

## Resposta espectral na análise discriminante dos solos

Marcos Rafael Nanni<sup>1</sup>  
José Alexandre M. Demattê<sup>2</sup>  
Peterson Ricardo Fiorio<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Maringá - UEM  
Depto. de Agronomia - 87020-900 - Maringá - PR, Brasil  
mrnanni@uem.br

<sup>2</sup> Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ - USP  
Caixa Postal 09 – 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil  
jamdemat@esalq.usp.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná -UNIOESTE  
Caixa Postal 91 – 85960-000 – Marechal C. Rondon - PR, Brasil  
prfiorio@unioeste.br

**Abstract.** The objective of this study was to develop and test a discrimination soil class method by their spectral response (SR), using a laboratory sensor. Spectral data were used to develop statistical model to discriminate 10 soil classes in an area at the southwest of São Paulo State, Brazil. The spectral data (370 samples) were obtained in superficial and sub superficial soil. The analysis presented classification index higher than 85% for each soil class. The global classification index was 93.44% when most individuals classes were used. The method helped in the soil classes discrimination by their spectral reflectance, based on their physical interaction with electromagnetic energy.

**Palavras-chave:** linear function, reflectance of soils, spectroradiometry, soil mapping, soil classification. função linear, refletância dos solos, mapeamento de solos, classificação de solos.

### 1. Introdução

Os levantamentos pedológicos são, seguramente a melhor forma de se obter grande número de informações a cerca dos solos que, adequadamente manejadas, possibilitam aos usuários empregarem técnicas e estabelecerem planejamentos para que possam prolongar e até mesmo aumentar a capacidade produtiva de suas terras.

Estudar e colocar em prática tecnologias disponíveis, dentre as quais a análise do comportamento espectral dos solos por meio de sensores remotos, seria uma forma de contribuir com a avaliação dos solos. Muitos dos trabalhos desta área (Stoner & Baumgardner, 1981; Formaggio et al, 1996), vieram demonstrar a importância e a possibilidade de caracterizar os solos por sensores remotos ao nível terrestre (no campo ou laboratório). Por outro lado, e num passo seguinte, outros trabalhos demonstraram metodologias e/ou técnicas que efetivamente podem ser aplicadas no mapeamento (Andronikov & Dobroly'skiy, 1991).

A base de tais estudos está no fato de que cada solo apresenta uma assinatura espectral, devido a cada atributo nele presente, e que atua em determinado comprimento de onda (ou em todo o espectro eletromagnético). A possibilidade de que a resposta espectral possa auxiliar na discriminação de unidades de solos assenta-se no pressuposto de que cada classe apresenta características que a difere das demais e, portanto é taxonomicamente individualizada. Como

a resposta espectral dos solos também é uma característica individualizadora supõe-se que o uso desta variável possa separar as classes de solos e, portanto, auxiliar nos levantamentos pedológicos.

A análise discriminante apresenta-se como uma poderosa ferramenta para levantamentos dos solos (Webster & Oliver, 1990). Trabalhos, como Webster & Burrough (1974); Demattê & Garcia (1999) e Demattê & Nanni (2003) tem demonstrado a possibilidade de predizer classes de solos e/ou sua separabilidade na paisagem por meio da análise multivariada.

Levantamentos pedológicos e dos atributos dos solos tem sido conduzidos com grande contribuição do uso da análise discriminante como relatam Kravchenko et al. (2002) e Sinowski & Auerswald (1999).

A distribuição das propriedades dos solos na paisagem segundo Sinowski & Auerswald (1999) são controladas pelos fatores de formação tais como relevo, material parental, clima organismos e tempo. Da mesma forma acreditamos que as classes de solos podem ser consideradas como uma função de sua resposta espectral, representadas por faixas do espectro eletromagnético óptico, ou seja Classe de Solo= função de bandas espectrais dentro de um intervalo do espectro.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar um método para a discriminação das classes de solos a partir de suas respostas espectrais obtidas no nível terrestre (laboratorial).

