do solo, a presença de grandes fragmentos, as encrostações, as sombras e as práticas culturais.

A textura, a mineralogia, a presença de óxidos de ferro e o conteúdo de matéria orgânica são considerados como propriedades intrínsecas, enquanto os demais fatores são tratados como condições da superfície (Formaggio, 1989; Lillesand e Kiefer, 1994; Demattê et al, 2000).

Epiphanyo et al.(1992) citam que o conteúdo de matéria orgânica presente no solo e a composição dos constituintes orgânicos (ácidos húmicos e fúlvicos) tem uma relação inversa na resposta espectral dos solos, principalmente para a faixa do espectro que vai de 0,4 a 2,5 μm . Para Baumgardner et al. (1985) e Formaggio (1989), quando esse conteúdo excede a 2%, pode ocorrer um efeito de mascaramento na contribuição espectral de outros constituintes do solo. Formaggio (1989) cita que as faixas espectrais melhores para a discriminação da matéria orgânica são as do visível e infravermelho próximo (IVP), ou seja, a matéria orgânica correlaciona-se melhor com a reflectância dos solos entre 0,5 e 1,2 μm .

Outro fator que influencia na resposta espectral, segundo Epiphanyo et al. (1992), é a granulometria e a forma das partículas do solo. Estes fatores determinam a quantidade de espaços porosos para serem ocupados por água e por ar. Assim, conforme Formaggio (1989), na região do visível à diminuição do tamanho das partículas ocasiona aumento da reflectância, em função do maior espalhamento e menor extinção da luz que passa pelos espaços porosos. Bowers e Hanks (1965) mediram a reflectância de caulinita pura em frações de tamanho variando de 0,022 a 2,68 mm em diâmetro (silte grosseiro a areia grossa) observando um aumento exponencial na reflectância para todos os comprimentos de onda entre 0,4 e 1,0 μm com a redução no tamanho das partículas.

A resposta espectral do solo também varia significativamente com o tipo e a quantidade relativa de óxido de ferro. Estes fatores afetam a cor dos solos que, conseqüentemente, corresponde à diminuição ou ao aumento da reflectância (Epiphanyo et al., 1992). A reflectância na região de 0,5 a 0,64 μm , observada por Formaggio (1983) e Epiphanyo et al. (1992) foi inversamente proporcional ao teor de óxido de ferro presente no solo. Além dos óxidos de ferro, outros minerais presentes no solo afetam a coloração e demais propriedades espectrais, sendo os mais comuns, os minerais de argila, os óxidos de titânio e de alumínio, os silicatos, além dos carbonatos, sulfatos e fosfatos. Enquanto os óxidos de ferro e de titânio participam mais intensamente de interações macro e microscópicas com a radiação do visível

e IVP , minerais de argila, carbonatos, sulfatos e fosfatos influenciam mais fortemente no infravermelho médio - IVM (Irons et al., 1989; Moreira 2001).

4.1 Metodologia

A fim de atingir os objetivos do presente trabalho, os alunos do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realizaram um experimento no Laboratório de Radiometria (LARAD) na Divisão de Sensoriamento Remoto da referida instituição, localizada em São José dos Campos-SP.

O LARAD apresenta características internas próprias para trabalhos de radiometria, que minimizam os efeitos de luminosidade externa e da atmosfera. Utilizou-se o espectroradiômetro FieldSpec Pro FR (ASD, 2002) com um FOV de 25 graus, fonte de iluminação halógena (NORIS), placa de referência Spectralon, pano preto e amostras de dez solos diferentes.

As amostras de solos foram passadas em peneiras com malhas de 2 mm, secas ao ar livre e acondicionadas em placas de Petri. Considerando a nova classificação brasileira (Embrapa, 1999), os solos foram os seguintes: Latossolo Vermelho (duas amostras – LV1 e LV2), Gleissolo Sáfico (GS), Alissolo Hipocrômico (AH), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho Eutroférico (LV1), Argissolo Amarelo (AA) e Plintossolo Pétrico (duas amostras – PP1 e PP2).

