

ABORDAGENS DE USO DE NÚMERO DIGITAL E DE REFLECTÂNCIA EM SENSORIAMENTO REMOTO COM DADOS DE SATÉLITES

José Carlos Neves Epiphânio
Antonio Roberto Formaggio

Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Em sensoriamento remoto é comum a produção de uma imagem. Tal imagem é composta por pixels apresentando números digitais variados, os quais são proporcionais aos valores de radiância que atingem os elementos detectores. Esses valores de radiância são diretamente proporcionais à reflectância dos alvos constituintes de cada elemento de resolução. Entretanto, tal radiância não é proveniente apenas dos alvos, mas também da atmosfera existente entre o alvo e o sensor. Assim, para a obtenção do valor de reflectância de determinado pixel no nível de terreno, é necessária a eliminação do efeito atmosférico. Há vários métodos de correção atmosférica, assim como há uma sequência de procedimentos para determinar a reflectância a partir do número digital. Muitas vezes há o interesse em se utilizar valores mais fisicamente correlacionados com o alvo (reflectância) que valores sem essa característica (números digitais). Neste trabalho são apresentados casos-exemplos onde se discute a maior ou menor adequação de uso dos valores de números digitais e dos valores de reflectância para a extração de informações sobre alvos através de sensoriamento remoto com imagens geradas a partir de satélites.

ABSTRACT

In remote sensing it is common the production of an image. Such image is composed by pixels presenting varied digital numbers, which are proportional to the magnitude of the radiance values incident on the detector elements. These radiance values are directly proportional to the reflectance of targets that compose each resolution element. However, this radiance is not only provenient from targets, but from atmosphere that exists between target and sensor too. So, to obtain the reflectance value of some pixel at a terrain level, it is necessary to eliminate atmospheric effect. There are many atmospheric correction models, and there is a sequence of procedures to determinate reflectance from a digital number as well. Many times one is interested in utilizing values more physically target related (reflectance) than values without this characteristic (digital number). In this work is presented some examples where it is discussed the use suitability of digital number or reflectance to extract information about targets from satellite remote sensing images.

1. INTRODUÇÃO

Os dados produzidos por sensores que operam na região refletida do espectro eletromagnético apresentam-se em várias formas, desde um sinal de voltagem até uma imagem colorida em papel. No caso dos satélites de sensoriamento remoto, os produtos mais comuns são as imagens em papel fotográfico e as fitas magnéticas compatíveis com computador (CCT). Em ambos os produtos as informações extraídas podem ser tanto qualitativas como quantitativas, sendo que as qualitativas são frutos basicamente de análises visuais. Entretanto, há estudos onde o interesse recai sobre os valores inerentes a cada pixel da imagem. Esses valores referem-se aos níveis de cinza ou números digitais, radiância e reflectância, que estão intimamente ligados entre si.

A utilização de valores de números digitais extraídos das fitas CCT tem sido feita por muitos autores. Richardson e Wiegand (1977) utilizaram valores de números digitais para propo-

sição do Índice de vegetação PVI ("perpendicular vegetation index"), de larga utilização. Badhwar e Thompson (1983) utilizaram transformações lineares de números digitais para estimar data de emergência de trigo e de cevada, e Lundén e Fagerlund (1985) utilizaram valores digitais do TM/Landsat-5 para correlacioná-los com dados de radiometria de campo e densidades em fotografias aéreas. Koffler (1982) e Formaggio (1983) fizeram uso de números digitais para discriminar culturas e solos, respectivamente, sendo que o primeiro autor aplicou vários índices de razão entre bandas, além das bandas simples do MSS/Landsat. Chen et al. (1986) utilizaram números digitais do TM/Landsat para representar as respostas espectrais de diferentes culturas. Brizuela et al. (1986) salientam que os números digitais corrigidos para efeitos atmosféricos são radiometricamente mais corretos que os valores digitais originais.

Muitas vezes, como expõe Robinove (1982), é interessante a utilização de valores de re-

reflectância ao invés de números digitais. Rudorff e Batista (1984) transformaram números digitais em valores de reflectância para estudar produtividade de cana-de-açúcar. Da mesma forma, Medeiros (1987) e Santos (1988) utilizaram valores de reflectância para estudos florestais.

Diante dessas várias possibilidades de uso dos dados contidos nas imagens de satélite, é realizada a seguir uma discussão de alguns usos e dos fatores físicos envolvidos em cada um deles, sobre os dados do TM/Landsat-5.