## **2. Material e Métodos**

Localizada ao sudoeste do Estado de São Paulo, a área de estudo encontra-se delimitada pelas coordenadas geográficas 23°0'31,37'' - 22°58'53,97'' latitude sul e 53°39'47,81'' - 53°37'25,65'' longitude oeste na região denominada depressão paleozóica (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981). A área está situada na bacia hidrográfica do Rio Tietê, margeada pelo Rio Capivari com uma extensão de aproximadamente 198 ha, dos quais foram trabalhados 185 ha; o seu perímetro é de 11.045,80 m.

Geologicamente a área situa-se sobre a Formação Itararé, pertencente ao Grupo Tubarão. Esta formação apresenta litologias predominantes areníticas, de granulação heterogênea, com presença de arenitos feldspáticos e arcósios. Argilitos e folhelhos de colorações variadas, desde o cinza claro ao escuro, complementam a litologia desta formação e são de ocorrência freqüente. A região possui elementos eruptivos da Formação Serra Geral, compreendendo corpos intrusivos de mesma composição que os basaltos toleíticos.

Na a execução dos trabalhos cartográficos, utilizou-se o Sistema de Processamento de Informações Geocodificadas – SPRING (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999) com múltiplas funções e algoritmos para processamento de banco de dados georreferenciados. Neste sistema foi implementado um banco de dados para a incorporação das informações geoespacializadas advindas de cartas planialtimétricas na escala de 1:10.000, bem como das informações coletadas no campo por meio de GPS e de imagens orbitais, com a finalidade de produção de um mapa de solos na escala 1:25.000.

O levantamento pedológico da área foi realizado utilizando-se a abordagem sintética e analítica para delimitação das unidades de paisagem e estabelecimento das classes de solos na paisagem. Foi alocado um ponto de tradagem por ha (Wolkowski & Wollenhaupt, 1994) num total de 185 pontos, demarcados em forma de grade com 100 m de aresta, conforme Embrapa (1996). Inicialmente foram estabelecidos os pontos de observação e de tradagens e após foi realizada a delimitação das unidades de mapeamento. Cada ponto teve sua posição georreferenciada por meio do sistema DGPS (Diferential Global Positioning System).

Em cada ponto alocado no campo, foram coletadas amostras de solos representando os horizontes diagnósticos de superfície e subsuperfície. As profundidades de coleta variaram

para a superfície de 0 a 0,20 m, enquanto para o horizonte diagnóstico de subsuperfície, quando presente, foi de 0,80 a 1,00 m.

As amostras coletadas foram enviadas ao laboratório para análises físicas, químicas e mineralógicas sendo, inicialmente, secadas em estufa de ventilação forçada a 50°C por de 48 horas e peneiradas em peneira de 2 mm.

Os grupamentos texturais dos solos foram realizados conforme Embrapa (1999). Na determinação dos teores de areia total, silte e argila utilizou-se o método do densímetro (Camargo et al., 1986). Matéria orgânica (MO), acidez ativa e reserva, pH e capacidade de troca catiônica (CTC) foram determinados segundo Embrapa (1997). Bases trocáveis (cálcio, magnésio, potássio) (S), e os valores de saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), foram determinados conforme Raij & Quaggio (1989). Os teores de Fe total, Si e Ti foram determinados por meio de ataque sulfúrico conforme Embrapa (1997). A cor foi determinada pela carta de cores Munsell.

As classes de solos foram definidas após análise das amostras laboratoriais e da observação das características de perfis no campo. A descrição e coleta do material, e o método de trabalho seguiram os critérios estabelecidos por Lemos & Santos (1996). As classes de solos foram definidas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999).

Todas as amostras de terra fina secas em estufa, nas duas profundidades de coleta, foram acondicionadas em placas de Petri, com 9 cm de diâmetro, nas quais realizou-se leitura radiométrica, utilizando-se, em um ambiente controlado, o sistema IRIS – Infra-Red Intelligent Spectroradiometer – com uma resolução espectral de 2 nm (de 300 a 1.000 nm) e 4 nm (de 1.000 a 3.000 nm).