Com a cabeça sensora do FieldSpec posicionada a cerca de 10 cm acima da superfície, foram realizadas três medidas de reflectância de cada amostra dos solos acima referidos, permitindo a geração de gráficos dos comportamentos espectrais. Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre comportamento espectral de solos, organizaram-se os dados e foram geradas as curvas espectrais, buscando correlacionar cada curva com as variáveis dos respectivos solos. Ao final, gerou-se um artigo científico como relatório sintetizador do aprendizado sobre espectrorradiometria laboratorial de solos.

4.1.1 Espectroradiômetro Portátil FieldSpec Pro FR

O FieldSpec Pro FR é um espectroradiômetro de campo portátil, com aproximadamente 8 Kg, FOV de 1 a 25°, resolução espectral de 10 nm, range de 350 a 2500 nm e capacidade de coletar até 10 espectros por segundo. A unidade detectora está ligada ao instrumento por um cabo de fibra óptica de 1,4 metros de comprimento e possui três detectores: uma malha de fotodiodos de 512 elementos e dois resfriados termoelectricamente (fotodiodos InGaAs) (ASD, 2002). Realiza medições de reflectância solar, radiância e irradiância. Além desses, compõe também o instrumento um computador notebook LCD, baterias, interface Espectroradiômetro-Computador (porta paralela bidirecional), o software RS² de interface com o usuário, software para aquisição e armazenamento de dados de reflectância, radiância e irradiância.

Neste experimento, o ângulo de incidência da luz foi de 40° e estando a fonte a 75 cm de distância do alvo. A unidade detectora foi posicionada manualmente a 0° em relação à normal e uma altura de 10 cm do alvo; desta forma, com um campo de visada (FOV) de 25° de abertura, o sensor cobria uma área correspondente a 15,44 cm² sobre a superfície de cada amostra de solo. O aparelho estava configurado para registrar a média de dez espectros em cada registro e para cada amostra de solo foram tomadas três medidas espectrais em diferentes locais da amostra. O cálculo do fator de reflectância bidirecional foi realizado pelo software RS² (ASD, 2002), daí a necessidade da calibração na placa de referência Spectralon, a qual possui reflectância conhecida. Após esta operação, as medidas de radiância das amostras de solos eram convertidas pelo software em valores de fatores de reflectância.

4.1.2 Análises físico-químicas dos solos

As análises foram realizadas no laboratório de solos do Serviço Nacional de Levantamentos de Solos /Embrapa Solos - Jardim Botânico / RJ, constituindo-se das análises de rotina feitas para levantamentos de solos.

4.1.3 Softwares auxiliares utilizados

Uma planilha eletrônica foi utilizada para calcular as médias dos espectros de cada solo, além de gerar os gráficos; um software estatístico foi utilizado para fazer a análise de correlação do fator de reflectância dos solos e análise de agrupamentos dos diferentes tipos espectrais de solos.

4.2 Resultados e discussão

A **Figura 1** ilustra as dez curvas espectrais referentes aos solos estudados. Por estas curvas verifica-se que os óxidos de ferro (Fe_2O_3) tiveram influência nos solos NV, GS e LV1, faixa espectral próxima a 900 nm, concordando com Epiphanyo et al. (1992). Este comportamento foi verificado na análise pedológica dos solos, com os seguintes valores para Fe_2O_3 : NV – 17,8 %, LV1 – 1,8 % e GS – 1,5%. Os solos LV2 e LVE, mesmo sem a análise pedológica, demonstraram comportamento característico de solos com presença de óxidos de ferro.