2. A ENERGIA NO DETECTOR

A radiância (L_d) que atinge o detector de um sistema sensor no nível orbital em visada vertical pode ser expressa da seguinte forma (Brizuela et al., 1986):

$$L_d = \frac{\rho}{\pi} * (ESOL * \cos z + E_{dif}) * \tau + L_p \quad (1)$$

onde,

- ρ é a reflectância do alvo,
- ESOL é a irradiância solar direta,
- E_{dif} é a radiação difusa,
- z é o ângulo zenital em relação ao Sol,
- τ é a transmitância atmosférica para massa de ar = 1,
- L_p é a radiância de trajetória.

A primeira componente de L_d é a energia que contém a informação sobre o alvo, pois é fruto da interação da energia com ele. Mesmo portando informação sobre o alvo, essa componente ainda pode ser dividida em duas partes, ou seja, aquela referente à energia que passa pela atmosfera sem interação e aquela que após interagir com o alvo sofre espalhamento pela atmosfera. A segunda componente da L_d , independe do alvo, não porta informação alguma sobre o alvo, sendo apenas um sinal aditivo.

A radiância L_d que atinge o detector é transformada num valor digital bruto escalonado

de 0 a 255. Cada número digital bruto sofre uma correção através da aplicação de uma tabela de correção radiométrica individualizada para cada detector, de modo que no final tem-se o número digital corrigido que é gravado nas CCT. Visualmente, essa relação entre radiância espectral e número digital é expressa na Figura 1 (NASA, 1984).

A recuperação do valor original de radiância a partir do número digital corrigido (ND) pode ser feita através da aplicação da equação linear (2) que relaciona essas duas variáveis:

$$ND = G * L + B \quad (2)$$

onde,

- ND = número digital,
- L = radiância espectral em ($mw.cm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$)
- G = ganho em ($255/(RMAX-RMIN)$),
- B = "offset" em $-(255*RMIN)/(RMAX-RMIN)$.

A Equação (2) pode também ser expressa na forma:

$$L = (ND/255)*(RMAX-RMIN) + RMIN \quad (3)$$

onde,

- RMIN = radiância espectral correspondente ao número digital zero em ($mw.cm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$),
- RMAX = radiância espectral mínima necessária para gerar uma resposta digital máxima e igual a 255 (radiância de saturação) em ($mw.cm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$).

A Equação (3) permite a rápida obtenção do valor de radiância a partir do número digital, através dos valores de calibração constantes da Tabela 1.

Na Tabela 1 RMIN é a radiância espectral correspondente a uma resposta de detector do número digital igual a zero, e RMAX é a radiância numérica mínima requerida para saturar a resposta do detector (isto é, produzir uma resposta de número digital igual a 255).

Caso se queira obter não apenas a radiância, mas a reflectância de determinado alvo numa dada

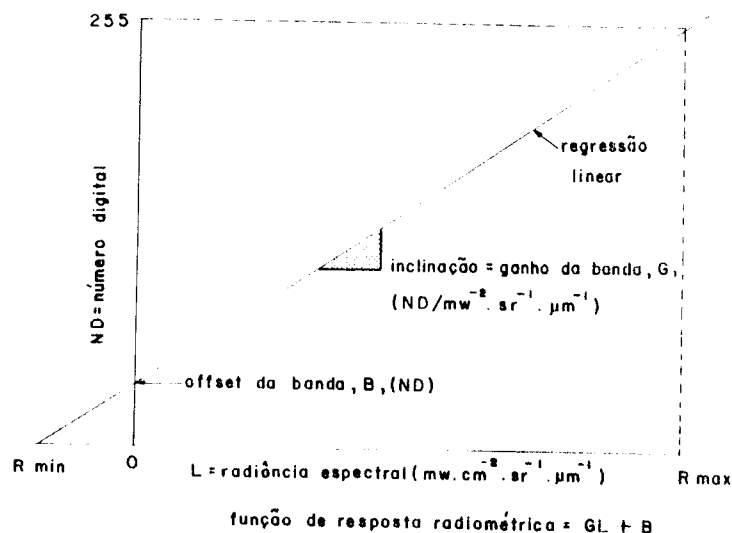


Fig. 1 - Relação genérica entre radiância espectral e número digital.
FONTE: NASA (1984).

banda, pode-se aplicar o procedimento descrito por Markham e Barker (1987):

$$\rho = (\pi * L_{\lambda} * d^2) / (ESOL_{\lambda} * \cos \theta_s) \quad (4)$$

onde:

- ρ = reflectância planetária medida no nível de satélite,
- L_{λ} = radiância espectral no detector em ($\text{mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$),
- d = distância Terra-Sol, em unidades astronômicas,
- $ESOL_{\lambda}$ = irradiância solar exoatmosférica média ($\text{mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$),
- θ_s = ângulo zenital solar, em graus.