A geometria de aquisição dos dados foi realizada conforme Valeriano et al. (1995), resultando no fator de reflectância bidirecional espectral. Para cada amostra de solo, foram realizadas leituras em triplicata, rotacionando-se a placa de Petri em 90 graus. A resposta espectral de cada amostra refere-se à média das três leituras.

Em cada curva espectral registrada em laboratório, foram definidas 22 bandas espectrais ou intervalos de comprimentos de onda de duas maneiras. A primeira refere-se a média dos valores de reflectância em um certo intervalo de comprimento de onda em diferentes pontos do espectro analisado (400–2500 nm). Essa seleção baseou-se principalmente na observação das curvas espectrais médias de todos os solos, bem como na observação de bandas selecionadas por Henderson et al. (1992), Madeira Netto (1993, 1996) e Demattê & Garcia (1999), e estão indicadas na **Figura 1**. A segunda refere-se aos valores de fator de reflectância caracterizados por uma forte inflexão por se tratar de uma banda de absorção de elementos do solo já descritos e bem caracterizados como é o caso dos óxidos de ferro (481 nm), água e grupos OH (1417 e 1.927 nm), caulinita (2.206) e gibbsita (2.258 nm) nas bandas 2, 9, 14, 18 e 20, respectivamente (**Figura 1**).

Além das bandas espectrais, foram selecionados, para compor o banco de dados espectrais, os valores obtidos pela diferença entre o fator de reflectância da borda e o vale de bandas de absorção do espectro eletromagnético utilizado (**Figura 1**). Neste caso, foram selecionados 13 valores representando esta diferença de altura.

Na análise estatística dos dados foi utilizado o programa SAS Institute (1992). A matriz de dados utilizada na análise estatística foi composta por 22 bandas e 13 diferenças de altura do fator de reflectância para as duas camadas de solo amostradas em cada ponto de amostragem, num total de 70 variáveis. Para estabelecer as variáveis preditoras foi realizado inicialmente o procedimento STEPDISC do sistema SAS para a seleção entre as 22 bandas e 13 diferenças de alturas, quais poderiam ser adequadamente utilizadas.

Para diferenciação e caracterização dos solos, foi realizada a análise discriminante, com o objetivo de desenvolver e validar o método para a determinação da classe do solo a partir de

seus dados espectrais ou características analíticas. Neste caso a classe de solo avaliada torna-se função de suas respostas espectrais, ou seja: Classe de solo = f(bandas espectrais e alturas de inflexão).

Para tanto, foi utilizado o procedimento DISCRIM. Este procedimento segundo Afifi et al. (2004), possibilita por meio do sistema computacional SAS/STAT, a obtenção de coeficientes das equações discriminantes.