Na faixa entre 1400 e 1500 nm pode-se verificar a influência da água e das hidroxilas (OH) na absorção da radiação. Entretanto, as características mencionadas não foram observadas para os solos LVE e AH na faixa centrada em 1400 nm. O solo LVE apresentou esta feição na faixa de aproximadamente 1900 nm (**Figura 1**). Destaca-se o fato de que solos com baixos valores de reflectância apresentam bandas de absorção referentes à água (1400 nm e 1900 nm) com pouca profundidade e baixa expressão.

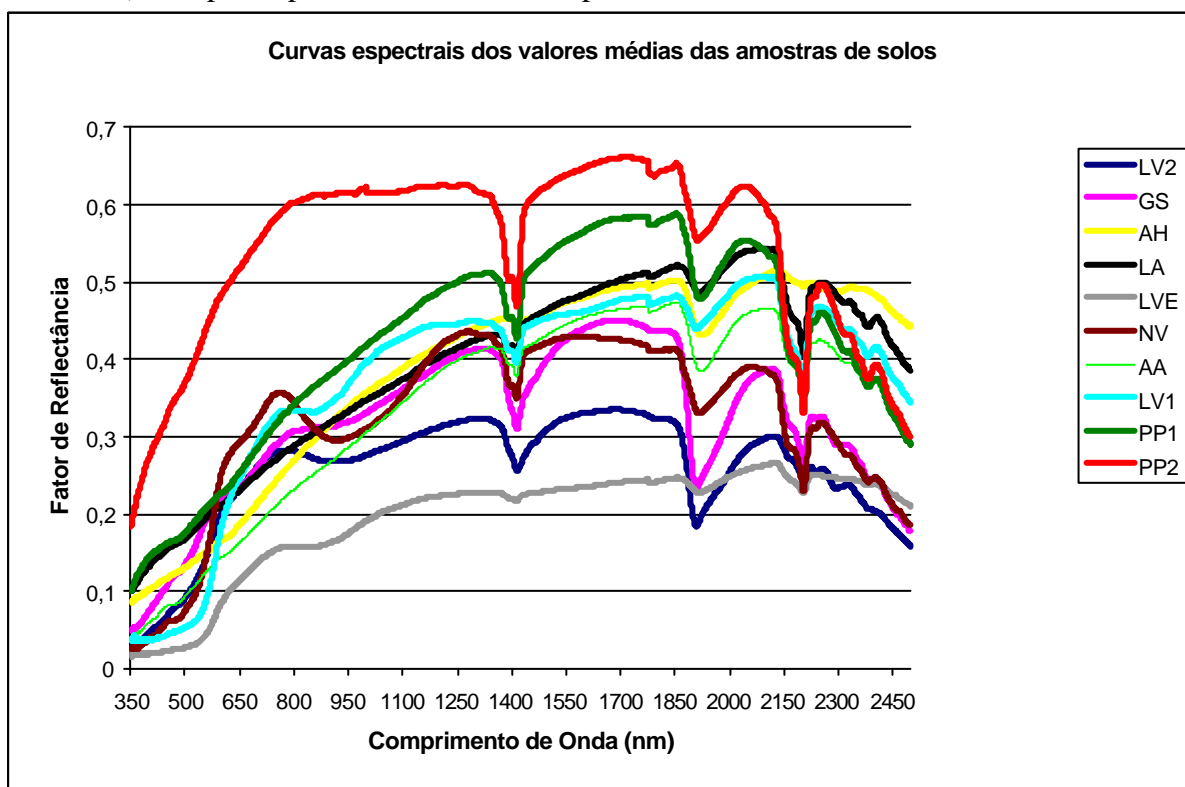


Figura 1. Curvas espectrais dos valores médios de fator de reflectância das amostras de solos.

Na faixa entre 2100 e 2200 nm verifica-se em todos os solos, uma forte absorção pela caulinita (isto ocorrendo devido às vibrações das hidroxilas de sua rede cristalina), com exceção do solo AH, que mostrou valores não significativos na análise pedológica para o Al_2O_3 e SiO_2 .

