

Comportamento espectral dos solos em uma vertente da bacia do rio Sucuri, Mata de São João - BA

Diêgo Pereira Costa ¹
Deorgia Tayane Mendes de Souza ¹
Washington de Jesus Sant'anna da Franca Rocha ¹

¹Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS
Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente
CEP 44036-900 – Feira de Santana – BA, Brasil
{costapdiego, deorgiasouza.geo, francarocha}@gmail.com

Abstract. According to Demattê et al. (1995), the study of the spectral reflectance characteristics of soils in Brazil has a recognized theoretical and methodological field already recognized by Soil Sciences. However, Sousa Junior et al. (1995) emphasize that studies of reflectance spectroscopy of the soils applied to its genesis and evolution in the landscape need further research. In this context, the objective of this research was to investigate the occurrence of minerals present in soils of a slope in the Sucuri River Basin (BA), from the analysis of spectral behavior measurements. It was adopted methodological trajectories applied effectively in studies of soil systems, such as: literature review; field work to collect soil samples in three different profiles; treatment of the samples and measurement of the spectral characteristics following the protocols of Epiphânio et al. (1992) and Ben Dor et al. (2015); processing of the spectral curves and; identification of mineralogy and construction of a spectral library. As a result, the minerals Caulinite, Nacrite, Goethite and Hematite were identified in the profiles 1 and 2 with the occurrence of iron oxides in horizons B and C, and in the profile 3 Caulinite was identified throughout the profile. It was possible to infer relations of the mineralogy with the morphological characteristics of the soils, as well as the identification of the occurrence of Petroplintita by the high intensity of absorption in the VNIR. The study of spectral behavior of soils has proved to be an adequate tool to support the research proposed in this study, considering the results obtained.

Palavras-chave: remote sensing, mineralogy, spectral reflectance, landscape.

1. Introdução:

Na perspectiva de auxiliar as técnicas convencionais de caracterização dos solos e gerar novos produtos para interpretação, surgem as análises pedológicas com auxílio dos processamentos digitais e do sensoriamento remoto. Este conjunto de técnicas possibilita a obtenção de dados e informações da superfície terrestre, através da energia eletromagnética refletida pelos diferentes alvos e captadas por diferentes sistemas sensores, sendo estes orbitais ou de laboratório (JENSEN, 2009).

O sensoriamento remoto oferta, dentre às inúmeras ramificações científicas, possibilidades de análises ambientais, no contexto da pedologia e da geografia. Para tanto, o conhecimento sobre as medidas radiométricas obtidas nos levantamentos de campo ou das análises de laboratório permitem identificar os níveis de reflectância da radiação eletromagnética de cada alvo terrestre, tais como: solo, rocha e vegetação (MENESES, 2001), isso eleva a importância das discussões sobre a radiometria espectral no âmbito das pesquisas relacionadas à aplicação do sensoriamento remoto (MENESES, 2001).

Segundo Demattê *et al.* (1995), o estudo do comportamento espectral dos solos no Brasil já possui corpo teórico e metodológico reconhecido dentro da pedologia, a exemplo dos trabalhos de Madeira Netto (1996), Epiphânio *et al.* (1992), Demattê (1995), Baptista (2006). Esses estudos enfocam temáticas que variam desde a fertilidade, classificação, até problemáticas de degradação dos solos. Todavia, Sousa Junior et al. (2008) destaca que os estudos referentes a gênese e evolução dos solos na paisagem são poucos desenvolvidos.

Portanto, este estudo objetivou, a partir das possibilidades ferramentais da espectroscopia de reflectância e de técnicas analíticas no estudo da paisagem, investigar a ocorrência dos

minerais presentes nos solos de uma vertente da Bacia do Rio Sucuri-BA, em diferentes compartimentos geomorfológicos, a fim de subsidiar estudos de evolução pedogenética dos solos na vertente.

2. Materiais e Métodos

Os estudos do comportamento espectral dos solos associados aos métodos de análise integrada da paisagem nortearam os percursos desta pesquisa, haja vista que as técnicas de sensoriamento remoto apresentam sensores com potencialidades de grande impacto e interesse para as análises dos sistemas pedológicos, principalmente com os recentes avanços dos espectrômetros imageadores e dos radiômetros (BAPTISTA, 2006; MADEIRA NETTO, 1996).