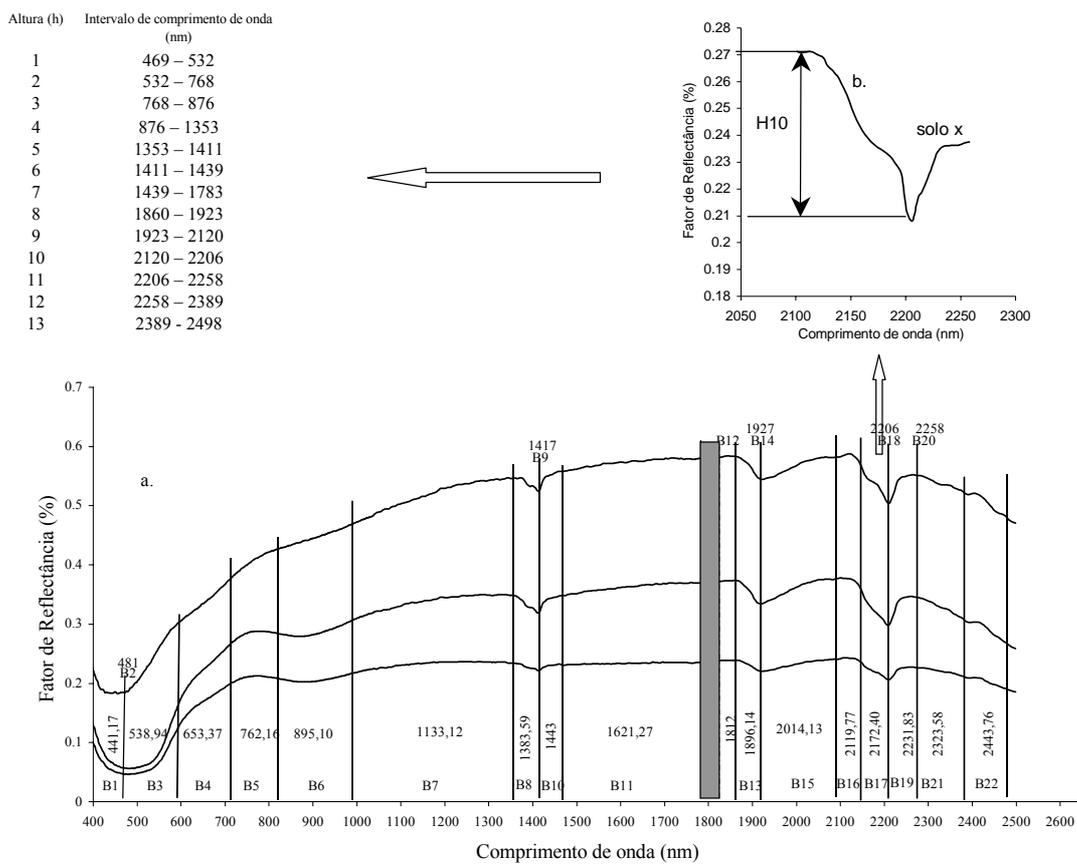
### 3. Resultados e Discussões

Foram definidas 18 classes de solos, sendo que deste total utilizou-se as 10 classes mais populosas. Presume-se que as classes que contivessem um número pequeno de indivíduos apresentassem menor amplitude ou variabilidade de atributos. Na área de estudo foram identificados, por exemplo, 31 indivíduos na classe Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico textura arenosa/média (PVAe1), enquanto na classe Neossolo Litólicos eutrófico chernossólicos e típicos (Rle2) foram encontrados apenas dois indivíduos.

As classes de solos avaliadas foram: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico textura arenosa/média (PVAe1); Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico textura média/ argilosa (PVAe2); Cambissolos Háplicos Ta eutrófico, lépticos, substrato folhelhos da Formação Itararé (CE2); Cambissolos Háplicos Tb distrófico e alumínicos, substrato retrabalhamento de arenito e saprolito de folhelho da Formação Itararé (CD1); Cambissolos Háplicos Tb distrófico (CD2); Chernossolo Argilúvico férrico saprolítico (MTfr); Latossolo Vermelho eutrófico típico (LVe); Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico (LVAe); Neossolos Flúvicos Tb distrófico típicos (RUd); Nitossolo Vermelho eutroférico (NVef1).

A área de estudo é dominada principalmente por Argissolos com 58,12 ha (31,12%), Latossolos, 39,60 ha (21,21%), Cambissolos, 36,92 ha (19,76%), Nitossolos, 19,08 ha (10,22%), Chernossolos, 12,76 ha (6,84%) e, finalizando, os solos Neossolos litólicos, 9,76 ha (10,22%) e Neossolos flúvicos, 10,52 ha (5,63%).

Das 70 variáveis estabelecidas, 39 foram selecionadas pelo procedimento STEPDISC do SAS Institute (1992) ao nível de significância de  $p < 0,001$ , cujas equações discriminantes, em cada classe de solo, obtidas pela análise de regressão com os dados de reflectância no sensor IRIS são apresentadas na **Tabela 1**.



**Figura 1.** a. Representação das 22 bandas escolhidas pela interpretação visual de uma série de curvas espectrais obtidas em laboratório; b. Representação gráfica da determinação da altura da curva espectral de um solo hipotético (x). H10: diferença entre o fator de reflectância da borda e do vale de uma banda de absorção no intervalo de 2120 e 2206. A região em cinza corresponde a um intervalo não utilizado na análise.