TABELA 1

RANGE DINÂMICO DAS BANDAS REFLETIDAS DO "THEMATIC MAPPER", APÓS 15 DE JANEIRO DE 1984

	BANDAS ESPECTRAIS					
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
RMIN	-0,15	-0,28	-0,12	-0,15	-0,04	-0,02
RMAX	15,21	29,68	20,43	20,62	2,72	1,44

FONTE: NASA (1984).

Diversos trabalhos têm utilizado a equação de Robinove (1982), que é semelhante à Equação (4), porém sem a distância Terra-Sol. Tanto a radiância quanto a reflectância são parâmetros físicos que expressam o resultado da interação entre a energia e o alvo. Como escreve Robinove (1982), "é mais fácil visualizar mentalmente uma reflectância de 20% na banda 5 que visualizar um número digital 64, por exemplo".

Assim, têm-se três parâmetros interconvertíveis que são a reflectância, a radiância e o número digital. Esses valores podem ser analisados tanto no nível de satélite como no nível de solo. No primeiro caso tem-se uma condição exoatmosférica, onde todos os fatores de interferência encontram-se embutidos no sinal radiométrico que atinge o detector. No nível de solo, quando se quer recuperar a reflectância original do alvo, deve ser eliminado o efeito atmosférico, pois o sinal detectado é uma composição de sinais puros do alvo e sinais de interferência atmosférica, como apresentado na Figura 2. No presente trabalho assume-se que não há radiância devida a alvos vizinhos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento espectral de alvos, analisado em imagens digitais deve ser feito com dados de reflectância e não com números digitais. Além disso, deve ser aplicada correção para efeitos atmosféricos, que deve ser o primeiro passo da transformação. A discussão sobre os diversos métodos de correção não faz parte do presente trabalho, sendo que o mais simples deles, ou seja, o do histograma mínimo (Chavez, 1988) será o utilizado para as exemplificações.

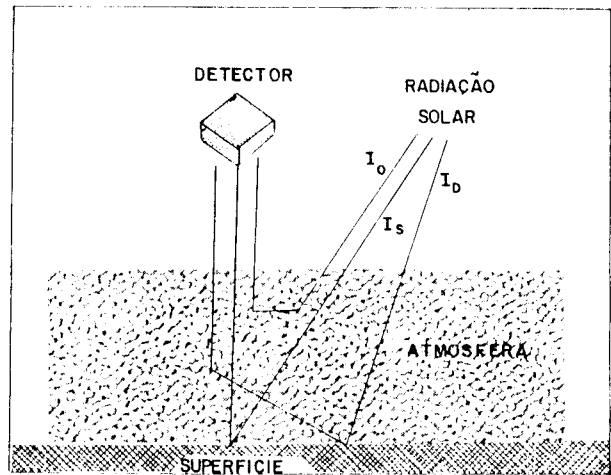


Fig. 2 - Diagrama esquemático das contribuições à radiância detectada no satélite. I_0 é a contribuição unicamente devida à atmosfera, I_s é a contribuição unicamente devida ao alvo. I_d é a contribuição do alvo e circunvizinhanças devida a fenômenos de difusão.

Adaptado de Kaufman (1985).

Para a transformação do número digital em reflectância a correção para o efeito atmosférico deve ser feita em duas etapas. A primeira é a determinação do número digital correspondente à atmosfera em cada banda. Tal número digital deve ser transformado em reflectância, dando uma reflectância correspondente à atmosfera. A segunda etapa é a transformação do número digital constante da fita CCT em reflectância, a qual contém tanto a reflectância do alvo quanto a da atmosfera. Com esses dois valores, faz-se a diferença e é obtida a reflectância do alvo, no nível de terreno. Na Figura 3 é mostrado o comportamento espectral genérico de trigo, feito com número digital e com reflectância, para um ângulo solar de 30° e no dia 19/07/86.

