

## Contribuição espectral do solo nos índices de vegetação

Fabício da Silva Terra<sup>1</sup>  
Dejanira Luderitz Saldanha<sup>2</sup>  
Eliana Lima da Fonseca<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP  
Caixa Postal 9 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil  
fsterra@esalq.usp.br

<sup>2</sup>Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento e Meteorologia - CEPARM/UFRGS  
Caixa Postal 15044 - 91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil  
dejanira.saldanha@ufrgs.br

**Abstract.** The aim of this work was to evaluate the soil spectral contribution and influence in the accuracy of the vegetation indexes and spectral variables under different canopy densities. In the orbital image, three sampling units were defined on the soil class with different spectral behavior. The image was processed and the vegetation indexes and spectral variables were calculated. It was applied the spectral mixing linear model (MLME) to estimate vegetation amount from the spectral data and to group the sampling unit pixels according to vegetable covering levels. After, relations between spectral information (indexes and variables) and background albedo variations were determined and the participation of the soil reflectance in the indexes and variables was estimated. Up until 50 % of the vegetable covering all vegetation indexes and spectral variables, except ND73, showed soil influence. With high canopy density (above 60 %) the soil effect was eliminated only in the ND53, ND73 and NDVI indexes.

**Palavras-chave:** spectral variables, background, canopy, vegetable covering, variáveis espectrais, substrato, dossel, cobertura vegetal.

### 1. Introdução

O fluxo da REM (Radiação Eletromagnética) solar incidente no dossel, em direção ao solo, e o consequente fluxo de energia refletida em direção ao sensor, não dependem somente das propriedades de espalhamento e de absorção dos elementos da vegetação, mas também da densidade e orientação espacial de seus constituintes (Ponzoni, 2001).

Além das características arquitetônicas, as propriedades de reflectância do dossel variam também conforme as propriedades de reflectância dos solos subjacentes, quantidades de fluxo de energia direta e/ou difusa incidente no dossel e segunda a variação do ângulo zenital solar que forma a geometria de visada do sensor (Jensen, 2000).

A irradiância que penetra no dossel irá interagir com esse e, dependendo da densidade vegetal ou da biomassa, pode também interagir com o substrato formado pelo solo. Estas interações tornam-se cada vez menores com o aumento da densidade até que a reflectância espectral corresponda apenas à parte superior do dossel. Portanto, a contribuição relativa espectral do solo, na formação do espectro do dossel, é inversamente relacionada à densidade vegetal ou biomassa (Tucker e Miller, 1977).

Alguns índices de vegetação têm efeitos adicionais atribuídos à irradiância no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo (NIR) devido ao grau de fechamento de dossel, em função do espalhamento e transmissão da radiação na estrutura interna (Huete, 1988). No interior de dosséis com cobertura menos densa, o espalhamento múltiplo da radiação é reduzido, sendo assim, a forma de distribuição espacial dos elementos da vegetação possibilita a interação do fluxo solar incidente com o solo e a reflexão do mesmo em direção ao sensor sem obstáculos (Ponzoni, 2001).

Estudos demonstram que, com a mesma cobertura vegetal, índices de vegetação obtidos por imagens orbitais apresentam maiores valores quando a vegetação está sobre solos de coloração escura e baixa reflectância, em relação à vegetação sobre solos com coloração clara e alta reflectância (Huete et al., 1985; Todd e Hoeffler, 1998).

Considerando que a REM proveniente do dossel vegetal, e detectada pelo sensor orbital, é resultante de um processo de interação entre diferentes componentes e que as propriedades do solo subjacente ao dossel têm importante influência no comportamento espectral da vegetação, torna-se importante o estudo da contribuição dos solos na acurácia dos índices de vegetação.

Sendo assim, os objetivos do trabalho são: a) avaliar a contribuição espectral dos solos nos índices de vegetação; b) determinar o limite de cobertura vegetal em que a reflectância dos solos contribui na formação do espectro do dossel; c) e determinar as bandas espectrais assim como os índices de vegetação mais afetados por esta contribuição.

## **2. Metodologia de trabalho**

A área de estudo é delimitada pelas coordenadas geográficas 31° 52' – 31° 20' latitude sul e 54° 11' – 53° 20' longitude oeste, abrangendo os municípios de Aceguá, Hulha Negra, Candiota, Bagé, Pinheiro Machado e Pedras Altas, no Estado do Rio grande do Sul.

