

## **Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor EO-1/Hyperion**

Lênio Soares Galvão  
Antônio Roberto Formaggio  
Daniela Arnold Tisot

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{lenio, formag, dtisot}@ltid.inpe.br

**Abstract.** Hyperspectral data collected by the Hyperion instrument, on board the Earth Observing-1 satellite (EO-1), were evaluated for the discrimination of five Brazilian sugarcane varieties. A MODTRAN4-based method was used to convert radiance data into atmospherically corrected surface reflectance images. For the discrimination purposes, multiple discriminant analysis was applied over band reflectance values, ratios of reflectance, and several spectral indices potentially sensitive to changes in chlorophyll, leaf water and lignin-cellulose. Results showed that the discrimination of the cultivar SP80-1842 was done using a single near-infrared band threshold. Discrimination between the remaining four varieties (RB72-454, SP80-1816, SP81-3250, and SP87-365) with similar reflectance required discriminant analysis, which produced an overall classification accuracy of 87.5% with a hold-out set of pixels. Comparison of the ground truth image with the discriminant-derived classification image confirmed the good performance of the Hyperion data to differentiate sugarcane varieties in southeastern Brazil.

**Palavras-chave:** hypespectral remote sensing, Hyperion, sugarcane varieties, snesoriamento remoto hiperespectral, cana-de-açúcar, agricultura.

### **1. Introdução**

No Brasil, assim com em outros países produtores de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), diferentes variedades têm sido continuamente desenvolvidas e testadas com o objetivo de aumentar a produtividade, obtendo também variedades mais resistentes às doenças e melhor adaptadas às variações de clima, tipos de solos e técnicas de corte ou de manejo da cana.

As investigações de sensoriamento remoto em áreas de cana-de-açúcar têm abordado questões importantes como classificação e mapeamento (Tardin et al., 1992), manejo (Wiegand et al., 1996, Yang et al., 1997, Fiorio et al., 2000) e estimativa de produtividade (Rudorff e Batista, 1990). Entretanto, estudos no Brasil e em outros países para a discriminação de variedades de cana-de-açúcar são praticamente inexistentes na literatura.

O sensor hiperespectral Hyperion (242 bandas), a bordo do satélite Earth Observing-1 (EO-1), lançado em 1999, oferece a possibilidade de testar o uso desta tecnologia para a diferenciação de variedades de cana-de-açúcar. O uso deste instrumento (ou de similares) possibilita a aquisição de dados com resolução espectral suficiente para reconstituir bandas de absorção nos espectros dos pixels relacionadas com conteúdos de clorofila, de água nas folhas e de lignina/celulose, que podem ser parâmetros importantes na diferenciação das variedades de cana.

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso potencial de dados hiperespectrais coletados pelo sensor Hyperion em uma área de estudo localizada no Estado de São Paulo para a discriminação de cinco variedades de cana-de-açúcar (RB72-454, SP80-1816, SP80-1842, SP81-3250 e SP87-365).

## 2. Metodologia

A área de estudo, um retângulo de 7,6 km por 46 km, está localizada ao Sul do município de Franca (SP) entre as coordenadas 47°25'46''W/20°32'52''S (canto superior esquerdo) e 47°27'10''W/20°58'41''S (canto inferior direito). Os dados hiperespectrais foram coletados em 16 de julho de 2002 em 242 bandas (10 nm de largura) posicionadas no intervalo de 356 nm a 2577 nm. Entretanto, apenas 198 bandas foram fornecidas radiometricamente calibradas. A resolução espacial é de 30 metros.

Os dados de radiância foram convertidos para valores de reflectância de superfície, portanto corrigidos para os efeitos de espalhamento e absorção atmosférica, com o uso do aplicativo ACORN (Atmospheric Correction Now), que tem como base o modelo de transferência radiativa MODTRAN4 (Imspec, 2001). A técnica “minimum noise fraction” foi aplicada sobre as imagens reflectância de superfície para minimização de ruídos (Green et al., 1988; Apan et al., 2004). Bandas posicionadas em torno de 1400 nm e 1900 nm foram excluídas da análise subsequente de dados, devido à forte absorção atmosférica pelo vapor de água, que limita o uso destes dados mesmo após correção atmosférica.

