

Classificação de solos de várzea por meio de equações discriminantes obtidas com a utilização de dados de sensoriamento remoto espectral

Marcelo Luiz Chicati¹
Marcos Rafael Nanni¹
Everson César¹
Roney Berti de Oliveira¹
Franciéle Romagnoli¹
Everton da Silva Neiro²

¹ Universidade Estadual de Maringá - UEM
Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900 - Maringá - PR, Brasil
mlchicati@yahoo.com.br
mrnanni@uem.br
eversoncezar@yahoo.com.br
roneyberti@yahoo.com.br
franciele_romagnoli@hotmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS
Ant. Estrada para Faz. Campo Bom, Caixa Postal 112, CEP 79560-000 – Chapadão do Sul –
MS, Brasil
esneiro@ufms.br

Abstract. The objective of this work was to obtain parameters for classification of paddy soils using spectral data obtained by diffuse spectroradiometry. The soil samples used were collected in a wetland with a great variety of soil classes. These were subjected to chemical and physical analysis for classification, and also spectral analyses to discrimination of classes. Spectral data were statistically analyzed for development of discriminant equations that could characterize the soil classes. There were seven distinct classes of soil in the field, which are classified with different levels of success, according to the equations generated by the statistical system discriminatory. A test procedure for the model was also applied, obtaining values of success under other existing work, however, acceptable to the unique conditions found in this area.

Palavras-chave: discriminant equations, soil classification, diffuse spectroradiometry, spectral data.

1. Introdução

No Brasil, estudos relativos ao comportamento espectral dos solos e sua possível aplicabilidade visando o aumento de eficiência produtiva ainda são escassos. Aliado a isso, essa modalidade de estudo carece de informações sobre sua aplicação em diferentes condições ambientais às quais podem estar sujeitas as lavouras agrícolas (Chicati et al., 2008).

No caso de solos de várzea, esta carência é ainda maior, visto que trabalhos relacionados a este tema (Demattê, 1995, Nanni, 2000; Fiorio, 2002; Genú, 2006) abordam condições ambientais específicas e diferenciadas destas. As condições de formação, preparo e manejo destes solos em regiões com excesso de água levam os mesmos a apresentarem comportamentos e características bastante semelhantes entre si. No entanto, não existem estudos que representem de forma concreta a melhor maneira de se realizar um delineamento ambiental desses solos, ou seja, de quais as classes mais frequentes nessas regiões, sua distribuição geográfica e o melhor modo de exploração, quando possível.

Neste sentido, as técnicas de espectrorradiometria difusa apresentam-se como forma de obtenção de resultados confiáveis (Shepherd & Walsh, 2002), visando o manejo das propriedades dos solos de forma não destrutiva e podendo ser empregadas em estudos de curto ou médio prazo (Udelhoven et al., 2003; Viscarra-Rossel et al., 2006), além de viabilizar novos métodos de levantamento e mapeamento do meio alagável.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi à obtenção de parâmetros para classificação dos solos de várzea utilizando-se de dados espectrais obtidos por espectrorradiometria difusa.

2. Material e Métodos

A área de estudo localiza-se na região noroeste do estado do Paraná - Brasil, estando compreendida na Área de Proteção Ambiental (APA) Federal das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná, instituída por decreto S/nº em 30 de setembro de 1997. Nela, a área piloto delimita-se pelas coordenadas UTM, no meridiano 51º W.G., 238 – 252 km e 7428 – 7438 km do Equador, com área total de 59,5 km². A geologia desta área situa-se na “Unidade Rio Paraná” e tem forma fortemente assimétrica, sendo três as associações faciológicas presentes: 1) cascalho polimítico arenoso; 2) areia estratificada e seixosa; e 3) lama arenosa. (Stevaux, 1994).

A grade de amostragem de solos em campo foi definida por meio de fotointerpretação, conforme metodologia descrita por Nanni & Rocha (1997), utilizando-se de fotografias aéreas pancromáticas verticais do ano de 1996 em escala 1:50.000 e observações de imagens orbitais Landsat – ETM órbitas ponto 223/076 e 224/076, a partir do ano de 2001 para melhor caracterização do uso das terras, segundo Embrapa (1996).