Foram coletadas três amostras de solo a uma profundidade de 0 a 0,20 m, correspondentes à camada superficial (horizonte A), buscando representar uma variabilidade de substrato com relação a textura, teores de matéria orgânica e mineralogia predominante, fatores esses que afetam diretamente a intensidade de reflectância do solo. Os solos amostrados foram classificados como: Neossolo Litólico (RL), Argissolo Vermelho (PV) e Planossolo Háplico (SX). Em todos os pontos de amostragem foram obtidas as coordenadas geográficas com auxílio do aparelho GPS com precisão de 10 m.

Após a coleta, as amostras foram submetidas à análise de espectrorradiometria, realizadas com o equipamento FiledSpec modelo FR (3050-2500), conforme metodologia adotada e Demattê e Garcia (1999), incluindo a mesma geometria de aquisição de dados. Os valores de reflectância obtidos pela análise foram simulados para as bandas equivalentes do sensor ETM+ para fins comparativos com as informações orbitais.

Com relação aos dados orbitais, utilizou-se uma imagem Landsat 7, sensor ETM+, referente à órbita / ponto 222 / 82, correspondente à data 06/01/2003.

A imagem foi submetida ao processo de retificação geométrica tendo como base as cartas topográficas do exército com escala de 1:50.000 para a extração dos pontos de controle. Para o cálculo das novas coordenadas na imagem, utilizou-se um polinômio de transformação de segundo grau com o interpolador "vizinho mais próximo", obtendo um erro médio quadrático menor que um pixel (30 m).

Antes de proceder a correção atmosférica, a imagem precisou ser calibrada para valores de radiância espectral utilizando os coeficientes de calibração para o sensor ETM+. Após o processo de calibração, a imagem foi transformada para valores de reflectância de superfície tendo os seus dados corrigidos para os efeitos de absorção e espalhamento atmosférico. Para a correção atmosférica usou-se o módulo FLAASH, existente no programa ENVI 4.3, que incorpora o modelo de transferência radioativa MODTRAN 4 (Matthew et al., 2000).

Por meio de suas coordenadas, os pontos de amostragem foram posicionados na imagem orbital definindo assim as unidades amostrais. Cada unidade amostral corresponde a um conjunto de cinco pixels circundantes ao ponto de amostragem (coleta de solo) e, portanto, sobre a mesma classe de solo.

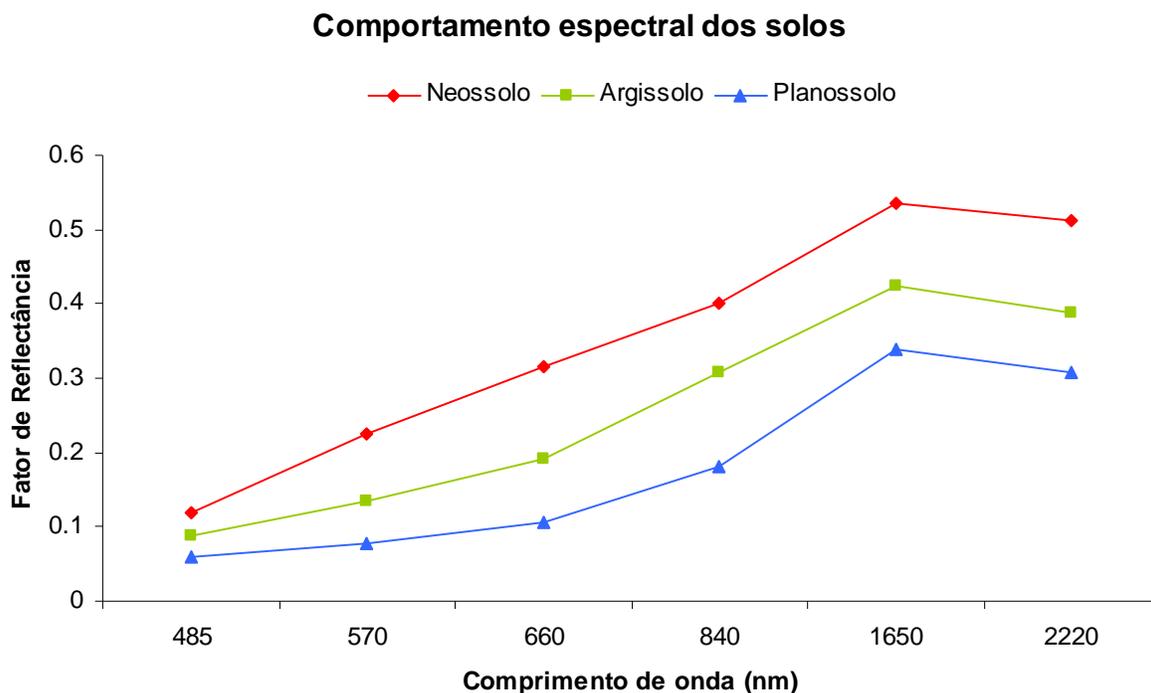
Sobre a imagem, aplicou-se o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para a determinação das proporções de vegetação, solo e sombra dentro de cada pixel (Shimabukuro e Smith, 1991). Para a estimativa de abundância de cada componente foi usado o método de Decomposição do Valor Singular (DVS), proposto por Boardman (1994). Tal processamento permitiu identificar e agrupar, para uma mesma unidade amostral, pixels com semelhantes proporções de cobertura vegetal. Foram utilizados pixels com as seguintes porcentagens de vegetação: 40 %, 50 % e 60 % de cobertura vegetal.