Informações sobre a ocorrência espacial das cinco variedades de cana-de-açúcar estudadas (RB72-454, SP80-1816, SP80-1842, SP81-3250 e SP87-365) foram fornecidas pela Usina Batatais, localizada na área de estudo. A partir das imagens *reflectância de superfície*, foram selecionados 200 pixels para caracterizar a resposta espectral de cada variedade (40 pixels e 5 variedades). Visando diferenciar as variedades com maior similaridade espectral, análise discriminante múltipla foi aplicada, considerando como possíveis variáveis discriminatórias: a) valores de reflectância das bandas; b) razões de bandas; c) índices espectrais potencialmente sensíveis às variações de clorofila, água das folhas e lignina/celulose (**Tabela 1**). Os índices LWVI-1 e LWVI-2 (Leaf Water Vegetation Index), propostos neste estudo, são apenas uma variante do NDWI (Normalized Difference Water Index) de Gao (1996).

Um procedimento passo-a-passo, que procura maximizar a Distância de Mahalanobis entre os grupos mais similares, foi utilizado para selecionar um subconjunto de variáveis e produzir uma função discriminante adequada. Para o cálculo dos valores de profundidade de banda de absorção (**Tabela 1**), o método do contínuo espectral (Clark e Roush, 1984) foi aplicado. Para a obtenção do comprimento de onda equivalente a máxima taxa de variação espectral (*red edge*) no domínio da borda vermelha (691-763 nm), análise derivativa (método de Savitzky-Golay) foi utilizada (Tsai e Philpot, 1998).

Para validação, um conjunto de pixels (20 para cada variedade) não utilizado na obtenção da função discriminante foi testado para fins de classificação. Escores discriminantes também foram gerados pixel-a-pixel para a subsequente classificação destes pixels com base na distância Euclidiana para o centro dos grupos (valores médios dos escores de cada grupo). Uma máscara foi utilizada para comparar os resultados da classificação com os dados de verdade de campo.

## 3. Resultados e Discussão

A **Figura 1** mostra as curvas espectrais médias das cinco variedades de cana-de-açúcar estudadas, obtidas a partir dos dados coletados pelo sensor Hyperion. A transição da variedade de baixa reflectância (SP80-1842) para as de alta reflectância (p.ex., SP81-3250) coincide com a mudança na arquitetura de dossel, que tende a ser mais erectófilo para a variedade SP80-1842. De acordo com Jackson e Pinter (1986) e Pinter et al. (1985), dosséis mais erectófilos tendem a ter menor reflectância do que dosséis planófilos. Os maiores valores

de desvio-padrão (não mostrados no trabalho) foram verificados para as variedades SP80-1816 e SP81-3250.

Tabela 1 – Índices espectrais e parâmetros usados no estudo.

Variáveis	Equação/Método	Referência
1. Profundidade da banda de absorção em 671 nm (clorofila)	Contínuo espectral (limites em 569 nm e 763 nm)	Clark e Roush (1984)
2. Profundidade das bandas de absorção em 983 nm e 1205 nm (água das folhas)	Contínuo espectral (limites em 933 nm e 1094 nm; 1094 nm e 1286 nm)	Clark e Roush (1984)
3. Profundidade das bandas de absorção em 2103 nm e 2304 nm (lignina-celulose)	Contínuo espectral (limites em 2052 nm e 2214 nm; 2214 nm e 2385 nm)	Clark e Roush (1984)
4. Disease Water Stress Index (DSWI)	$(\rho_{803nm} + \rho_{549nm}) / (\rho_{1659nm} + \rho_{681nm})$	Apan et al. (2004)
5. Primeira derivada e posição da borda vermelha	Savitzky-Golay (691 nm a 763 nm)	Tsai e Philpot (1998)
6. Conteúdo de água	ACORN	Imspec (2001)
7. Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI)	$[(\rho_{701nm} - \rho_{671nm}) - 0.2(\rho_{701nm} - \rho_{549nm})] (\rho_{701nm} / \rho_{671nm})$	Daughtry et al. (2000)
8. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$(\rho_{864nm} - \rho_{671nm}) / (\rho_{864nm} + \rho_{671nm})$	Rouse et al. (1973)
9. Normalized Difference Water Index (NDWI)	$(\rho_{864nm} - \rho_{1245nm}) / (\rho_{864nm} + \rho_{1245nm})$	Gao (1996)
10. Leaf Water Vegetation Index (LWVI-1)	$(\rho_{1094nm} - \rho_{893nm}) / (\rho_{1094nm} + \rho_{893nm})$	Galvão et al. (este estudo)
11. Leaf Water Vegetation Index (LWVI-2)	$(\rho_{1094nm} - \rho_{1205nm}) / (\rho_{1094nm} + \rho_{1205nm})$	Galvão et al. (este estudo)
12. Photochemical Reflectance Index (PRI)	$(\rho_{529nm} - \rho_{569nm}) / (\rho_{529nm} + \rho_{569nm})$	Gamon et al. (1992)
13. Red-Edge Vegetation Stress Index (RVSÍ)	$((\rho_{712nm} + \rho_{752nm}) / 2) - \rho_{732nm}$	Merton e Huntington (1999)