Como exemplo, tomemos a equação da classe RUD. A equação discriminante para esta classe será:

$$\begin{aligned}
 RUD = & -172,7 + 2143BD21\_HA - 4880BD17\_HA - 1077H7\_HA - 2734H1\_HA - \\
 & 48,1H4\_HB + 909,9H3\_HB - 3993BD22\_HB - 231,1H3\_HA - 769,2BD19\_HB - \\
 & 506,6BD4\_HB - 8152BD14\_HA - 2083H6\_HB + 1900BD21\_HB - 106,3H12\_HB + \\
 & 2458BD13\_HB + 672,5BD12\_HB - 554,3BD19\_HA + 770,8BD7\_HB + 1853H1\_HB + \\
 & 3321H11\_HB - 4104H11\_HA - 1256BD7\_HA - 275,5BD6\_HA + 1690BD5\_HA + \\
 & 286,4BD1\_HB + 578,4H2\_HB - 7532BD8\_HA + 9830BD13\_HA + 5603BD9\_HA + \\
 & 2220BD11\_HA - 1654BD17\_HB - 5159H10\_HB - 5853BD16\_HB - 3974BD8\_HB - \\
 & 1523BD11\_HB + 3390BD10\_HB + 350,3H13\_HB - 3229BD15\_HB - 428,5H9\_HB, \text{ em que} \\
 & \text{os valores de } BD1, BD2, \dots, B22 \text{ correspondem às faixas de comprimento de onda} \\
 & \text{selecionadas, e valores de } H1, H2, \dots, H13 \text{ correspondem às magnitudes das profundidades} \\
 & \text{das bandas de absorção selecionadas para as camadas superficial (HA) e subsuperficial (HB)} \\
 & \text{dos pontos amostrados.}
 \end{aligned}$$

Na utilização dos dados da **Tabela 1**, para um solo desconhecido, seus dados de reflectância deverão ser aplicados em todas as equações da Tabela. O solo cujo valor final for o maior valor resultante da equação terá maior probabilidade de ser da mesma classe que o do solo da equação. Isso torna viável a caracterização de solos de diferentes regiões do país, auxiliando numa identificação preliminar mais rápida, conforme Coleman & Montgomery

(1990), Demattê & Garcia (1999) e Demattê (1999). Segundo Gerbermann & Neher (1979), com uma coleção de dados de forma automatizada, podese consumir menos tempo na produção de mapas de solos do que com os métodos convencionais.