Os procedimentos metodológicos realizados para alcançar os objetivos propostos encontram-se sintetizados em etapas. Eles evidenciam trajetórias metodológicas aplicadas com eficiência no estudo dos sistemas pedológicos e ambientais. Viscarra-Rossel *et al.* (2008) discutem que as bibliotecas espectrais se constituem como um requisito inicial de fundamental importância para a descrição e quantificação dos atributos dos solos.

1ª Etapa - Fundamentação Teórica: realizou-se uma revisão bibliográfica acerca de temas interessantes à pesquisa, como a análise integrada da paisagem, a espectrorradiometria dos solos, a relação solo-paisagem e a importância dos estudos das vertentes para o entendimento dos processos pedogenéticos.

2ª Etapa - Trabalho de campo: foi efetivado um trabalho de campo (FIGURA 1), com o objetivo de realizar a amostragem dos solos, em que foram coletadas doze amostras de solos, uma para cada horizonte, de três perfis em posições distintas na paisagem. As amostras foram devidamente georreferenciadas, com o auxílio de um GPS *Garmin MAP*, para posterior análise espectral.



Figura 1. Trabalho de campo na bacia do Rio Sucuri – BA.
Fonte: Selma Bastos, 2016.

3ª Etapa - Tratamento das amostras e medição de laboratório: a determinação do comportamento espectral dos solos, foi feita por meio de medidas em laboratório com um espectrorradiômetro *ASD FieldSpec 4*, que abrange o intervalo de 350 a 2500nm, com resolução espectral de 3nm em 700nm e 8nm em 1400/2100nm. O preparo das amostras consistiu em secagem na estufa a 45° por 24 horas e o peneiramento em malha de 2mm, conforme Epiphânio *et al.* (1992). As medidas espectrais seguiram o protocolo proposto por Ben-Dor *et al.* (2015), com o aquecimento prévio do espectrorradiômetro e das lâmpadas, por 60 minutos e as leituras com a sonda foram por contato direto com as amostras (FIGURA 2), em um suporte fixo, alcançando assim, melhores resultados.



Figura 2. Sonda em contato com as amostras.
Fonte: Diêgo Pereira Costa, 2016.

4ª Etapa - Processamento das curvas espectrais: as curvas espectrais obtidas foram processadas através do *software ViewSpec Pro*, com o objetivo de reduzir os ruídos. Posteriormente, as curvas espectrais foram processadas pelo *software The Spectral Geologist-TSG*, objetivando a identificação de minerais, em que o *software* realiza a comparação das assinaturas espectrais das amostras coletadas com aquelas encontradas em bibliotecas espectrais de minerais de referência.

5ª Etapa – Construção de uma Biblioteca Espectral e solos: consistiu na análise dos espectros de refletância das amostras de solos de uma vertente na Bacia do Rio Sucuri, para, sobretudo, caracterizar, de forma geral, a mineralogia dos solos. Segundo Bellinaso (2009), as bibliotecas espectrais facilitam a criação de equações para estimar os atributos dos solos, funcionando como uma ferramenta mais rápida, eficaz, menos onerosa e de baixo impacto ambiental na análise das amostras de solos.

3. Resultados e discussões

Foram descritos três perfis, que se localizam em uma vertente da Bacia do Rio Sucuri, no município de Mata de São João, estado da Bahia. Buscou-se realizar amostragens em solos típicos de ambientes de intenso intemperismo, que expressam resultados de processos pedogenéticos característicos das áreas litorâneas. Conforme a figura 3, o perfil 1 localiza-se no topo da vertente, nas coordenadas 609055W e 8619613S em 57m de altitude, o perfil 2 situa-se na encosta da vertente, nas coordenadas 608919W e 8619427S em 37m de altitude e o perfil 3 encontra-se no sopé da vertente, nas coordenadas 608831W e 8619265S em 30m de altitude.