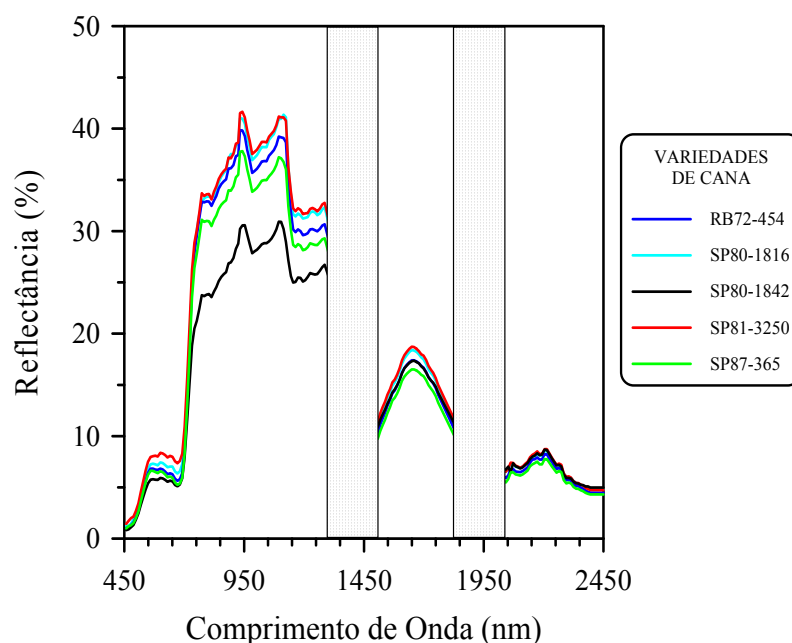


Figura 1 – Espectros de reflectância média das cinco variedades de cana-de-açúcar estudadas (40 pixels por variedade).

Conforme ilustrado na Figura 2, que mostra uma composição colorida falsa-cor da área de estudo (Figura 2a), a variedade SP80-1842 tende a exibir menores valores de reflectância no infravermelho próximo (Figura 2b), bandas de absorção mais profundas em 2304 nm (Figura 2c), bandas de absorção mais rasas em 1205 nm (Figura 2d) e menores valores do conteúdo de água calculado a partir das imagens (não mostrados). Em termos espectrais, este padrão sugere que uma quantidade maior de vegetação não-fotossinteticamente ativa foi detectada pelo sensor para o dossel da variedade SP80-1842.