Após a definição da grade de amostragem, foi realizada a coleta dos dados em campo com a utilização de sistema GPS, para localização dos pontos. A descrição, coleta do material e o método de trabalho de campo, seguiram os critérios estabelecidos por Lemos & Santos (1996). Com auxílio de trado do tipo holandês foram coletados 72 pontos amostrais em campo, perfazendo uma densidade de aproximadamente 1 ponto de coleta a cada 90 m².

As amostras coletadas foram encaminhadas ao laboratório de análises de solo onde foram determinados os teores de areia total, silte e argila foi utilizada metodologia do densímetro (Camargo et al., 1986), e também os teores de matéria orgânica (MO), acidez ativa e reserva, pH, capacidade de troca catiônica (CTC), bases trocáveis (cálcio, magnésio, potássio) (S), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) utilizando-se metodologias preconizadas por Embrapa (1997). Os grupamentos texturais dos solos foram definidos conforme Embrapa (2006).

O procedimento de coleta de dados radiométricos ocorreu em ambiente devidamente preparado para leituras espectrais, onde as amostras foram submetidas à avaliação em espectrorradiômetro FieldSpec Pro com resolução espectral de 1 nm entre 350 e 1.100 nm e 2 nm entre 1.100 e 2.500 nm. A geometria de aquisição dos dados utilizou-se de: Placa branca padrão com reflectância calibrada em 100%; campo de visada de 25º, com 7 cm de altura em relação à amostra na vertical; fonte de iluminação com inclinação de 62º em relação ao solo e 72 cm de distância entre a fonte e o alvo; lâmpada alógena de 600 W com refletor parabólico e feixe não colimado ligada em fonte estabilizadora de alta precisão com entrada de 220 V e saída regulada em 110 ±0,5 V de tensão nominal e 5,2 ampères . O procedimento de determinação da geometria de coleta de dados seguiu Demattê et al. (2005).

O primeiro procedimento para composição da planilha básica de dados que serviu às análises posteriores foi à seleção de bandas, conforme metodologia empregada por Nanni & Demattê (2006). Por este método, foram localizados os intervalos médios do comprimento de onda entre diferentes pontos, ou em algum único ponto destacado do espectro analisado (350 – 2500 nm), como demonstrado por Henderson et al.(1992), Madeira Netto (1993), Madeira Netto (1996) e Demattê & Garcia (1999).

O segundo procedimento de avaliação dos dados espectrais foi realizado por meio de valores obtidos no cálculo da diferença entre os valores de fator de reflectância centrados no menor ponto de inflexão (bandas de absorção) e o seu ponto seguinte de maior alcance, também chamado de crista. Esses intervalos foram chamados, tal como Nanni & Demattê (2006), de inflexões de diferença de reflectância (Reflectance Inflection Difference ou RID).

A partir desta análise que determinou os pontos como RID, ou alturas, obteve-se 12 valores representativos para as curvas espectrais.

Da mesma forma, como as análises dos comprimentos espectrais para bandas e alturas, outros dois procedimentos foram realizados visando à obtenção de parâmetros que pudessem melhor explicar as diferenças de comportamento entre as curvas dos diferentes solos analisados (Chicati, 2010). O primeiro método foi à obtenção do valor da tangente do ângulo formado pelo ponto inicial da curva espectral e seu ponto de máxima reflexão (Figura 1a). O segundo método levou em consideração a área formada pela inflexão de dois pontos distintos na curva espectral, sendo estas a inflexão da água em 1900 nm (A1) e a inflexão da caulinita em 2265 nm (A2), comuns a todas as amostras analisadas neste estudo (Figura 1b).

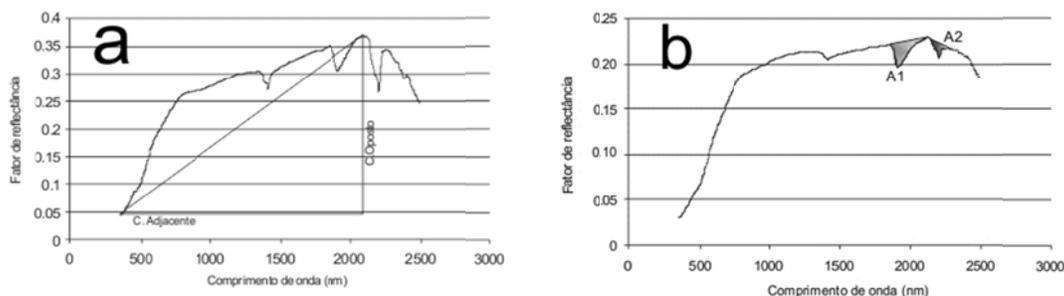


Figura 1 – (a) Metodologia para obtenção do referencial de tangente ($tg = c. \text{oposto} / c. \text{adjacente}$); (b) Metodologia para determinação das áreas utilizadas nas análises discriminantes dos solos.