Para cada unidade amostral, calcularam-se os seguintes índices de vegetação: diferença normalizada entre as bandas 7 e 3 (ND73), e 5 e 3 (ND53) (Elvidge e Lyon, 1985); índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI); índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) (Huete, 1988); e variáveis espectrais oriundas da transformação Tasseled Cap (Brighness, Greenness, Wetness) (Crist e Kauth, 1986).

O teste de Tukey para comparação de médias foi aplicado aos índices de vegetação com a intenção de verificar, dentro de uma mesma porcentagem de cobertura vegetal, a existência de diferença significativa para o mesmo índice entre unidades amostrais, a um nível de significância de 5 %. Tal comparação possibilitou verificar a sensibilidade dos diferentes índices frente à influência do comportamento espectral do solo subjacente ao dossel.

### 3. Resultados e Discussão

Com base nos resultados da espectralradiometria, observou-se que a principal variação no comportamento espectral dos solos amostrados ocorreu nos valores de albedo (brilho), enquanto que a forma da curva não variou (Figura 1). Solos de textura arenosa, com mineralogia predominante de quartzo e pouca matéria orgânica, como o Neossolo, apresentam espectros com alta intensidade de reflectância. Os valores de brilho diminuem à medida que a textura torna-se argilosa, aumentam as quantidades de óxidos e o teor de matéria orgânica.



**Figura 1.** Fator de reflectância das amostras de solos simulados para o sensor ETM+.

A Tabela 1 apresenta a localização dos pontos de coleta de solo e relaciona unidades amostrais selecionadas, classes de solo subjacentes e diferentes níveis de cobertura vegetal.

**Tabela 1.** Relação entre as unidades amostrais e as classes de solo.

| Classe de Solo          | Coordenadas Geográficas | Unidade Amostral | Cobertura Vegetal |
|-------------------------|-------------------------|------------------|-------------------|
| Neossolo Litólico (RL)  | 31° 51' 19,01" Lat      | A                | 40 %              |
|                         | 54° 10' 7,65" Lon       |                  | 50 %              |
|                         |                         |                  | 60 %              |
| Argissolo Vermelho (PV) | 31° 24' 45,82" Lat      | B                | 40 %              |
|                         | 53° 58' 13,54" Lon      |                  | 50 %              |
|                         |                         |                  | 60 %              |
| Planossolo Háptico (SX) | 31° 37' 24,65" Lat      | C                | 40 %              |
|                         | 53° 37' 3,09" Lon       |                  | 50 %              |
|                         |                         |                  | 60 %              |