Verifica-se que na faixa de 1900 nm (**Figura 1**) pode ter ocorrido absorção em função da presença de vermiculita, pois o comportamento espectral para a maioria dos solos analisados apresentou característica típica de absorção deste constituinte mineralógico, concordando com Grove et al. (1992) e Demattê et al. (2000).

De acordo com a curva espectral dos solos PP1, PP2 e AH pode-se dizer que são solos arenosos, visto que a presença de areia (quartzo) no solo aumenta a reflectância em todo o espectro estudado. Associado a isto, os baixos teores de matéria orgânica diminuem a absorção aumentando assim a reflectância. Isso vem a concordar com a análise físico-química destes solos e com Formaggio (1989), Epiphanyo et al. (1992) e Moreira (2001).

Em relação ao constituinte mineralógico gibbsita, pode-se afirmar que os solos apresentaram feições deste mineral, vistas na faixa de 2300 nm, com exceção do AH e LVE que não apresentaram a absorção característica deste mineral. Tal resultado vem a concordar com Epiphanyo et al. (1992) e Demattê et al. (2000). A curva espectral do solo PP2 mostrou a presença de quartzo, notado pela variação curva na faixa de 1000 nm.

O solo NV foi o que melhor representou as características de todos os componentes acima citados, como pode ser observado na **Figura 2**. Nesta figura, observam-se feições características da absorção ocasionada por óxido de ferro, água, hidroxila, vermiculita, caulinita e gibbsita. A influência da matéria orgânica é notada na redução ou aumento do fator de reflectância, que é inversamente proporcional ao teor de matéria orgânica presente no solo. Esses dados concordam com Epiphanyo et al. (1992); Demattê et al. (2000) e Moreira (2001).

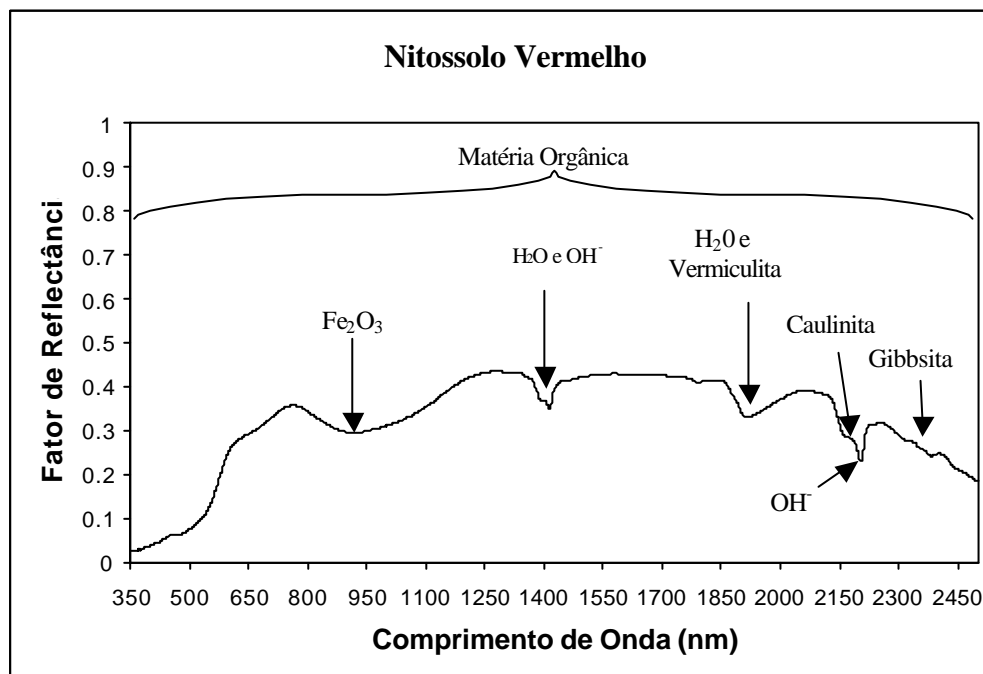


Figura 2. Áreas de influência dos componentes dos solos dentro da curva espectral do solo Nitossolo Vermelho.