**Tabela 1.** Equações discriminantes para os solos das classes mais populosas da área de estudo.

	PVAe1	PVAe2	CE2	CD2	CD1	LVe	MTfr	LVAe	RUd	NVef1
Constante	147,9	117,9	92,8	140,5	123,5	87,2	-103,3	107,2	172,7	118,4
BD21_HA	1737	838,1	582,2	1556	1310	618,0	-319,6	761,5	2143	348,0
BD17_HA	3123	2030	2304	3423	2787	1823	-4,7	2256	4880	2726
H7_HA	445,9	1008	396,2	199,6	232,5	1129	1408	826,7	1077	1285
H1_HA	2570	2419	3070	2080	1833	2814	3249	3274	2734	2973
H4_HB	213,5	24,7	71,9	183,0	45,3	191,4	142,3	60,1	48,1	416,3
H3_HB	673,3	505,4	222,1	522,5	287,8	423,7	356,0	427,2	909,9	605,7
BD22_HB	2327	307,8	444,0	3332	2363	204,8	4229	126,4	3993	30,7
H3_HA	283,3	440,4	347,3	368,5	524,0	35,0	574,9	457,2	231,1	545,6
BD19_HB	452,1	934,2	33,2	136,3	508,5	342,4	1191	670,0	769,2	354,2
BD4_HB	775,3	424,0	61,5	485,6	654,0	458,4	90,7	182,2	506,6	480,2
BD14_HA	6161	5628	3800	5976	4271	4743	4251	4015	8152	4182
H6_HB	1714	1850	1195	1723	1130	1332	1498	926,2	2083	1765
BD21_HB	1011	111,6	140,7	1449	2214	10,2	3976	228,2	1900	262,0
H12_HB	297,3	989,3	1513	373,9	1009	1531	3887	1183	106,3	1761
BD13_HB	1366	1089	2145	1733	990,7	1915	1710	1211	2458	3445
BD12_HB	1270	842,8	511,5	1269	1430	918,9	4,12	769,9	672,5	545,3
BD19_HA	857,4	62,9	635,1	240,6	779,8	219,1	543,6	568,2	554,3	1422
BD7_HB	291,8	50,0	310,7	695,3	501,8	128,9	107,4	70,30	770,8	527,1
H1_HB	2134	1353	529,3	1554	1398	1392	705,0	791,9	1853	1334
H11_HB	1643	1632	248,9	1759	1722	354,5	1749	924,0	3321	26,4
H11_HA	2483	1954	2392	2288	3301	2282	1885	1853	4104	3286
BD7_HA	1695	1668	1474	1479	534,0	1510	1237	2145	1256	119,4
BD6_HA	410,3	417,2	96,1	214,9	450,7	272,2	112,1	227,7	275,5	1718
BD5_HA	1167	1030	1101	1166	1160	1482	924,3	1506	1690	1738
BD1_HB	1169	738,3	47,2	642,6	1300	1006	127,4	538,7	286,4	1170
H2_HB	1092	705,7	171,0	736,8	1038	944,9	291,5	513,0	578,4	923,9
BD8_HA	5185	4246	1989	4834	3707	2849	2447	2246	7532	2848
BD13_HA	6913	6566	4108	6829	5568	5480	4803	3995	9830	5183
BD9_HA	4572	3577	2580	4302	2247	2636	2334	2948	5603	2332
BD11_HA	1351	1034	671,2	1101	1604	926,1	634,4	1211	2220	1049
BD17_HB	1930	32,0	651,3	1429	474,0	960,1	1434	22,9	1654	3653
H10_HB	3521	1815	769,5	3341	1472	224,6	963,7	1002	5159	2187
BD16_HB	5989	1478	655,3	5102	3720	1259	2877	1627	5853	5075
BD8_HB	3839	1741	2406	4146	1857	2474	178,9	1644	3974	3615
BD11_HB	1588	1873	1935	1760	1992	1830	1953	2316	1523	2684
BD10_HB	3299	2285	2845	3589	2696	2397	1616	2573	3390	3734
H13_HB	1236	2431	1662	765,7	2141	1633	3394	1478	350,3	1041
BD15_HB	3614	1173	999,9	3591	3956	1198	1134	1900	3229	1328
H9_HB	1264	53,0	712,8	1004	1193	488,6	1907	181,3	428,5	1677

Houve porcentagem de acerto superior a 85% para a maioria dos solos (**Tabela 2**). Por exemplo, todas as amostras do NVef1 apresentaram valores semelhantes, não tendo se confundido com nenhum outro solo.

As maiores sobreposições ocorreram entre as classes CD1 e CD2 com as classes PVAe2 e PVAe1, respectivamente. A classe CD1 refere-se aos solos derivados de folhelho. O PVAe2

refere-se aos solos com textura média/argilosa derivados do retrabalhamento entre o arenito e o folhelho ou diabásio. Como em alguns pontos da área observaram-se argissolos pouco profundos, é justificável que possa haver confusão entre essas duas classes. O mesmo aconteceu com as classes CD2 e PVAe1. O CD2 refere-se a solos cuja diferença textural entre os horizontes A e B não foi suficiente para caracterizá-los como Argissolos, com textura areia/média, como é o caso dos PVAe1. Logo, neste caso, também é justificável certa confusão entre estas classes.

O erro global da classificação apresentou valor baixo, com 6,56% (**Tabela 2**). Este valor apresentou-se próximo à análise realizada por Demattê (1995, 1999) e bem melhor que as variações encontradas por Coleman & Montgomery (1990).

**Tabela 2.** Análise discriminante, número de observações e porcentagem de classificação dos solos, dentro de cada classe, utilizando-se as 39 variáveis para as 10 classes mais populosas da área de estudo.