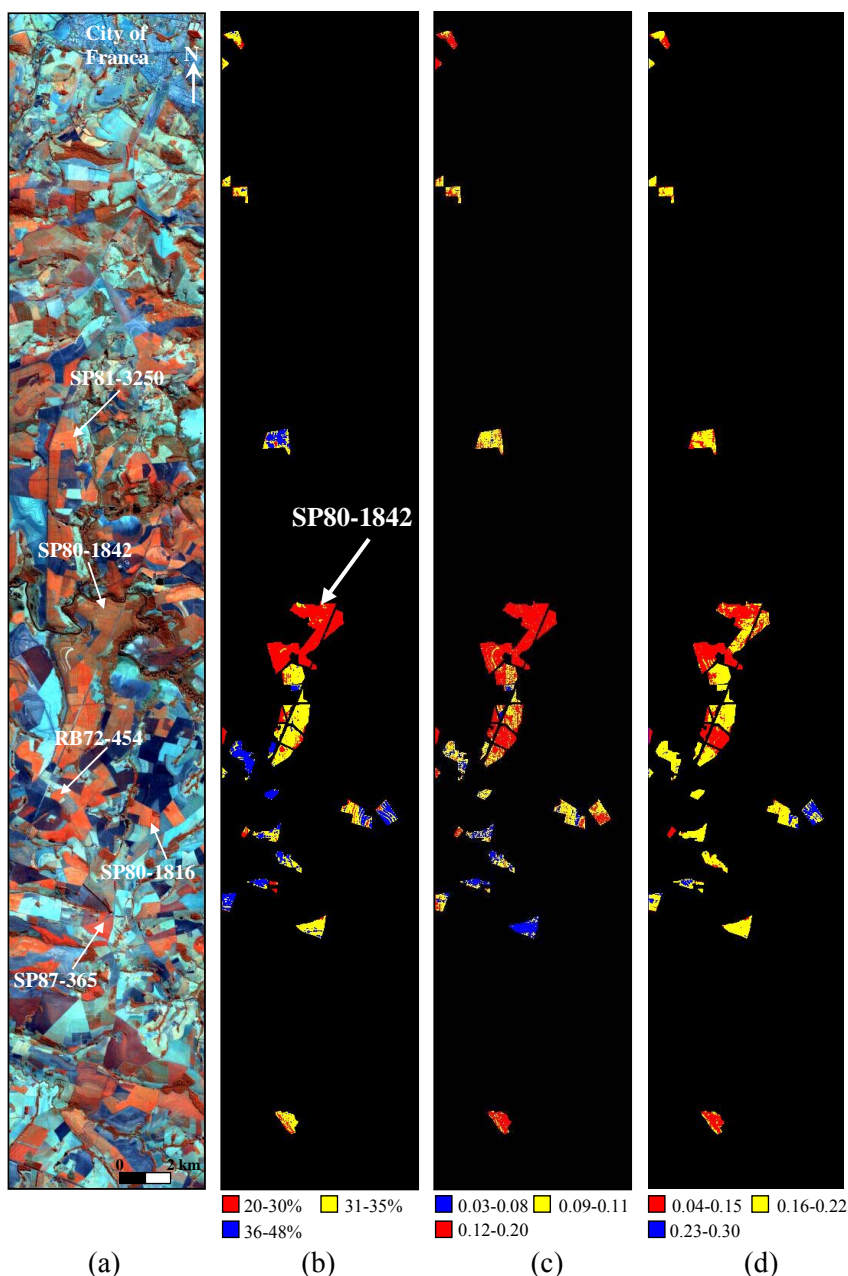


Figura 2 – (a) Composição colorida falsa-cor com as bandas do sensor Hyperion centradas em 864 nm (vermelho), 1649 nm (verde) e 2204 nm (azul) e áreas representativas das variedades indicadas; (b) Variações dos valores de reflectância de superfície em 864 nm; da profundidade das bandas de absorção posicionadas em (c) 2304 nm e em (d) 1205 nm são mostradas para máscaras aplicadas para representar áreas de cana-de-açúcar com informação de campo disponível.

Portanto, a discriminação espectral da variedade SP80-1842 na área de estudo pode ser facilmente feita com o uso de um limiar para identificar pixels com valores inferiores a 30% em 864 nm. A discriminação espectral das outras quatro variedades, com maior similaridade espectral, requereu o uso de análise discriminante. A **Figure 3** ilustra a projeção dos três escores discriminantes obtidos com o uso das seguintes variáveis selecionadas passo-a-passo: a) os valores de reflectância das bandas posicionadas em 651 nm, 722 nm, 813 nm, 1084 nm, 1124 nm, 1649 nm, e 2002 nm; b) as razões de reflectância 2355/2052 nm, 1750/478 nm, 1750/569 nm, and 1255/478 nm; c) a profundidade das bandas de absorção centradas em 671 nm (clorofila), 983 nm (água das folhas) e 2304 nm (lignina-celulose); os índices NDWI e DSWI. Conforme ilustrado na Figura 3, SP80-1816 e SP81-3250 tendem a mostrar uma maior variabilidade espectral.