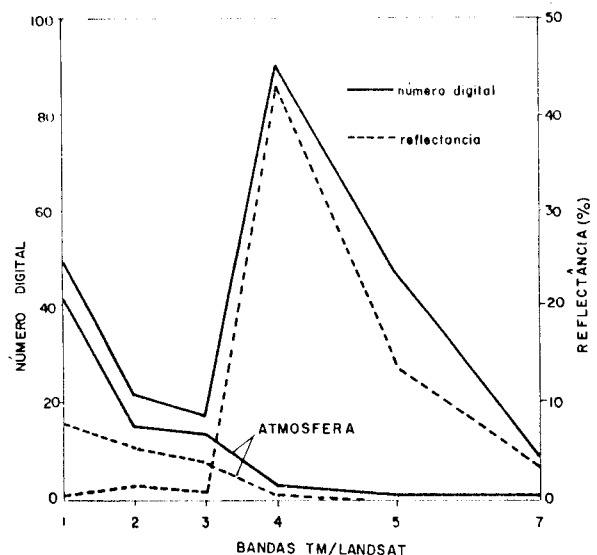


Fig. 3 - Comportamento da atmosfera e do trigo (nível de cinza e reflectância).

Observa-se que o traçado da curva referente ao número digital guarda pouca relação com o comportamento espectral esperado de uma vegetação sadia. A transformação do número digital em reflectância, após correção para efeitos atmosféricos, permite que análises gráficas sobre o comportamento espectral dos alvos possam ser realizados segundo uma aproximação bem maior com a realidade.

A simples correção atmosférica, sem a devida transformação do número digital em reflectância, também não é um procedimento adequado à observação do comportamento espectral dos alvos. Como cada banda possui uma equação própria que relaciona a radiância ao número digital, as diferenças de números digitais entre duas bandas podem não guardar relação com diferenças de reflectância dos alvos, como ilustra a Figura 4. Trata-se de uma área de feijão apresentando 60% de cobertura de um Latossolo Vermelho Escuro.

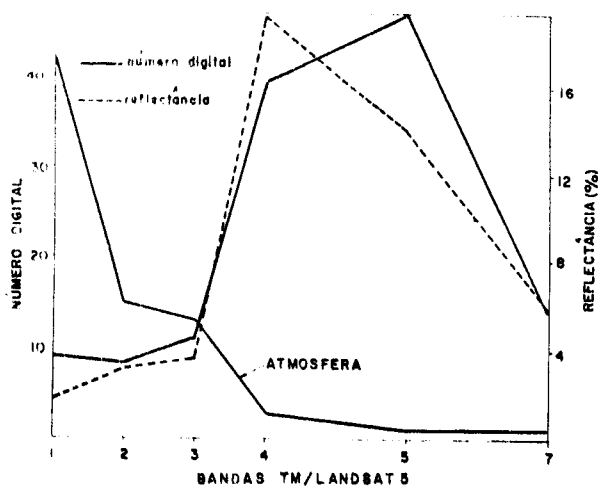


Fig. 4 - Número digital (corrigido para efeitos atmosféricos) e reflectância de feijão mais solo; e número digital da atmosfera para as bandas TM/Landsat.

Na Figura 4 acham-se representados os números digitais correspondentes ao alvo e à atmosfera, e os valores de reflectância correspondentes a cada uma das bandas TM/Landsat calculados segundo a equação 4. A interpretação do comportamento espectral baseada apenas em números digitais corrigidos para efeitos atmosféricos pela subtração dos números digitais correspondentes à atmosfera não se mostra adequada à análise eficiente de resultados. A comparação entre a curva baseada em números digitais e em reflectância mostra inversões que podem levar a interpretações errôneas. Por exemplo, embora os números digitais das bandas TM2 e TM4 sejam menores que os das bandas TM1 e TM5, respectivamente, suas reflectâncias são maiores.

Essa discrepância entre números digitais e reflectância é devida aos parâmetros de calibração do sensor, os quais determinam as diferentes relações entre as radiâncias e os números digitais, conforme pode ser observado na Figura 5. Isso faz com que o mesmo valor de número digital seja correspondente a diversos valores de reflectância, dependendo da banda analisada, da localização da área e da data da passagem. A Fi

gura 6 representa um mesmo número digital e as reflectâncias correspondentes a cada banda para uma área genérica, cuja elevação solar na passagem do dia 19/07/86 era de 30°, em ausência de atmosfera. Como se vê nessa Figura, a análise interbandas baseada em números digitais não conduz a uma avaliação segura do comportamento espectral dos alvos.