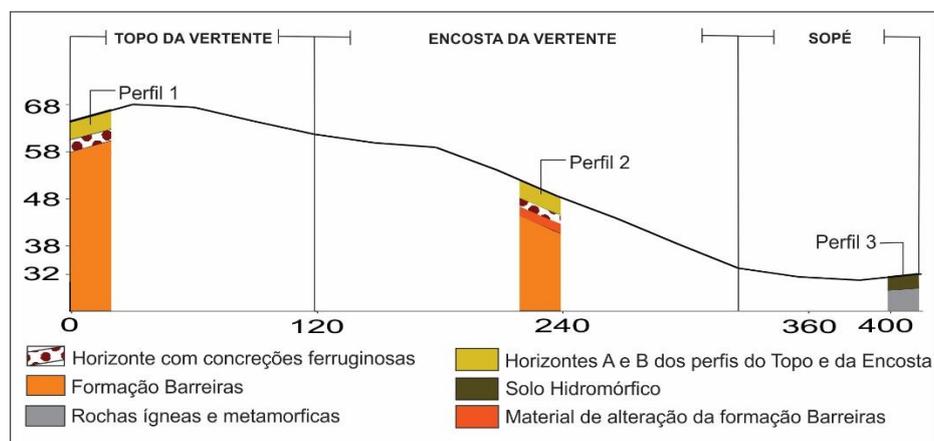


Figura 3. Ilustração da vertente analisada, com a identificação dos compartimentos geomorfológicos e a posição dos perfis na paisagem;
Elaboração: Diêgo Pereira Costa.

De acordo com as constatações de campo, a vertente possui 420m de comprimento, amplitude altimétrica de 27m, arenitos oriundos da formação Barreiras que dão origem aos solos do topo e da encosta, e no sopé rochas ígneas e metamórficas. Fez-se possível identificar a ocorrência de um horizonte com concreções ferruginosas nos solos do topo e da encosta e um solo hidromórfico no sopé da vertente.

No perfil 1 (FIGURA 4), constatou-se seis horizontes distintos, com picos de absorção nos mesmos comprimentos de onda, porém com albedos e intensidades de absorção variadas, o que revela informações de granulometria dos materiais, de presença de matéria orgânica e de ocorrência e abundância de minerais específicos (DALMOLIN et al., 2005; BAPTISTA, 2006; MADEIRA NETTO, 1996).

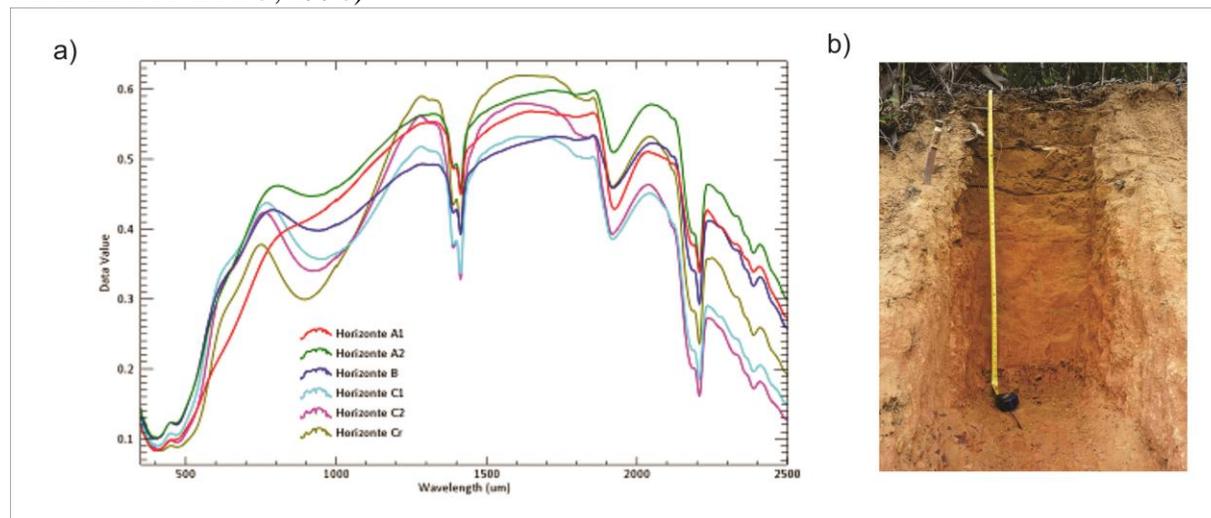


Figura 4. a) curva espectral do perfil 1; b) Imagem do perfil 1;
Fonte: Diêgo Pereira Costa, 2016.

Os principais picos de absorção do perfil 1 são verificados entre os comprimentos de onda 476-486nm, 920-960nm, 1390nm, 1414nm, 1916-1921nm, 2182nm, 2207nm, 2266nm, 2316nm, 2356nm, 2384nm, 2446nm. A assertiva de que este perfil de solo possui um padrão espectral, com picos de absorção na mesma faixa do espectro de reflectância, revela uma condição de evolução pedogenética deste solo, traduzindo informações mineralógicas que possibilitam inferir a ocorrência de uma mesma mineralogia por todo o perfil descrito e de outros minerais alterados em horizontes mais intemperizados.