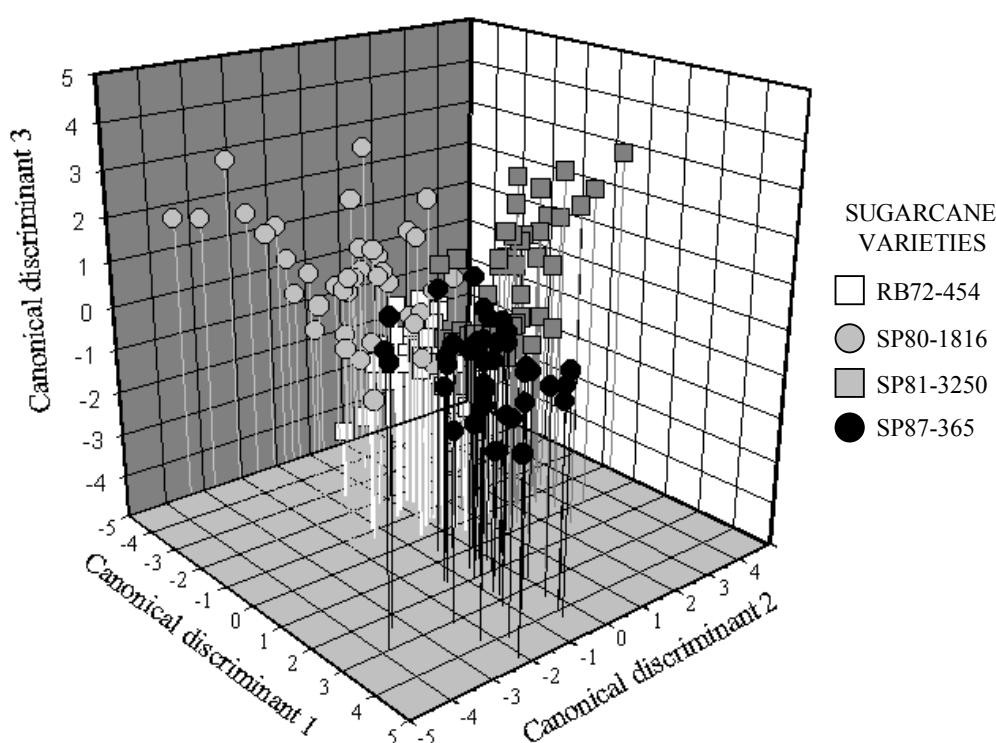


Figura 3 – Projeção dos escores sobre os eixos discriminantes para quatro variedades de cana-de-açúcar.

A validação da eficiência da função discriminante para diferenciar as variedades com um novo conjunto de pixels (20 por variedade) mostrou uma precisão total de classificação de 87,5%. O desempenho da função discriminante pode ser mais bem avaliado na **Figura 4**, que possibilita a comparação da verdade de campo (**Figura 4a**) com a classificação resultante da análise discriminante (**Figura 4b**). Em geral, os resultados da **Figura 4** confirmam o bom desempenho da função discriminante e dos dados hiperespectrais na discriminação das variedades. Os melhores resultados de precisão de classificação foram obtidos para as variedades SP87-365 (96%) e RB72-454 (86%), que apresentaram uma menor variabilidade no espaço discriminante da **Figura 3**. Por outro lado, as variedades SP81-3250 e SP80-1816 mostraram valores de precisão de classificação de 73% e 76%, respectivamente.