Esta área foi determinada com auxílio de mesa digitalizadora e do software SPRING (INPE, 2009) para a realização do cálculo. Cada curva espectral foi plotada em papel e devidamente delimitada, do ponto de crista anterior à inflexão até o próximo ponto de crista, passando pela própria inflexão.

Para o estabelecimento de variáveis de representatividade superior e que pudessem ter maior expressão na produção de modelos que viessem a explicar o problema proposto, foi utilizado o procedimento STEPDISC do programa SAS (SAS, 2002). Para que não houvesse nenhuma tendenciosidade na análise, utilizou-se o procedimento de avaliação de colinearidade das variáveis por meio da utilização da função STEPWISE do software SAS.

Definidas as variáveis mais significativas, utilizou-se então o procedimento DISCRIM do software SAS para o cálculo do nível de participação de cada variável na predição das classes de solo. Dessa forma, foi gerado o modelo de classificação dos solos e, este, foi avaliado pela reclassificação das observações utilizadas para gerá-lo. Para avaliação da análise discriminante, foi realizada uma simulação onde 80% dos pontos amostrados foram utilizados para gerar um modelo discriminante que seria testado pelos 20% restantes dos dados. A escolha das proporções foi aleatória, ou seja, o sistema SAS escolheu aleatoriamente os componentes que fariam parte da análise discriminante (80%) e aqueles que seriam utilizados para testar os modelos obtidos (20%), sendo repetido tal procedimento por 50 vezes, tal como realizado também por Nanni (2000). Uma vez estabelecida a simulação, foi emitido o relatório que continha as tabelas geradas pelo Qui-quadrado para análise do erro parcial e global da análise.

3. Resultados e Discussão

A distribuição das classes de solo na área de estudos demonstrou predominância de solos jovens, com formação relativamente recente, considerando-se a geomorfologia local, além da ausência de processos intempéricos avançados. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), foram encontradas 7 classes de solo, dentro do segundo nível categórico, nesta área de estudos, sendo elas: Argissolos Vermelho-amarelos

(PVA), Neossolos Quartzarênicos (RQ), Neossolos Flúvicos (RY), Plintossolos Pétricos (FF), Cambissolos Háplicos (CX), Organossolos Háplicos (OX) e Latossolos Vermelho-amarelos (LVA).

A classe dos Argissolos Vermelho-amarelos (PVA) esteve presente na maior porção do terreno, sofrendo evidente processo de gleização ao longo do perfil, caracterizado principalmente pela coloração acinzentada observada. Os Neossolos Quartzarênicos (RQ) e Flúvicos (RY) observados apresentaram comportamento de solos hidromorfizados, com baixa atividade espectral de óxidos de ferro e albedo reduzido, mesmo com altos teores de areia. Os Plintossolos Pétricos (FF), característicos das regiões de várzeas, apresentaram notável influência espectral provocada pelo conteúdo de óxidos de ferro. Foi também observado baixo albedo das curvas espectrais devido ao carácter argiloso, além da atividade de minerais secundários. As classes Latossolo Vermelho-amarelo (LVA), Organossolo Háplico (OX) e Cambissolo Háplico (CX) corresponderam a porções menores da área de estudos, com comportamentos distintos, porém, de menor representatividade ao montante geral de amostras do terreno. Devido ao baixo contingente de indivíduos, foram também as classes com maiores índices de erro quanto à estimativa espectral dos atributos.

Por meio do procedimento STEPDISC foram selecionadas cinco variáveis (Tabela 1) que apresentaram maior relevância dentro do coeficiente de significância de 5% estabelecido para o sistema.

Tabela 1 – Variáveis estabelecidas pelo procedimento STEPDISC do SAS para discriminação das diferentes classes de solo

Bandas (B)	Alturas (h)	Tangente (tg)	Área (cv)
B9_HA ¹	h5_HA	tg_HA	- ³
B2_HB ²	h10_HB	-	-

¹ Horizonte superficial; ² Horizonte subsuperficial; ³ Ausente.