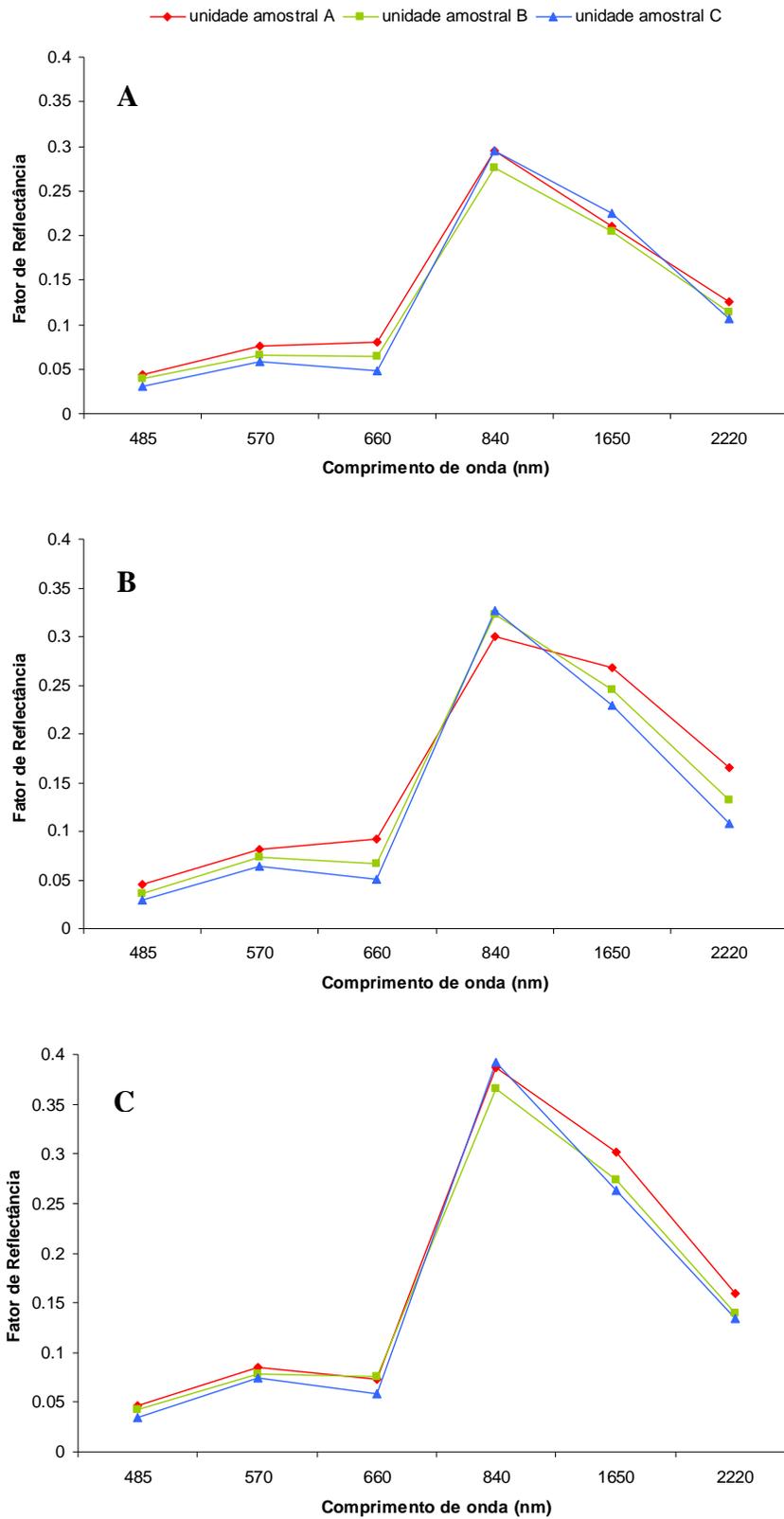
Nas unidades amostrais de menor densidade de vegetação, representadas pelos níveis de cobertura vegetal 40 % e 50 %, aumentou a participação do solo na composição da resposta espectral dos pixels principalmente nas bandas 3 e 7, que se mostraram mais sensíveis a variação de albedo dos substratos (Figura 2a e 2b). O comportamento destas bandas seguiu a mesma tendência observada nas amostras de solo (Figura 1), onde a unidade amostral localizada sobre a classe de solo de maior albedo apresentou os maiores valores de reflectância de superfície nas bandas 3 e 7, o inverso também foi constatado (Figuras 2a e 2b). Para dosséis em que a participação da fração solo é significativa na formação da reflectância, a banda 7 serve como um indicador da contribuição dos solos nas variações dos valores de reflectância da vegetação sobre os diferentes substratos, visto que especificamente esta banda é fortemente afetada pela variabilidade espectral dos solos (Huete et al., 1985).