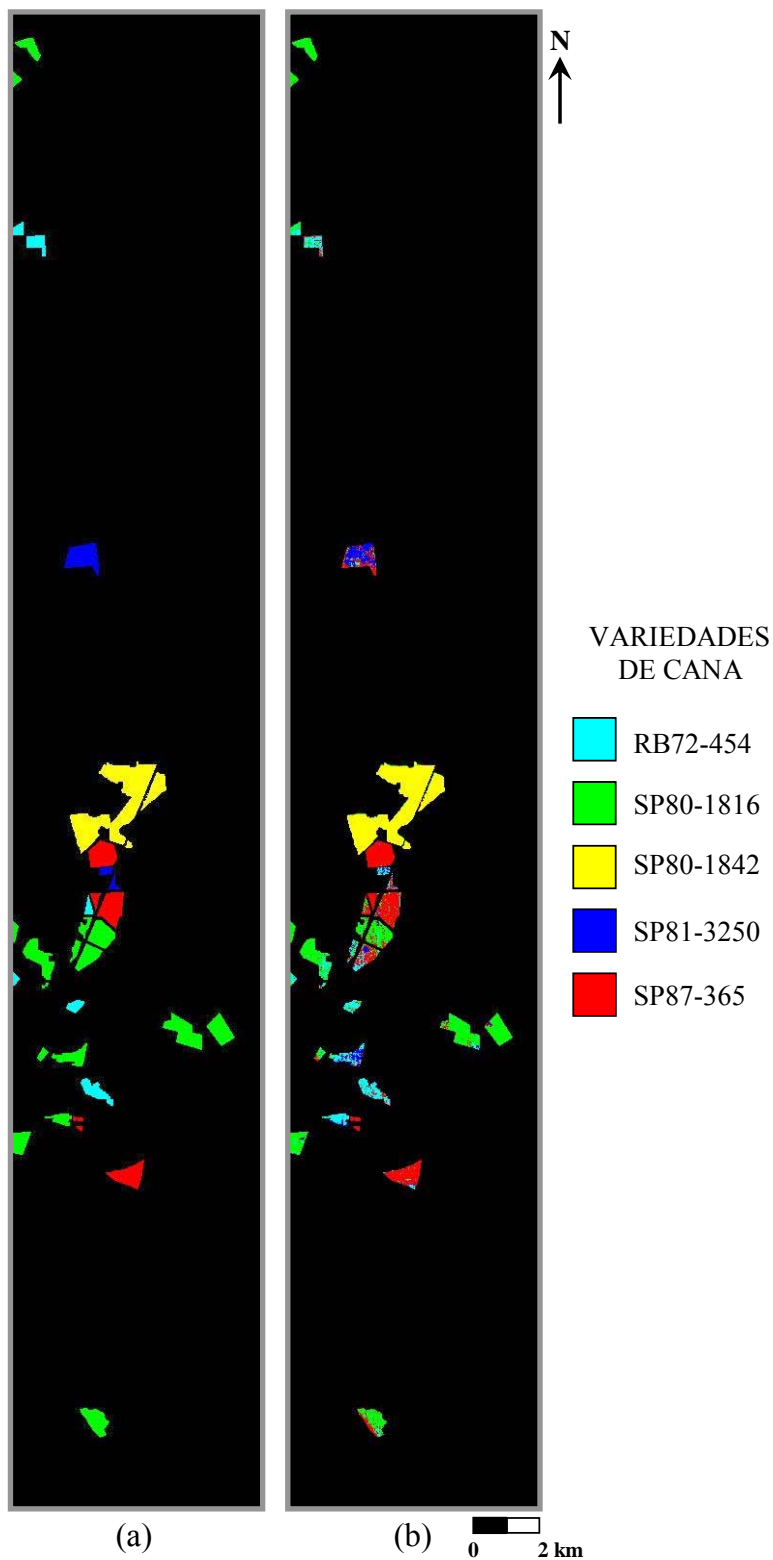


Figura 4 – (a) Distribuição espacial das cinco variedades de cana-de-açúcar estudadas; (b) Classificação obtida da função discriminante. A área de ocorrência da variedade SP80-1842, discriminada com o uso de um limiar na banda Hyperion posicionada em 864 nm, é indicada para referência.