O horizonte A1, devido à influência da matéria orgânica, apresenta uma redução do albedo por todo o espectro de reflectância, visto que, de acordo com Dalmolin et al. (2005), à medida em que aumenta o conteúdo de matéria orgânica, reduz-se a intensidade de reflectância por todo o espectro. No horizonte A2, mais transicional e resultado da translocação da argila, verifica-se uma alta intensidade de reflectância por todo o espectro, em função do material mais grosseiro e pelo conteúdo de quartzo (DALMOLIN et al., 2005). O horizonte B possui uma granulometria mais fina, com intensidade de reflectância reduzida por todo o espectro e picos de absorção menos intensos. Os horizontes C1 e C2 são resultados da alteração dos arenitos da formação Barreiras somados com a alteração das concreções ferruginosas do horizonte Cr, o que representa intensas absorções no VNIR, dado o conteúdo de óxidos de ferro.

O software TSG identificou nos horizontes A1 e A2 ocorrência dos minerais Caulinita e Nacrita, nos horizontes B, C1 e C2 os minerais Caulinita, Nacrita e Goethita, e no horizonte Cr contactou a presença de Nacrita, Caulinita, Hematita e Goethita.

No perfil 2 (FIGURA 5), verifica-se a ocorrência dos picos de absorção nos mesmos comprimentos de onda, porém com diferenciações muito pronunciadas com relação à profundidade de feição dos picos de absorção.

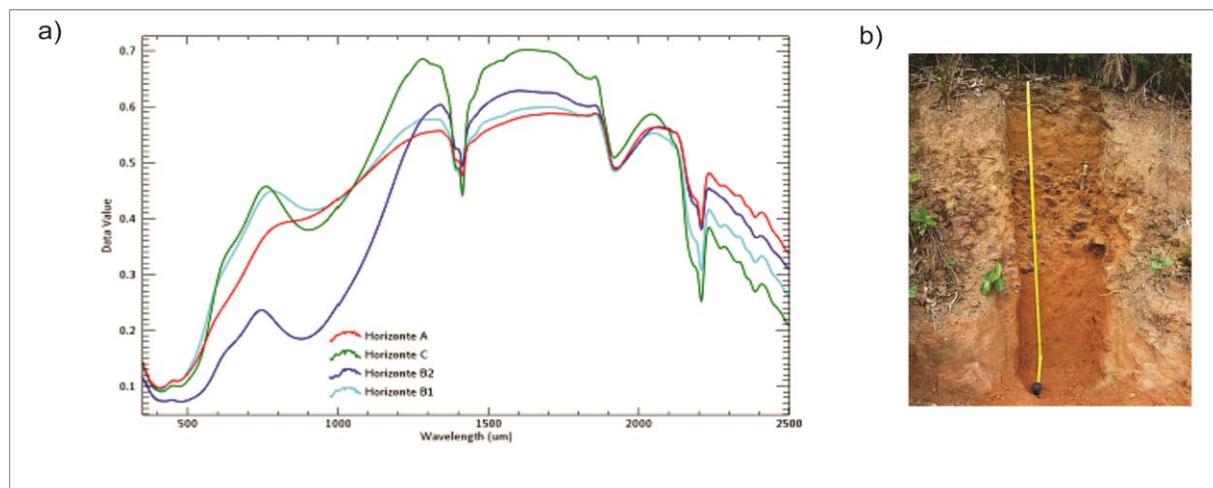


Figura 5. a) curva espectral do perfil 2; b) Imagem do perfil 2;
Fonte: Diêgo Pereira Costa, 2016.

O horizonte A apresenta menor intensidade de reflectância na região espectral do VNIR e maior intensidade de reflectância no SWIR, isso se dá pela influência da matéria orgânica que mascara as feições dos óxidos de ferro no VNIR e pela ocorrência de um material grosseiro que eleva o albedo no SWIR. O horizonte B1, por ser o mais argiloso e homogêneo, apresenta picos de absorção bem definidos e albedo reduzido, principalmente no SWIR. No horizonte B2, constatou-se a presença de concreções ferruginosas, o que acentuou o pico de absorção no VNIR. No horizonte C, material de alteração dos arenitos da formação Barreiras, fez-se possível identificar albedo elevado por todo o espectro eletromagnético, resultado da elevada quantidade de minerais de quartzo presentes nesse horizonte.

