

GERAÇÃO DE IMAGENS DE PROPORÇÕES ATRAVÉS DE UM MODELO LINEAR DE MISTURA

**Adriana Abrahão
Eliana Miglioranza
Moacir Godoy Junior**

**Instituto de Pesquisas Espaciais
Secretaria Especial de Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515
12201 São José dos Campos, SP
BRASIL**

RESUMO

O presente trabalho define os passos para implementação e operação de um modelo linear de mistura, utilizando o método das componentes principais. A partir de imagens do satélite Landsat-TM, com seus níveis digitais convertidos em níveis de refletância aparente, são geradas até seis bandas sintéticas, onde cada uma representa as proporções de uma dada componente dentro da imagem original. Como dados de entrada, pode-se escolher entre amostras colhidas dentro da própria cena - "componente pura" - ou a partir de medidas radiométricas em campo. Estudos adicionais estão sendo realizados para se verificar o quão correto foi o ajuste entre as curvas de refletância dos alvos e seu valor digital na imagem.

ABSTRACT

The present paper defines the steps for implementing and operating a linear mixing model using the principal components analysis. Using a Landsat-TM image, converted to apparent reflectance, up to six synthetic new bands are produced. Each new band represents the proportion of a given component which was part of the original imagery. Input data for implementing the model can be both: samples from the original image, corresponding to endmembers, and radiometric information collected on the ground. Additional studies are being carried out to verify how good was the adjustment between target reflectance and its respective digital value.

1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é demonstrar a implementação e a validação do modelo linear de mistura, usando componentes principais, o qual foi desenvolvido por Smith et al. (1985).

A função de um modelo de mistura é a de separar as contribuições espectrais de cada fonte, dentro de um "pixel", a partir de um conjunto de espectros da imagem, espectros esses denominados *componentes puras**

Entretanto, não se consegue obter superfícies igualmente iluminadas, havendo a necessidade de escolher, como amostras, áreas que estejam recebendo o máximo de iluminação e livres de interferências por outros materiais ou outros efeitos. A partir daí, introduz-se uma nova *componente pura*, chamada *sombra* que irá somar-se às outras por ocasião do cálculo das proporções para uma dada imagem. Uma componente sombra é tipicamente um "pixel" afetado por uma feição topográfica.

2 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a geração das componentes, alguns pré-processamentos devem ser feitos com o intuito de transformar os níveis de cinza da imagem para os mesmos níveis que serão utilizados como dados de entrada. Os itens abaixo mostram os passos a ser seguidos:

- conversão nível digital → refletância aparente
- subtração do menor nível de cinza da cena para bandas 1 e 2;
- inicialização da estrutura de mistura;
- aquisição dos valores puros de cada componente da imagem ou de dados de campo;
- aplicação do modelo e geração das componentes.

3 - CONVERSÃO DOS DADOS DIGITAIS BRUTOS EM REFLETÂNCIA APARENTE

Define-se dado digital bruto como a imagem sem nenhum tipo de correção, na qual os valores digitais de cada "pixel" são os mais próximos de seu

valor real de radiância. Para a conversão desses dados em refletância aparente, utilizam-se as equações definidas por Markham e Barker (1986), conforme abaixo:

$$\rho_p = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{ESUN_\lambda * \cos\theta_s}$$

onde :

- ρ_p = refletância aparente,
- L_λ = radiância medida pelo sensor em $mW * cm^{-2} * ster^{-1} * \mu m^{-1}$
- d = distância Terra-Sol em unidades astronômicas,
- $ESUN_\lambda$ = irradiância média do Sol no topo da atmosfera em $mW * cm^{-2} * \mu m^{-1}$
- θ_s = ângulo zenital em graus.

Os valores L_λ , d e θ_s são calculados a partir de dados extraídos do cabeçalho das CCTs TM e montados em uma estrutura que contém as seguintes informações:

- hemisferio : norte ou sul
- meridiano : leste ou oeste Greenwich
- quadrante : quadrante da imagem
- dia_aquis : dia da aquisição
- mes_aquis : mês da aquisição
- ano_aquis : ano da aquisição
- hor_aquis : hora da aquisição
- min_aquis : minuto da aquisição
- seg_aquis : segundo da aquisição
- lat_graus : id. da latitude
- lat_min : id. da latitude
- lat_seg : id. da latitude
- lng_graus : id. da longitude
- lng_min : id. da longitude
- lng_seg : id. da longitude

* O termo *componentes puras* é uma tradução aproximada da palavra *endmembers*.