#### 4. Conclusões

Usando valores de reflectância das bandas do sensor Hyperion, razões de reflectância e índices espectrais potencialmente sensíveis às variações no conteúdo de clorofila, água das folhas e lignina-celulose, a discriminação das cinco variedades de cana-de-açúcar pôde ser feita. Em comparação com as outras variedades, SP80-1842 apresentou uma menor reflectância média, bandas de absorção mais profundas em 2304 nm e mais rasas em 1205 nm, e uma menor quantidade de água detectada pelo sensor.

Na área de estudo, a discriminação da variedade SP80-1842 foi feita com o uso de um limiar para detectar pixels com valores de reflectância inferiores a 30% em 864 nm. A discriminação das outras quatro variedades estudadas, com maior similaridade espectral, requereu o uso de análise discriminante. Os melhores resultados de classificação, no âmbito das quatro variedades, foram obtidos para SP87-365 e RB72-454, que apresentaram uma menor variabilidade espectral na área de estudo.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Usina Batatais e à Copersucar União por fornecerem dados essenciais para realização desta pesquisa. Gostaríamos também de agradecer à Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI - Escritório Regional Agrícola de Franca), especialmente ao Engenheiro Márcio Fonseca Reis por sua assistência nas atividades de campo. Agradecimentos também são devidos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

#### Referências

- Apan, A.; Held, A.; Phinn, S.; Markley, J. Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 489-498, 2004.
- Clark, R. N.; Roush, T. L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research**, vol. 89, p. 6329-6340, 1984.
- Daughtry, C. S. T.; Walthall, C. L.; Kim, M. S.; Colstoun, E. B.; McMurtrey, J. E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, vol. 74, p. 229-239, 2000.
- Fiorio, P. R.; Demattê, J. A. M.; Sparovek, G. Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na microbacia hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 35, p. 671-679, 2000.
- Gamon, J. A.; Penuelas, J.; Field, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, vol. 41, p. 35-44, 1992.
- Gao, B. C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, vol. 58, p. 257-266, 1996.
- Green, A. A.; Berman, M.; Switzer, P.; ; Craig, M. D. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 26, p. 65-74, 1988.
- Haboudane, D.; Miller, J. R.; Tremblay, N.; Zarco-Tejada, P. J.; Dextraze, L. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, vol. 81, p. 416-426, 2002.
- Imspec, 2001. ACORNTM user's guide. Analytical Imaging and Geophysics. Boulder, CO, USA. 64 pp.
- Jackson, R. D.; Pinter, P. J. Spectral response of architecturally different wheat canopies. **Remote Sensing of Environment**, vol. 20, p. 43-56, 1986.
- Merton, R.; Huntington, J. Early simulation of the ARIES-1 satellite sensor for multi-temporal vegetation research derived from AVIRIS. In: JPL Airborne Earth Science Workshop, 8, 9-11 February, 1999, Pasadena, USA. **Summaries...** Pasadena, JPL Publication 99-17, p. 299-307, 1999.

Pinter, P. J.; Jackson, R. D.; Gausman, H. D. Sun-angle and canopy-architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 6, p. 1813-1825, 1985.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 Symposium, 3., 10-14 December, Washington, DC. **Proceedings...** Washington, NASA SP-351, pp. 309-317, 1973.

Rudorff, B. F. T.; Batista, G. T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological spectral models. **Remote Sensing of Environment**, vol. 33, p. 183-192, 1990.

Tardin, A. T.; Assunção, G. V.; Soares, J. V. Análise preliminar de dados TM para discriminação de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas, MG, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 27, p. 1355-1361, 1992.

Tsai, F.; Philpot, W.. Derivative analysis of hyperspectral data. **Remote Sensing of Environment**, vol. 66, p. 41-51, 1998.

Wiegand, C.; Anderson, G.; Lingle, S.; Escobar, D. Soil salinity effects on crop growth and yield: illustration of an analysis and mapping methodology for sugarcane. **Journal of Plant Physiology**, vol. 148, p. 418-424, 1996.

Yang, X. H.; Zhou, Q. M.; Melville, M. Estimating local sugarcane evapotranspiration using Landsat TM image and a VITT concept. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 18, p. 453-459, 1997.