A homogeneidade observada nas análises espectrais ficou evidente no momento de definição das variáveis mais representativas, isto porque vários fatores contribuíram para a baixa diferenciação das amostras de campo como, por exemplo, a condição de umidade constante à qual a área de estudo encontra-se submetida, como descrito por Chicati (2007) ou a combinação comum de materiais originários dos solos ali presentes, relatada por Santos (1997) e Borges (2006).

Com as variáveis e classes de solo definidas foi então realizado o procedimento seguinte, com análises de regressão dos dados espectrais obtidos em laboratório, da mesma forma que Nanni (2000). Esse cálculo determinou as equações discriminantes para as diferentes classes de solo. As equações são apresentadas na Tabela 2.

A partir destas equações tornou-se possível a utilização de dados espectrais de solos para a determinação da classificação dos mesmos. Para tanto, os valores obtidos pelas leituras espectrais das amostras precisam ser separados nas devidas faixas espectrais estabelecidas neste estudo para que assim possam ser introduzidos às equações.

Dessa forma, utilizando-se dos dados espectrais obtidos por leituras espectrorradiométricas das amostras de solo, em todas as equações listadas na Tabela 2, espera-se ser possível a identificação da classe de solo pelo maior valor encontrado entre todas, assim como também proposto por Demattê (1995) e Nanni (2000). Esse procedimento de classificação tende a diminuir o tempo para obtenção de parâmetros que sejam úteis na caracterização de um solo, como já comentado por Nanni (2000a). Entretanto, como observado pelo mesmo autor, tais inferências devem ser limitadas às condições de trabalho ao qual este mesmo esteve submetido. A aplicabilidade de tal sistema de dados, porém, é importante mesmo na geração de uma visão preliminar para estudos de diferentes condições como observado por Demattê e Garcia (1999) e Demattê (1999).

Tabela 2 – Equações discriminantes obtidas pela análise espectral dos dados de laboratório

Classe	Equação
CX ¹	$-16531557 + 210,32379 B2_HB^8 + 89,48038 B9_HA^9 - 920,09829 h5_HA^{10} + 80,84191 h10_HB^{11} + 374,62529 tg_HA^{12}$
FF ²	$-172,96575 + 185,95625 B2_HB + 1011 B9_HA - 992,75888 h5_HA + 70,70206 h10_HB + 378,55184 tg_HA$
LV ³	$-200,84984 + 194,00283 B2_HB + 2295 B9_HA - 2283 h5_HA + 62,51960 h10_HB + 415,54321 tg_HA$
OX ⁴	$-162,77706 + 161,51684 B2_HB + 1006 B9_HA - 981,50440 h5_HA + 67,17360 h10_HB + 371,58116 tg_HA$
PV ⁵	$-181,09894 + 164,30594 B2_HB + 1067 B9_HA - 1020 h5_HA + 69,84721 h10_HB + 384,37594 tg_HA$
RQ ⁶	$-174,71465 + 176,66294 B2_HB + 771,51507 B9_HA - 767,32638 h5_HA + 108,73240 h10_HB + 370,97774 tg_HA$
RU ⁷	$-158,65646 + 172,55133 B2_HB + 994,35998 B9_HA - 966,72907 h5_HA + 64,09700 h10_HB + 361,36667 tg_HA$

¹Cambissolo Háplico; ²Plintossolo Pétrico; ³Latossolo Vermelho-Amarelo; ⁴Organossolo Háplico; ⁵Argissolo Vermelho-Amarelo; ⁶Neossolo Quartzarênico; ⁷Neossolo Flúvico; ⁸Banda 2 da camada subsuperficial; ⁹Banda 9 da camada superficial; ¹⁰Altura 5 da camada superficial; ¹¹Altura 10 da camada subsuperficial; ¹²Tangente calculada no horizonte superficial.

As classes com menores índices de acertos obtidos na análise discriminante foram os Plintossolos (FF) e os Neossolos Quartzarênicos (RQ), com valores de 33,33 e 40% respectivamente. No caso dos Plintossolos, a maior probabilidade de confusão já era esperada, uma vez que, as características intrínsecas à classe de solo, principalmente a condição de existência de horizonte plíntico, dificilmente seria identificada pela análise de dados espectrais. Dessa forma, observou-se que os indivíduos das classes dos Plintossolos foram confundidos com outras classes, devido ao possível comportamento espectral pouco definido.