Classe	Total de amostras	Correto		Erro <sup>(1)</sup>		Solo Confundido
		Amostras	(%)	Amostras	(%)	
RUd	11	11	100	0	0	_( <sup>2</sup> )
MTfr	14	13	92,86	1	7,14	LVe
CE2	9	9	100	0	0	-
CD1	7	6	85,71	1	14,29	PVAe2
CD2	15	13	86,67	2	13,33	PVAe1
LVe	20	18	90	2	10	LVAe
LVAe	9	8	88,89	1	11,11	LVe
PVAe1	31	28	90,32	3	9,68	RUd(1),CD2(1),PVAe2(1)
PVAe2	16	16	100	0	0	-
NVefl	14	14	100	0	0	-

<sup>(1)</sup>Erro global médio = 6,56%; <sup>(2)</sup> não existe.

#### 4. Conclusões

1. A análise estatística aplicada à resposta espectral das amostras obtidas no laboratório permite a discriminação dos solos.
2. A análise discriminante apresentou índices de acerto com valores acima de 85% dentro da classe de solo avaliada, sendo o acerto global de 93,44%.

#### Referências

- AFIFI, A.; CLARK, V.A.; MAY, S. **Computer-aided multivariate analysis**. Boca Raton: Chapman & Hall, 2004. 419p.
- ANDRONIKOV, V.L.; DOBROLV'SKIY, G.V. Theory and methods for the use of remote sensing in the study of soils. **Mapping Sciences & Remote Sensing**, v.28, p.92-101, 1991.
- CAMARGO, A.O. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas: IAC, 1986. 94p.
- COLEMAN, T.L.; MONTGOMERY, O.L. Assessment of spectral characteristics for differentiating among soil categories in the southeastern United States. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.52, p.1659-1663, 1990.

- DEMATTÊ, J.A.M. **Reflectância espectral de solos**. 1999. 452p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- DEMATTÊ, J.A.M. Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas. 1995. 265p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- 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.
- DEMATTÊ, J.A.M.; NANNI, M.R. Weathering sequence of soils developed from basalt as evaluated by laboratory (IRIS), airborne (AVIRIS) and orbital (TM) sensors. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, p.4715-4738, 2003.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Embrapa-CNPq, 1999. 412p.
- FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, J.C.N.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.467-474, 1996.
- GERBERMANN, A.H.; NEHER, D.D. Reflectance of varying mixtures of a clay soil and sand. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.45, p.1145-1151, 1979.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. Escala 1:1000.000.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Tutorial Spring**: spring básico. São José dos Campos, 1999.
- KRAVCHENKO, A.N.; BOLLERO, G.A.; OMONODE, R.A.; BULLOCK, D.G. Quantitative mapping of soil drainage classes using topographical data and soil electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.235-243, 2002.
- LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.
- MADEIRA NETTO, J.S. **Étude quantitative des relations constituants minéralogiques - réflectance diffuse des latosols brésiliens**: application à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (région de Brasília). Paris: Orstom, 1993. 236p.
- MADEIRA NETTO, J.S. Spectral reflectance properties of soils. **Photogrammetric Interpretation**, v.34, p.59-70, 1996.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1989. 40p. (Boletim técnico, 8).
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS software**: user's guide, version 6.0. Cary, 1992. 291p.
- SINOWSKI, W.; AUERSWALD, K. Using relief parameters in a discriminant analysis to stratify geological areas of different spatial variability of soil properties. **Geoderma**, v.89, p.113-128, 1999.
- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, p.1161-1165, 1981.
- VALERIANO, M.M.; EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; OLIVEIRA, J.B. Bi-directional reflectance factor of 14 soil classes from Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.16, p.113-128, 1995.
- WEBSTER, R.; BURROUGH, P.A. Multiple discriminant analysis in soil survey. **Journal of Soil Science**, v.25, p.120-134, 1974.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990. chap.9, p.147-167.
- WOLKOWSKI, R.P.; WOLLENHAUPT, N.C. Grid soil sampling. **Better Crops**, v.78, p.6-9, 1994.