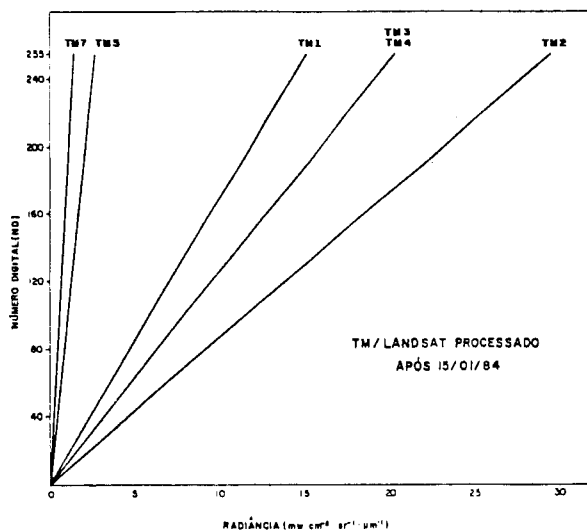


Fig. 5 - Relação entre radiância no detector e número digital para as bandas TM/Landsat.

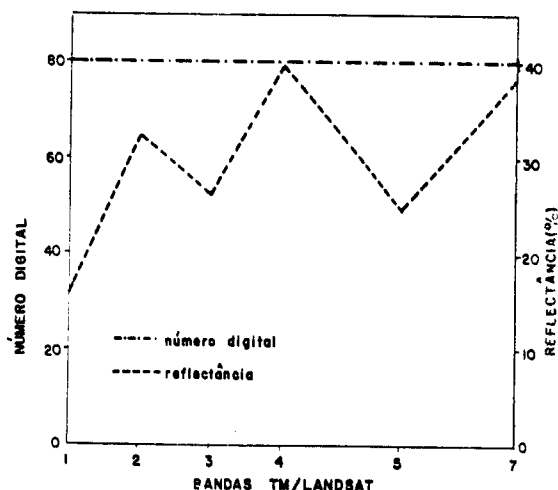


Fig. 6 - Variação da reflectância entre as bandas TM/Landsat para um mesmo valor de número digital.

A Figura 6 pode ser utilizada para ressaltar um aspecto frequente de tratamento de dados digitais, que é o estabelecimento de razões entre bandas. Caso se utilizasse o número digital para tais procedimentos, não se teria diferenças entre quaisquer razões estabelecidas. Ao contrário, o uso de valores de reflectância mostraria que cada razão entre bandas apresentaria valor diferenciado.

Em estudos multitemporais com imagens de satélite há alguns aspectos que devem ser levados em consideração. O primeiro deles é compu-

tar o efeito atmosférico nas diversas passagens que se está trabalhando, visto que a influência atmosférica é variável ao longo do tempo. Outro é a data de obtenção de cada produto, visto que cada sensor possui parâmetros de calibração próprios, os quais podem ainda sofrer alterações ao longo da vida útil do satélite. No caso de alterações de calibração ou mesmo de utilização de imagens procedentes de sensores diferentes, há meios de se fazer normalizações de modo a compatibilizar os dados, como mostram Medeiros (1987) e Richardson (1982).

Como nesses estudos multitemporais estão envolvidas datas diferentes, há dois aspectos a serem considerados. Primeiro é o ângulo de elevação solar, que varia ao longo do ano e deve ser corrigido pelo seno desse ângulo (ou cosseno do ângulo zenital). Entretanto, a simples correção do número digital pelo ângulo de elevação solar, como tem sido feito em alguns trabalhos, notadamente naqueles que utilizam a fórmula de cálculo de reflectância apresentada em Robinove (1982), produz um valor de reflectância que pode se afastar do seu real valor. Para que se tenha melhor aproximação com a reflectância do alvo medida no nível de satélite, também deve ser levada em conta a distância Terra-Sol, a qual varia ao longo do ano. A Figura 7 mostra o erro na avaliação da reflectância que pode ser cometido se for ignorada tal distância.