As classes que apresentaram correspondência de 50% ou maior foram os Cambissolos Háplicos (CX), Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA), Organossolos Háplicos (OX), Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) e os Neossolos Flúvicos (RU). Dentre essas, a que apresentou os melhores índices de correlação foi a classe dos Organossolos, com 60% de acerto.

A distribuição do erro global obtido na análise discriminante é apresentada na Tabela 3. Nesta, observa-se que os valores de acertos são menores que os obtidos por Coleman e Montgomery (1990) e Demattê (1999), Entretanto, é importante lembrar também que os resultados destes autores foram obtidos em condições de solos semelhantes, seja pelo material originário ou condição atual de intemperização, enquanto este trabalho desenvolveu-se em condições diferenciadas, sob outras formações geológicas e ações climáticas.

Tabela 3 – Erro da análise discriminante para classificação dos solos

	CX	FF	LVA	OX	PVA	RQ	RU	Total ¹
Erro ²	0,5000	0,6667	0,5000	0,4000	0,4815	0,6000	0,5000	0,5212
P ³	0,1429	0,1429	0,1429	0,1429	0,1429	0,1429	0,1429	

¹ Valor total do erro da análise discriminante; ² Distribuição do erro por classe; ³ Probabilidade de participação na mesma classe.

Com o intuito de avaliar a confiabilidade do método empregado para discriminação das classes de solo foram estabelecidas aleatoriamente, conforme estabelecido por Nanni (2000), 80% dos indivíduos para geração do modelo e este foi testado pelos 20% restantes. Este teste foi repetido por 50 vezes com o objetivo de melhor caracterizar a eficiência do sistema e, pela utilização da função STEPWISE do SAS, eliminar possível influência de colinearidade entre os próprios dados.

Com a realização das 50 simulações pelo modelo testado no SAS, foram gerados 2850 resultados, sendo que 1362 destes obtiveram êxito e 1488 não. Esses dados são apresentados em seguida na Tabela 5.

Tabela 5 – Frequência de erros e acertos do modelo gerado para 80% das amostras

Correto	Frequência	Percentual	Frequência cumulativa	Percentual cumulativo
Não	1488	52,21	1488	52,21
Sim	1362	47,79	2850	100

Esse percentual de erro pode ser explicado pelo baixo número de repetições de amostras em algumas classes como, por exemplo, os Latossolos ou os Cambissolos com 4 amostras cada um. O modelo gerado pode ser considerado significativo, de acordo com o teste do Qui-quadrado para $p < 0,001$. O fato da não existência de outros trabalhos realizados sob esta ótica, e em ambiente semelhante, faz com que os resultados possam ser considerados satisfatórios, atingindo correlação dos dados estimados com os reais pelo coeficiente de determinação de 74%.

Para efetuar o teste deste modelo foram utilizados os 20% restantes de observações, ou seja, aquelas não utilizadas para geração do modelo. Para os dados simulados neste teste houve menor índice de acerto, sendo estes até nulos, como no caso da classe dos Latossolos. Foram obtidos os maiores valores de correlação para a classe dos Argissolos, com 50,74% de acerto das tentativas e os menores valores para a classe dos Latossolos, como dito anteriormente, sem nenhum acerto. Dentre o total de 700 tentativas, 458 não obtiveram êxito e 242 classificaram corretamente as classes de solo, acumulando assim um erro global de 65,43%, conforme a Tabela 6.

Sendo o teste realizado com número reduzido de indivíduos em relação ao total empregado no modelo, a análise demonstrou maior erro acumulado. Isso se deve ao fato de que nas condições de grande homogeneidade das amostras, quanto menor o número de indivíduos empregados no teste, maior tenderá a ser o erro, assim como também observado por Nanni (2000a).

Tabela 6 – Frequência de erros e acertos do teste do modelo gerado com 20% dos indivíduos

Correto	Frequência	Percentual	Frequência cumulativa	Percentual cumulativo
Não	458	65,43	458	65,43
Sim	242	34,57	700	100

Da mesma forma que os dados testados no modelo, os resultados dessa simulação também obtiveram significância baixa, em comparação a outros, como por exemplo os obtidos por Nanni (2000).