Os valores de calibração utilizados para cada banda são:

Banda	Lmin	Lmax
tm1	-0.15	15.21
tm2	-0.28	29.68
tm3	-0.12	20.43
tm4	-0.15	20.62
tm5	-0.037	2.719
tm6	0.1238	1.56
tm7	-0.015	1.438

Fonte : Markham e Barker (1986), pág. 4.

Os valores de irradiância média (ESUN), no topo da atmosfera, para cada banda, são:

Banda	ESUN
tm1	195.7
tm2	182.9
tm3	155.7
tm4	104.7
tm5	21.93
tm7	7.457

Fonte : Markham e Barker (1986), pág. 5.

A conversão dos dados digitais em radiância é dada por:

$$L_{\lambda} = L_{\min\lambda} + \left(\frac{L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}}{QCAL_{\max}} \right) QCAL;$$

onde:

- QCAL = nível digital,
- $L_{\max\lambda}$ = radiância espectral equivalente ao nível digital máximo (255),
- $L_{\min\lambda}$ = radiância espectral equivalente ao nível digital mínimo (0),
- $QCAL_{\max}$ = delta de variação dos níveis digitais,
- L_{λ} = radiância.

Com a aplicação dos procedimentos acima descritos obtêm-se novas bandas com os valores de refletância aparente, as quais não são os dados de

refletância real dos alvos, pois em seu cálculo é utilizada a irradiância no topo da atmosfera. Entretanto, pode-se admitir que, em uma determinada cena, os valores de refletância aparente variam linearmente com os de refletância real (Godoy Jr. e Novo, 1989).

4 - O MODELO LINEAR DE MISTURA POR COMPONENTES PRINCIPAIS

Dada uma determinada imagem, com até seis bandas espectrais, é possível modelar cada "pixel" como uma combinação linear de *componentes puras*:

$$\begin{aligned} dn_1 &= f_1 * e_{1,1} + \dots + f_n * e_{1,n} \text{ banda 1} \\ dn_2 &= f_1 * e_{2,1} + \dots + f_n * e_{2,n} \text{ banda 2} \end{aligned}$$

.

.

.

$$dn_p = f_1 * e_{p,1} + \dots + f_n * e_{p,n} \text{ banda p}$$

onde:

- dn_i = refletância da banda i para o "pixel",
- e_{ij} = componente pura dn para a componente j, banda i,
- f_j = fração desconhecida da componente j,
- n = número de componentes,
- p = número de bandas,

resultando a equação:

$$dn = e * f$$

A soma das frações para cada "pixel" deve ser obrigatoriamente 1; para isso aumenta-se o vetor dn com o valor 1 e a matriz e com uma coluna de 1's. Com isso, obtêm-se um conjunto de $p+1$ equações para n componentes desconhecidas.

O algoritmo para a determinação das proporções é dado abaixo:

Seja e uma matriz de "componentes puras", onde **linhas** são as componentes e **colunas** as bandas. Faz-se a média das componentes para cada banda e subtrai-se essa média de suas respectivas componentes (matriz **emed**). Calcula-se a matriz de covariância da matriz **emed**, resultando a matriz simétrica v . Neste cálculo a soma dos quadrados deve ser dividida por n e não $n-1$. Calculam-se os autovalores e autovetores da matriz v

armazenando-os em l (autovalores) e na matriz q (autovetores). Reduz-se a dimensionalidade da matriz q para número de bandas - 1 (qr) e transformam-se as "componentes puras" para a dimensão das componentes principais ($y = emed * qr$). Força-se a soma das componentes para 1 aumentando a matriz y com uma coluna de 1's, e gera-se sua transposta e sua inversa ($yinv$). Para o cálculo da inversa, usa-se a decomposição $L \times U$ (Gerald, 1978). Este passo gera a matriz lu e a matriz de permutação para uso na geração das componentes.