A **Figura 3** mostra a similaridade dos solos em relação ao comportamento espectral, quando feita a análise de agrupamento. Assim, dois pares de solos (LA com AH e NV com

GS) tiveram os fatores de reflectância semelhantes. Já o solo que teve a curva mais distinta foi o PP2 seguido pelo LVE. Os demais mostraram similaridades espectrais.

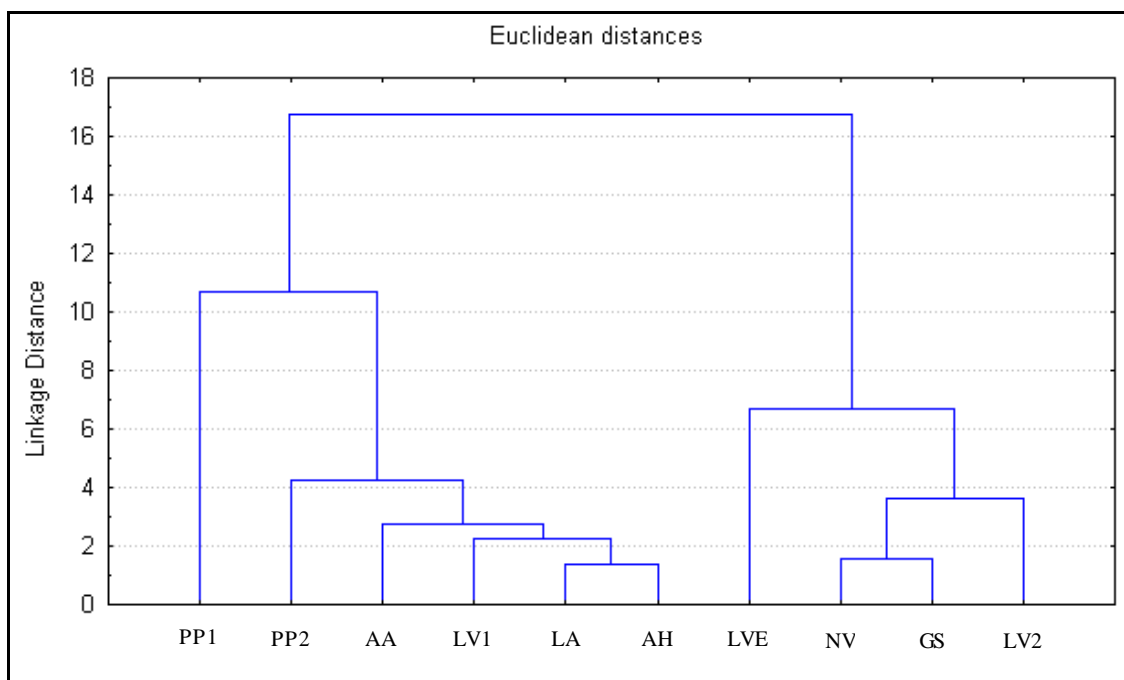


Figura 3. Análise de agrupamento dos solos.

Observa-se que os solos que tiveram uma correlação igual ou maior que 95 % foram: LV1 com LVE (98 %), LA com AA (98 %), AH com LA (98 %), LV2 com GS (97 %), AH com AA (97 %), LV2 com NV (96 %), AH com LVE (96 %), LA com LVE (96 %), LVE com AA (96 %), AA com LV1 (96 %), AA com PP1 (96 %), GS com NV (95 %). Já os solos que tiveram uma correlação igual ou menor que 55 % foram: LVE com PP2 (55 %), LA com PP2 (51 %) e AH com PP2 (44 %). Quanto maior a correlação entre solos diferentes, maior será a semelhança no formato da curva de comportamento espectral, e, portanto, a presença dos mesmos minerais e componentes no solo em diferentes níveis.