Os principais picos de absorção do perfil 2 são identificados nos comprimentos de onda 423nm, 480-499nm, 900-935nm, 1392nm, 1414nm, 1918nm, 2180nm, 2208nm, 2269nm, 2317nm, 2358nm, 2383nm e 2448nm. Para esses picos de absorção, o *software TSG* identificou no horizonte A os minerais Caulinita e Nacrita, no horizonte B1 os minerais Caulinita Nacrita e Goethita, no horizonte B2 os minerais Caulinita, Nacrita e Hematita, e no horizonte C Caulinita, Nacrita, Hematita e Goethita.

O perfil 3 (FIGURA 6) apresenta um mesmo padrão espectral, está localizado sob rochas ígneas e metamórficas e é produto da dinâmica de sedimentação e transporte dos canais de drenagem.

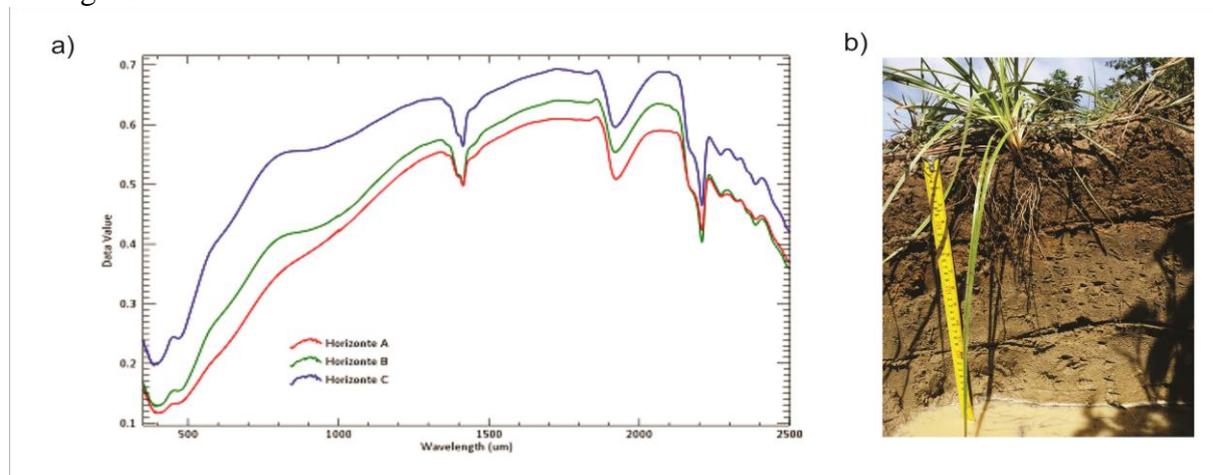


Figura 6. a) curva espectral do perfil 3; b) Imagem do perfil 3.
Fonte: Diêgo Pereira Costa, 2016.

No perfil 3, fez-se possível destacar que os picos de absorção se mostram muito alinhados em todos os horizontes, sendo essa uma característica relevante, visto que esses solos possuem influências de deposição de materiais pelos fluxos d'água, dada a proximidade do canal de drenagem, o que deveria provocar alterações no pronunciamento dos picos de absorção por todo o espectro, porém não ocorre neste perfil. Os horizontes A e B apresentam-se muito semelhantes, sendo que o horizonte B apresenta albedo levemente superior no espectro eletromagnético. O horizonte C, mais arenoso, apresenta uma alta intensidade de reflectância em toda a curva espectral.

Os principais picos de absorção do perfil 3 são verificados nos comprimentos de onda 414nm, 477nm, 964nm, 1397nm, 1414nm, 1922nm, 2170nm, 2208nm, 2269nm, 2318nm, 2358nm, 2384nm e 2447nm. O *software TSG* identificou apenas a ocorrência do mineral Caulinita para todos os horizontes deste perfil.