Indiferente à contribuição espectral dos solos na formação dos valores de reflectância de superfície, todas as três unidades amostrais com nível de cobertura vegetal de 60 % apresentaram o mesmo padrão de comportamento espectral, com valores de reflectância muito próximos em todas as bandas, e característico da vegetação (Figura 2c). O aumento na densidade do dossel, em relação aos outros níveis de cobertura, proporcionou o aumento da reflectância na região do infravermelho próximo (banda 4) resultante da interação entre energia incidente com a estrutura foliar da planta (Jensen, 2000; Ponzoni, 2001).

Para os valores intermediários de vegetação com 40 % e 50 % de cobertura, os índices e as variáveis espectrais testadas, com exceção do ND73, apresentaram-se estatisticamente diferentes entre unidades amostrais, principalmente sobre os solos de maior (Neossolo) e menor (Planossolo) albedo das unidades amostrais A e C, respectivamente (Tabela 2).

Os resultados mostraram-se fortemente afetados pelas propriedades ópticas dos solos subjacentes, onde os valores apresentaram comportamento inverso para os índices ND53, NDVI e SAVI (para os quatro valores de L) e para a variável Greenness, ou seja, os valores foram maiores sobre solo de menor albedo (escuro) quando comparados ao solo de maior albedo (claro) (Tabela 2).

Segundo Garcia-Haro et al. (1996), para os índices de vegetação, tal comportamento pode ser explicado pelo seguinte efeito: seguindo o fato de que os espectros de diferentes solos são muito planos, a contribuição do solo na reflectância será independente ao comprimento de onda, de tal forma que a diferença NIR-RED será similar independente ao brilho do solo. Contudo, NIR+RED será maior para solos mais claros, como consequência, solos mais escuros terão um maior índice.



**Figura 2.** Comportamento espectral das unidades amostrais para os diferentes níveis de cobertura vegetal: a) 40 %, b) 50 % e c) 60 %.

**Tabela 2.** Comparação entre índices de vegetação e variáveis espectrais nos diferentes níveis de cobertura vegetal.

| Unidade Amostral          | ND53   | ND73  | NDVI   | SAVI (0,25) | SAVI (0,5) | SAVI (0,75) | SAVI (1) | Bright. | Green. | Wet.    |
|---------------------------|--------|-------|--------|-------------|------------|-------------|----------|---------|--------|---------|
| 40 % de cobertura vegetal |        |       |        |             |            |             |          |         |        |         |
| A                         | 0,46a  | 0,23a | 0,58a  | 0,73a       | 0,87a      | 1,02a       | 1,17a    | 3601a   | 896a   | -1662a  |
| B                         | 0,52a  | 0,28a | 0,66ab | 0,83ab      | 0,99ab     | 1,16ab      | 1,32ab   | 3512ab  | 1141b  | -1821ab |
| C                         | 0,65b  | 0,38a | 0,72b  | 0,91b       | 1,08b      | 1,26b       | 1,44b    | 3256b   | 1191b  | -1991b  |
| 50 % de cobertura vegetal |        |       |        |             |            |             |          |         |        |         |
| A                         | 0,49a  | 0,28a | 0,53a  | 0,66a       | 0,79a      | 0,93a       | 1,06a    | 4078a   | 1218a  | -1332a  |
| B                         | 0,57ab | 0,33a | 0,67ab | 0,84ab      | 1,01ab     | 1,18ab      | 1,35ab   | 3761a   | 1369ab | -1999b  |
| C                         | 0,64b  | 0,36a | 0,73b  | 0,92b       | 1,10b      | 1,28b       | 1,47b    | 3521b   | 1526b  | -2067b  |
| 60 % de cobertura vegetal |        |       |        |             |            |             |          |         |        |         |
| A                         | 0,61a  | 0,37a | 0,58a  | 0,82a       | 0,98a      | 1,15a       | 1,31a    | 4658a   | 1278a  | -1562a  |
| B                         | 0,57a  | 0,30a | 0,65a  | 0,89b       | 1,02a      | 1,26b       | 1,36a    | 4423b   | 1404a  | -2289b  |
| C                         | 0,63a  | 0,39a | 0,726a | 0,92b       | 1,11b      | 1,29b       | 1,47b    | 4152c   | 1787b  | -2526c  |

\*valores médios para cada unidade amostral seguidos pela mesma letra (entre parênteses) na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey para  $\alpha = 5\%$ .