4.3 Avaliação do aprendizado

Os pós-graduandos envolvidos no presente trabalho mostraram-se bastante interessados no processo de assimilação de todos os conceitos focalizados, em função da metodologia de participação de cada um em todas as fases do experimento. Envolveram-se com entusiasmo em todas as fases, desde os cuidados na preparação das amostras, passando pela montagem do conjunto de equipamentos para as medições, na coleta de dados propriamente dita e na organização e manipulação final dos dados. Os conceitos de espectrorradiometria, bem como as interações energia x solos também foram bastante bem assimilados, propiciando a concretização de um artigo científico apresentado em sala de aula, simulando a participação num congresso científico. A realização deste artigo, além de propiciar alto nível de motivação também teve o objetivo de treinar os pós-graduandos em todas as etapas da produção científica, desde as atividades de experimentação, a revisão bibliográfica e até a redação e publicação. As avaliações dos alunos envolvidos foram favoráveis e os resultados mostrados pelo nível de abordagem (escrita e comunicação oral) sobre o tema (comportamento espectral de solos) foram considerados extremamente favoráveis.

5. Conclusões

1. a radiometria em laboratório é fundamental para entender e solidificar os conhecimentos a respeito das interações entre a REM e os solos;
2. os constituintes mineralógicos são fatores que influenciam significativamente as alterações das curvas espectrais, manifestando-se na forma de bandas de absorções;
3. o espectroradiômetro FieldSpec Pro FR mostrou-se eficiente para a medição do fator de reflectância em nível de laboratório;
4. as curvas espectrais obtidas foram coerentes com as análises pedológicas, salientando a influência de cada constituinte em sua respectiva faixa espectral de atuação;
5. a técnica pedagógica do ensino sobre as interações energia x matéria através do envolvimento dos alunos num experimento didático comprovou produzir resultados significativamente positivos, demonstrados pelo nível de envolvimento demonstrado pelos alunos, bem como pela excelente abordagem teórica-prática, condizente com o aprofundamento de conhecimentos em pós-graduação.

6. Referências bibliográficas

- ASD (Analytical Spectral Device Inc.) FieldSpec[®] FR Portable Spectroradiometer. [on line]. <http://www.asdi.com/asdi_t2_pr_sp_fsp.html> Julho, 2002.
- 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.
- Bowers, S.A.; Hanks, R.J. Reflectance of radiant energy from soils. *Soil Science*, 100 (2): 130-139. 1965.
- 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, n.12, p.2447-2460, dez. 2000.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília. 1999. 412 p.
- Epiphanyo, 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. Comportamento espectral de quatro solos do estado de São Paulo nos níveis orbital, de campo e de laboratório. São José dos Campos. 140 p. (INPE-2878-TDL/144). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983.
- _____, A. R. Interação da radiação eletromagnética com os solos. In: Formaggio, A.R.; Tardin, A.T.; Rudorff, B.F.T.; Assunção, G.V.; Epiphanyo, 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).
- Grove, C.I.; Hook, S.J.; Taylor, E.D. Laboratory reflectance spectra of 160 minerals, 0.4 to 2.5 micrometers. Pasadena : National Aeronautics and Space Administration, 1992. 355p.
- Irons, J.R.; Weismiller, R.A.; Petersen, G.W. Soil reflectance. In: Asrar, G. (ed.) *Theory and applications of optical remote sensing*. New York, John Wiley, p.66-106. 1989.
- 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.
- Moreira, M.A. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação*. São Jose dos Campos, 2001.
- Slater, P.N. *Remote sensing: optics and optical systems*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1980. 575p.

Steffen, C. A.; Moraes, E. C. SPECTRON SE-590 – Manual de Referencia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7, Curitiba, 1993. Anais. São José dos Campos: INPE, 1993. p. 2-12.

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