A partir daí, para cada "pixel" da imagem, constrói-se um vetor (dn) de tamanho igual ao número de bandas e com os correspondentes valores de refletância, subtrai-se a média de cada elemento, gerando o vetor dm . Transforma-se este vetor para o espaço das componentes principais ($dpc = dm * qr$), aumenta-se a dimensão de dpc com 1 e resolve-se a equação $f = yinv * dpc$. Isto é obtido usando a decomposição $L \times U$ para todos os "pixels" da imagem, gerando as proporções para cada componente. Torna-se ainda necessário re-escalar o vetor f de forma a representá-lo no intervalo 0-255 níveis de cinza, o que é feito através da normalização das proporções das componentes e da multiplicação de cada uma por 255.

5 - GERAÇÃO E ANÁLISE DAS COMPONENTES

Para a geração das componentes, foram desenvolvidos programas para inicialização, aquisição e aplicação da transformação.

Na inicialização é solicitado o nome da imagem, as bandas desejadas para utilização e o nome das componentes. Nesta fase é inicializada a estrutura abaixo:

- num_bandas : número de bandas
- num_componentes : número de componentes
- valor_amstras : valor das amostras
- nome_componentes : nome de cada componente
- nome_imagem : nome da imagem
- bandas_aquis : bandas adquiridas
- num_ban_aquis : número de bandas adquiridas

A imagem utilizada para teste é da região da barragem de Barra Bonita, Estado de São Paulo, (WRS 220.76 A) de 10 de junho de 86, com a utilização das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 (Figura 1) para a determinação das componentes água, vegetação, solo e sombra.

A aquisição pode ser efetuada através de valores medidos em campo, usando radiômetros, sendo que a refletância medida deve ser transformada para a faixa 0-255. Obtêm-se componentes puras diretamente da imagem convertida em refletância aparente, através de amostras em áreas de componentes puras. Neste caso, optou-se pela aquisição na própria imagem, obtendo-se os valores abaixo:

BANDAS COMP.	1	2	3	4	5	7
água	5	14	11	1	0	0
solo	11	23	31	42	86	58
vegetação	6	15	15	77	26	4
sombra	0	0	0	0	0	0

Foi aplicada ainda uma pequena subtração de níveis de cinza nas bandas 1 (17 níveis de cinza) e 2 (4 níveis) com a finalidade de minimizar o efeito de espalhamento atmosférico, antes da aquisição das amostras.

Na aplicação da transformação, são geradas 4 bandas suplementares sintéticas, onde cada uma corresponde à proporção de cada componente dentro da imagem. Analizando as componentes geradas, tem-se para a componente água (Figura 2) que os maiores valores de níveis de cinza encontram-se dentro dos rios, mas com variações de tonalidades devido à presença de sedimentos em suspensão na água. Para a componente solo (Figura 3), verifica-se que os maiores níveis estão compreendidos nas áreas de solo exposto ou de pastagem, mas com concentrações significativas dentro das regiões de água.

Na componente vegetação (Figura 4), verifica-se uma grande resposta em culturas de altura linear uma um pouco mais branda em áreas de reflorestamento e o indício da presença de clorofila dentro d'água. Para a componente sombra (Figura 5), nota-se sua inexistência dentro d'água, mas uma boa resposta nas áreas de reflorestamento devido à sombra das copas das árvores de maior tamanho sobre as outras.

6 - CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo é eficiente utilizando dados obtidos da própria imagem, sem desprezar a possibilidade da obtenção de dados de campo ou de laboratório com o objetivo de comparar os dois tipos de componentes. Fica a critério dos usuários do modelo as possibilidades de testes, aos quais o sistema pode ser submetido, com a inclusão de novas bandas como índice de vegetação, razões, composições com bandas normais, etc.

7 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo o apoio financeiro (processo 88/4016-5) e do CNPq (processo 82260/89), ao Dr. Yosio Edemir Shimabukuro as sugestões e auxílio na análise dos resultados obtidos e à analista Ana Paula Dutra Aguiar o auxílio no desenvolvimento deste sistema.

9 - BIBLIOGRAFIA

- GERALD, C. F. Applied numerical analysis Reading, MA, Addison-Wesley, 1978. 579p.
- GODOY Jr., M.; NOVO, E. M. L. M. Processamento digital de dados TM/Landsat no monitoramento de águas interiores. São José dos Campos, INPE, 1989. 26p. (INPE-4956-PRE/1533).
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. EOSAT Landsat Technical Notes. SV(1):3, Aug. 1986.
- SMITH, M. O.; JOHNSON, P. E.; ADAMS, J. B. Quantitative determination of mineral types and abundances from reflectance spectra using principal component analysis. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, 90:C797-C804, Feb. 1985.