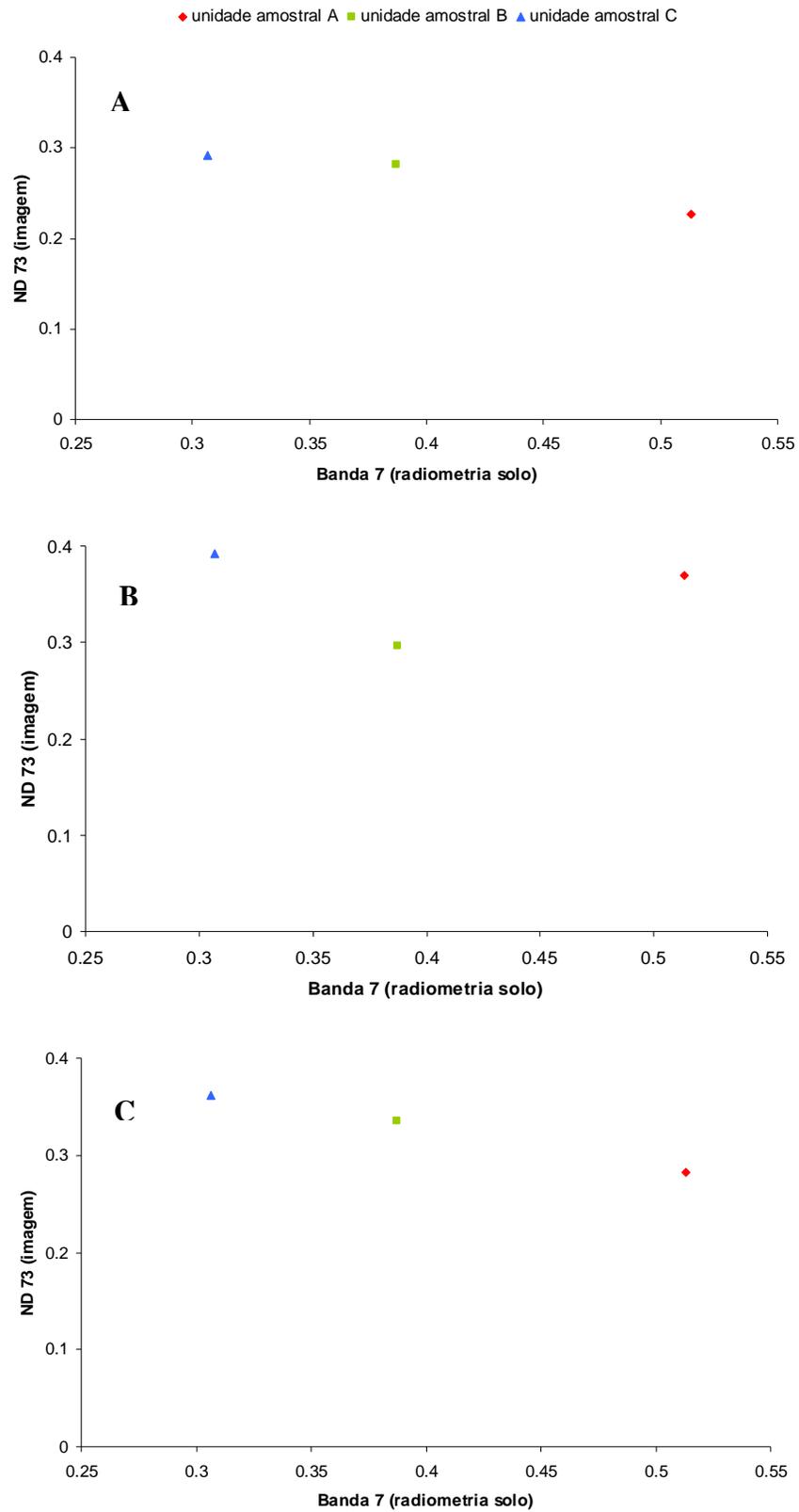
As variáveis espectrais Brightness e Wetness apresentaram comportamento diretamente influenciado pela contribuição espectral dos solos subjacentes, onde os valores obtidos foram maiores para o solo de maior reflectância total, independente do nível de recobrimento da vegetação (Tabela 2).