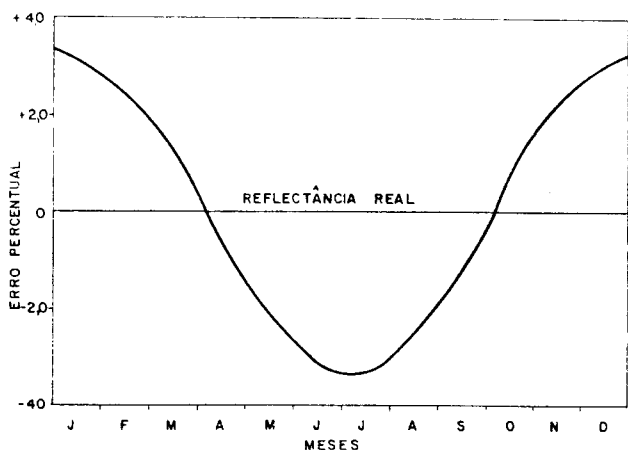


Fig. 7 - Erro percentual na avaliação da reflectância devido à distância Terra-Sol.

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho mostraram que como a contribuição atmosférica para o sinal detectado é elevada em algumas bandas e variável ao longo do tempo, a análise do comportamento espectral dos alvos deve ser precedida pela correção de tal contribuição.

Outro aspecto destacado foi a comparação entre a utilização do número digital e da reflectância para a caracterização espectral de alvos. A reflectância é o meio mais adequado, devendo ser tomada a equação 4 (Markham e Barker, 1987) ao invés da equação de Robinove (1982). Isso se deve ao fato de que o segundo autor não leva em consideração a distância Terra-Sol, o que pode acarretar erros de até 3,4% na avaliação da reflectância.

Finalmente, deve ser destacada a necessidade de se dispor de meios mais eficientes de correção atmosférica, além de uma verificação mais extensiva de casos onde seja necessário ou dispensável o uso da transformação de números digitais em valores de reflectância.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BADHWAR, G.D.; THOMPSON, D.R. Estimating emergence date of spring small grains using LANDSAT spectral data. *Agronomy Journal*, 75(1):75-78, 1983.
- BRIZUELA, A.; RAED, M.A.; HERREN, G.; MARTINEZ, C. Spectral measurements for correcting LANDSAT data for atmospheric effects. In: SELPER. *Simpósio Latinoamericano de Sensoriamento Remoto*. SELPER, Gramado, 1986. p. 558-561.
- CHAVEZ, JR., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24:459-479, 1988.
- CHEN, S.C.; DALLEMAND, J.F.; ROSENTHAL, D.A. Comportamento espectral de culturas a partir da análise de dados do LANDSAT TM. In: SELPER. *Simpósio Latinoamericano de Sensoriamento Remoto*. SELPER, Gramado, 1986. p. 394-401.
- FORMAGGIO, A.R. *Comportamento espectral de quatro solos do Estado de São Paulo nos níveis orbital, de campo e de laboratório*. São José dos Campos, INPE, 1983. 140 p. (Dissertação de Mestrado, INPE-2878-TDL/144).
- KAUFMAN, Y.F. The atmospheric effect on the separability of field classes measured from satellites. *Remote Sensing of Environment*, 18(11):21-34, 1985.
- KOFFLER, N.F. *Identificação da cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) através de fotografias aéreas infravermelhas coloridas e dados multiespectrais do satélite LANDSAT*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1982. 234 p. (Tese de Doutorado).
- LUNDÉN, B.; FAGERLUND, E. A comparison between LANDSAT-TM data ground measured radiance and soil data. In: ESA. *Proceedings of the third International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*. Les Arcs, France, 1985. p. 357-360. (ESA SP-247).
- MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Radiometric properties of U.S. processed LANDSAT MSS data. *Remote Sensing of Environment*, 22(1):39-71, 1987.
- MEDEIROS, J.S. *Desenvolvimento metodológico para detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, 1987. 127 p. (INPE-4123-TDL/262).
- NASA (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION). *A prospectus for Thematic Mapper research in the earth sciences*. NASA, Greenbelt, MD, 1984. 71 p.

- RICHARDSON, A.J. Relating LANDSAT digital count values to ground reflectance for optically thin atmospheric conditions. *Applied Optics*, 21(8):1457-1464, 1982.
- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12):1541-1552, 1977.
- ROBINOVE, C.J. Computation of physical values from LANDSAT digital data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(5):781-784, 1982.
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. Resposta espectral da cana-de-açúcar através de dados multitemporais do MSS do LANDSAT-4. In: SELPER. *IV Reunião Plenária SELPER*. SELPER, Santiago-Chile, 1984. p. 171-181.
- SANTOS, J.R. *Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite LANDSAT*. UFPR, Curitiba, 1988. 157 p. (Tese de Doutorado).
- SCHOWENGERDT, R.A. *Techniques for image classification in remote sensing*. London, 1983. 249 p.