8 - FIGURAS

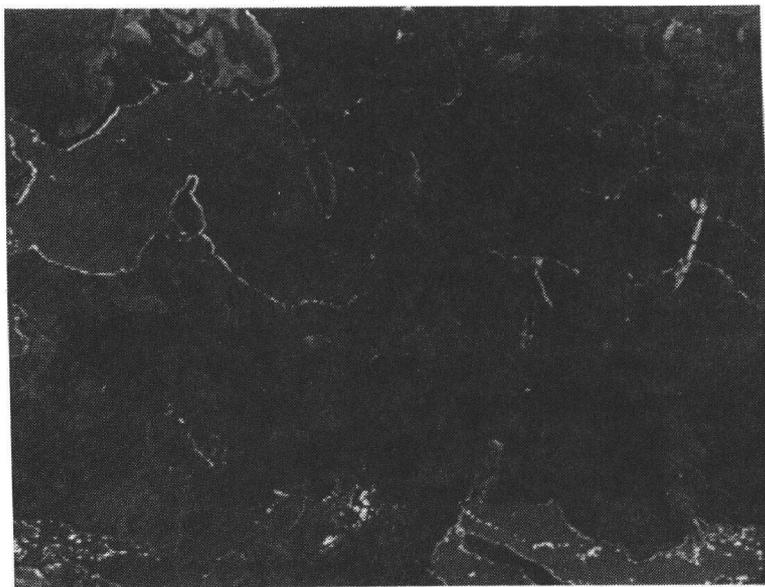


fig. 1 - WRS 220.76 A 10-JUN-86



fig. 2 - Componente água



fig. 3 - Componente solo

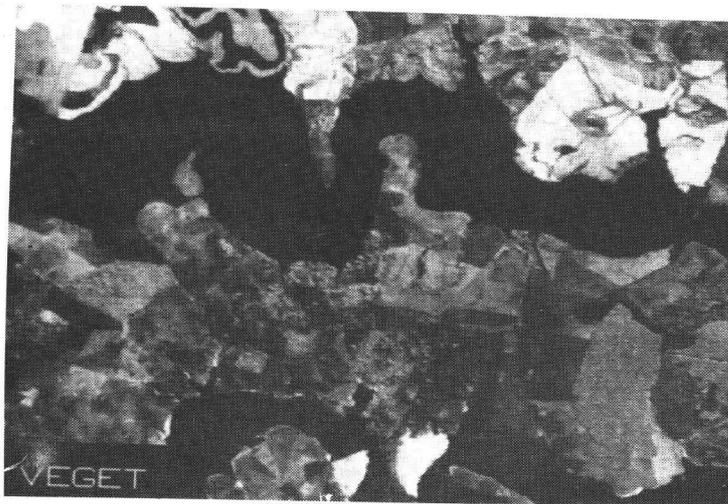


fig. 4 - Componente vegetação

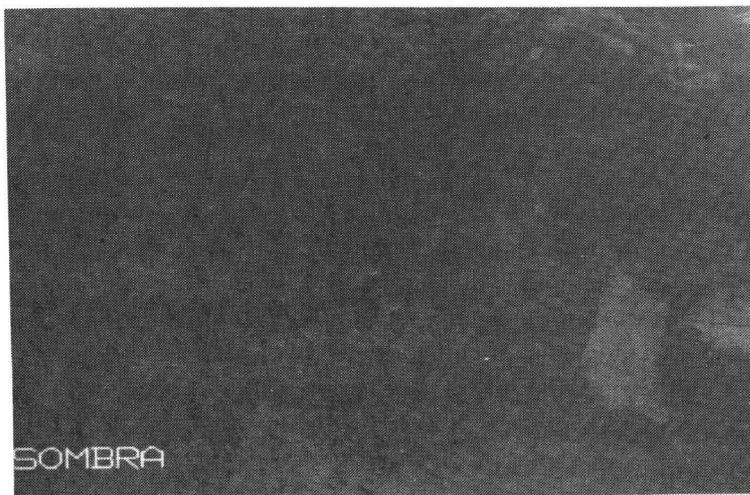


fig. 5 - Componente sombra