O índice ND73 mostrou-se indiferente à variação de albedo dos substratos em todos os níveis de cobertura vegetal, com valores estatisticamente iguais entre unidades amostrais (Tabela 2). O motivo de tal comportamento deve-se ao fato da contribuição espectral do solo afetar proporcionalmente as bandas 3 e 7, ou seja, o incremento de reflectância ocorre com a mesma intensidade em ambas as bandas tornando o índice constante independente do aumento da reflectância do solo subjacente (Figuras 3a, 3b e 3c). O mesmo não ocorre com os demais índices que utilizam relações entre as bandas 4 e 3 (NDVI e SAVI) e entre 5 e 3 (ND53), cujo efeito do solo é reduzido nas bandas 4 e 5 e efetivo na banda 3.

Com o aumento da densidade do dossel e a subsequente minimização dos efeitos adicionais do substrato, a um valor de 60 % de cobertura vegetal apenas os valores de ND53, ND73 e NDVI apresentaram-se significativamente indiferentes entre unidades amostrais, os demais continuaram a apresentar sensibilidade à estes efeitos (Tabela 2).

#### 4. Conclusões

- A hipótese do trabalho foi comprovada.
- As bandas 3 e 7 mostram-se como as mais sensíveis à variação de albedo dos substratos.
- Para dosséis com cobertura vegetal intermediária de até 50 % os índices ND53, NDVI e SAVI e a variável Greenness superestimam a vegetação em substratos escuros e subestimam em substratos claros, o inverso ocorre para as variáveis Brightness e Wetness. Este fato limita a aplicabilidade destes índices e variáveis em áreas de vegetação esparsa e de alta variabilidade litológica.
- O índice ND73 mostra-se indiferente à contribuição espectral dos solos subjacentes aos dosséis em todos os níveis de cobertura, sendo esse o mais indicado para os cálculos da vegetação principalmente em níveis intermediárias.



**Figura 3.** Relação entre o índice ND73 e o fator de reflectância do solo na banda 7 para os diferentes níveis de cobertura vegetal: a) 40 %, b) 50 % e c) 60 %.

- Em áreas com maior densidade vegetal (acima de 60 %), além do ND73, o efeito dos substratos é eliminado nos índices ND53 e NDVI, tornando-os aptos para a determinação da vegetação.

## **Referências Bibliográficas**

Boardman, J. M. Geometric mixture analysis of imaging spectrometry data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 4, p. 2369-2371, 1994.

Crist, E. P.; Kauth, R. J. The tasseled cap de-mystified. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, p. 81-86, 1986.

Demattê, J.A.M.; Garcia, G.J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 63, p. 327-342, 1999.

Elvidge, C. D.; Lyon, R. J. P. Influence of rock-soil spectra variation on the assessment of green biomass. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, p. 265-279, 1985.

Garcia-Haro, F. J.; Gilbert, M. A.; Meliá, J. Linear spectral mixture modeling to estimate vegetation amount from optical spectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, p. 3373-3400, 1996.

Huete, A. R.; Jackson R. D.; Post, D. F. Spectra response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, p. 37-53, 1985.

Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

Jensen J. R. **REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT an Earth Resource Perspective**. New Jersey: Prentice Hall, 2000. 544p.

Matthew, M. W.; Adler-Golden, S. M.; Berk, A.; Richtsmeier, S. C.; Levine, R. Y.; Bernstein, L. S.; Acharya, P. K.; Anderson, G. B.; Felde, G. W.; Hoke, M. P.; Ratkowski, A.; Burke, H. H.; Kaise, R. D.; Miller, D. P. Status of atmospheric correction using a MODTRAN4-based algorithm. **Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers**, v. 4049, p. 199-207, 2000.

Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P. R.; Madeira Netto, J. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB, Planaltina, Embrapa Cerrados, 2001. 262 p. Cap. 5, p. 157-199.

Tood, S. W.; Hoeffler, R. M. Responses of spectral indices to variation in vegetation cover and soil background. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 64, p. 915-921, 1998.

Tucker, C. J.; Miller, L. D. Soil Spectra contributions to grass canopy spectral reflectance. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 43, p. 721-726, 1977.

Shimabukuru, E. Y.; Smith, A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, p. 16-20, 1991.