Para um melhor entendimento as interpretações de ocorrência dos minerais identificados no TSG estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Minerais identificados no TSG e as suas devidas interpretações de ocorrência no ambiente

Minerais identificados	Interpretações de ocorrência destes minerais nos solos da vertente
Caulinita	A caulinita é um mineral do tipo 1:1, de maior abundância nos solos brasileiros. Fez-se possível identificar a caulinita em todos os horizontes dos perfis de solo analisados. Possui fórmula química $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, configurando-se como um dos minerais de menor alteração para os ambientes de muito intemperismo, visto que ainda apresenta moléculas de silício em sua estrutura cristalina (BAPTISTA, 2006). Bandas de hidroxilas centradas em 1400nm e 2200nm, fraca banda de água em 1900nm e sutil banda em 400nm 1000nm referente ao íon ferroso, variando de acordo com o tamanho das partículas (EPIPHÂNIO et al., 1992)
Nacrita	A Nacrita é um mineral do grupo das caulinitas. De acordo com a biblioteca espectral da USGS, a Nacrita possui absorções pronunciadas, principalmente, nos comprimentos de onda 1383nm, 1413nm, 2185nm, 2205nm, 2255nm, 2305nm, 2355nm e 2386nm
Goethita	A Goethita é um óxido de ferro hidratado e possui fórmula química $FeO(OH)$. Nos solos analisados, a goethita é verificada nos horizontes superiores às concreções ferruginosas e/ou no horizonte C dos perfis de solos do topo e da encosta. Isso ocorre devido a concentração de água acima dos horizontes mais duros e menos porosos, ocorrendo a formação deste tipo de mineral. Nos espectros a Goethita apresenta, principalmente, picos de absorção em 1700nm, 650nm, 480nm e 435nm (EPIPHÂNIO et al., 1992).
Hematita	A Hematita é um óxido de ferro e possui fórmula química Fe_2O_3 . Neste estudo, identificou-se a Hematita nos horizontes com concreções ferruginosas denominadas de Petroplintitas. Essas, configuram-se como o endurecimento irreversível da plintita (EMBRAPA, 2006), devido à alternância de períodos muito úmidos e secagem. A Hematita possui feições de absorção em 885nm, 650nm, 530nm e 445nm (EPIPHÂNIO et al., 1992).

4. Conclusões

Com a análise do comportamento espectral, fez-se possível identificar a ocorrência da mineralogia nos solos analisados. Isso é relevante nas análises pedológicas, visto que permite o entendimento do desenvolvimento dos solos e da alteração mineralógica ao longo dos perfis descritos.

A ocorrência da Petroplintita foi identificada com facilidade por meio dos picos de absorção muito intensos na região espectral correspondente à ocorrência das Hematitas. Para a Geografia, os estudos acerca das Petroplintitas podem responder questões de gênese e evolução das paisagens.

Ademais, o estudo do comportamento espectral dos solos mostrou-se uma ferramenta valiosa para o cumprimento do objetivo proposto neste estudo, haja vista que se constituiu em uma técnica de baixo custo, sem impactos ambientais e com resultados rápidos e satisfatórios.

Agradecimentos

Aos meus orientadores Deorgia Tayane Mendes de Souza e Washington de Jesus Santana da Franca Rocha pelos momentos de orientação teórica e metodológica. Ao laboratório de Espectrorradiometria, do Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, da Universidade Estadual de Feira de Santana, pelas análises realizadas. Por fim, à Jessica da Mata Lima e Selma Barbosa Bastos pelo apoio no trabalho de campo.

Referências Bibliográficas

- Baptista, G. M. M. **Sensoriamento Remoto Hiperespectral: o novo paradigma nos estudos de solos tropicais**. Brasília: Universa, 2006.
- Bellinaso, H. **Biblioteca espectral de solos e sua aplicação na quantificação de atributos e classificação**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- Clark, R. N. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy In: RENCZ, A.N. **Manual of remote sensing**. New York: John Wiley, 1999. p.3-58.
- 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.
- Demattê, J. A. M. **Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1995.
- Epiphanyo, J. C. M.; Formaggio, A. R.; Valeriano, M. M.; Oliveira, J. B. **Comportamento espectral de solos do estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992.
- Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- Madeira Netto, J. S. Spectral reflectance properties of soil. **Photo Interpretation**. Paris, v. 34, p. 59-70, 1996.
- Meneses, P. R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. (Orgs.) **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília(DF): Embrapa Serrados, 2001.
- Sousa Junior, J.G.A.; Demattê, J.A.M. Genu, A.M. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.32, n.2, pp. 727-738, 2008.
- Viscarra Rossel, R.A.; Jeon, Y.S.; Odeh, I.O.A.; McBratney, A.B. Using a legacy soil sample to develop a mid-IR spectral library. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, n.1, p. 1-16, 2008.