Da mesma forma que o modelo gerado com 80% dos dados, o teste dos 20% restantes apresentou baixa significância para o Qui-quadrado de $p < 0,001$, comparado a Nanni (2000a). Neste segundo momento da avaliação, a relação entre os dados reais e estimados apresentou r^2 de 53%, segundo o coeficiente de determinação.

4. Conclusões

A análise das curvas espectrais dos solos permitiu a caracterização das classes com base em diversos atributos, predominando solos de textura arenosa e levemente afetados por atividade de matéria orgânica e óxidos de ferro entre as classes; a discriminação das classes de solo pelos dados espectrais de laboratório foi realizada com sucesso; o modelo que testou o procedimento de discriminação das classes de solo apresentou valores baixos de acerto em relação à trabalhos anteriores, porém, representativos para as condições únicas da área de trabalho.

5. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa ao primeiro autor (Proc. n. 143399/2009-8) e bolsa produtividade (Proc. n.310948/2006-1) ao segundo autor.

6. Referências Bibliográficas

Barros, C.S. Dinâmica sedimentar e hidrológica na confluência do rio Ivaí com o rio Paraná, município de Icaraíma-PR. 2006. 69p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

Camargo, O.A.; Moniz, A.C.; Jorge, J.A. & Valadares, J.MAS. **Métodos de análise química mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. 94p.

Chicati, M.L. Caracterização dos solos na porção alagável de Querência do Norte e validação de um modelo de inundação por meio de sistema de informações geográficas. 2007. 126p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

Chicati, M.L. Avaliação espectral de solos em áreas alagáveis do noroeste do estado do Paraná. 2011. 178p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

Chicati, M.L.; Nanni, M.R.; César, E.; Demattê, J.A.M.; Oliveira, R.B. Caracterização de alguns atributos do solo e sua correlação com a paisagem em uma porção do noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, vol. 30, n. 5, p. 719-724, 2008.

Coleman, T. L.; Montgomery, O. L. Soil moisture, organic matter and iron content effect on the spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols in Alabama. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.53, p. 1659- 1663. 1987.

Demattê, J. A. M. Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas. 1995. 265p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-USP, Piracicaba, 1995.

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. **Procedimentos normativos para levantamentos pedológicos**. Brasília: EMBRAPA-CNPS, 1996.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 215p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.

Fiorio, P.R. Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos. 2002. 198p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-USP, Piracicaba, 2002.

Genú, A.M. Sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização e avaliação pontual e espacial de solos e seus atributos. 2006. 120p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-USP, Piracicaba, 2006.

Henderson, T. L.; Baumgardner, M. F. & Fransneier, D. High dimensional reflectance analysis of soils organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p. 865-872, 1992.

INPE. **Tutorial SPRING 5.0.6: SPRING básico**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009.

Lemos, R. C.; Santos, R. D. dos. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. Campinas: SBCS, 1996. 83p.

Madeira Netto, J. S. Étude quantitative des relations constituants minéralogiques - réflectance diffuse des latosols brésiliens: applications à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (région de Brasília). 1993. 236p. Tese (Docteur) - L'ORSTOM, Paris, 1993.

Madeira Netto, J.S.; Spectral reflectance of soil properties. **Photo Interpretation**. v. 34, p. 59-70, 1996.

Nanni, M. R. Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento dos solos. 2000. 366p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-USP, Piracicaba, 2000.

Nanni, M. R.; Rocha, H. O. Integration of GIS technology, remote sensing and multivariate analysis in the delimitation of physiographic units for pedological mapping. **Boletim IG-USP – Série Científica**, v. 28, p. 129-143. 1997.

Nanni, M.R.; Demattê, J.A.M. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p. 393-407. 2006.

SAS - INSTITUTE. **SAS, software: user's guide, version 8.2**. Cary, 2001.

Shepherd, K.D.; Walsh, M.G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p. 988-998, 2002.

Stevaux, J.C. The upper Parana river (Brazil): geomorphology, sedimentology, and paleoclimatology. **Quat. International**, v.21, p. 143-161. 1994.

Udelhoven, T.; Emmerling, C.; Jarmer, T. Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial least-square regression: A feasibility study. **Plant and Soil**, v.251, p. 319-329, 2003.

Viscarra-Rossel R.A.; Walvoort, D.J.J.; McBratney, A.C.; Janik, L.J.; Skjemstad, J.O. Visible, near-infrared, mid-infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, v.131, p. 59-75, 2006.