

# IMAGENS SOMBRA PARA ÁREAS REFLORESTADAS DE EUCALYPTUS E PINUS OBTIDAS DE MEDIDAS MULTIESPECTRAIS DO LANDSAT

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

James A. Smith  
NASA/Goddard Space Flight Center  
Maryland 20771 - U.S.A.

## RESUMO

Em áreas florestadas, geralmente, três principais componentes estão presentes no pixel de imagens orbitais: cobertura das árvores, solo (substrato) e sombra. O objetivo deste trabalho é extrair informação de sombra em áreas reflorestadas de Eucalyptus e Pinus a partir de medidas multiespectrais do Landsat implementando um modelo linear de mistura. O método CLS (Constrained Least Squares) é aplicado à imagem MSS do Landsat correspondente à área de estudo "Mogi-Guaçu" no Estado de São Paulo, produzindo as imagens sombra. Estas imagens mostram, no caso dos povoamentos de Eucalyptus, a diferença de idade dos plantios, e no Pinus, a diferença de espécies. A imagem sombra está relacionada com a estrutura da floresta e além disso, pode ser útil como um canal adicional para classificação digital.

## ABSTRACT

In forested areas, generally, three main components are present: tree canopy, soil and shadow. The objective of this research is to extract shadow information in reforested areas of Eucalyptus and Pine from multispectral measurements of Landsat by implementing a linear mixing model. The Constrained Least Squares (CLS) method is applied to Landsat MSS imagery corresponding to the "Mogi-Guaçu" study area in São Paulo State to generate shade images. These shade images show the difference on ages for forest of Eucalyptus and the difference on species for forest of Pine. The shade image is related to the forest structure and it may be useful as an additional data channel for machine assisted analysis classification.

## 1. INTRODUÇÃO

A radiância coletada a nível orbital depende basicamente das características dos sensores e das características espectral e espacial do alvo que é visto pelo sensor. É importante lembrar que a radiância coletada é uma soma das radiancias de todos os alvos dentro do campo de visada instantânea (IFOV) do sensor. Portanto, a radiação detectada será causada pela mistura de vários alvos diferentes (solo, vegetação, rocha, etc.) mais a contribuição atmosférica.

A resolução espacial do sensor MSS do Landsat é aproximadamente 0,45 hectares (57m x 79m) e pode ser afetada pelo problema de mistura causado por: 1) quando os alvos são menores do que o elemento de resolução e 2) quando o campo de visada instantânea do sensor superpõe os limites entre dois ou mais alvos extensos. Em ambos os casos, os sinais coletados pelo sensor não são representativos de nenhum dos alvos presentes.

Frequentemente um importante componente na resposta mista de uma cena é a sombra. É bem co-

nhecido o fato de que a sombra está geralmente presente em todas as cenas naturais e representa um caso especial de problema de mistura. Vários estudos (Heimes, 1977; Ranson e Daughtry, 1987) tem mostrado que a sombra tem um importante efeito na resposta espectral da cena, especialmente em áreas florestadas. A proporção de sombra no pixel fornece dado adicional que pode ser usado para melhorar a exatidão da estimativa de áreas e também pode ser usado para gerar um canal de dados para classificação digital (Shimabukuro, 1987).

O objetivo deste trabalho é extrair informação de sombra em áreas reflorestadas de Eucalyptus e Pinus a partir de medidas multiespectrais do Landsat implementando um modelo linear de mistura. O método CLS (Constrained Least Squares) apresentado por Shimabukuro (1987) é aplicado à imagem MSS do Landsat correspondente à área de estudo "Mogi-Guaçu" no Estado de São Paulo, produzindo as imagens sombra. Estas imagens são então comparadas com a informação de campo relativa a esta área de estudo.

## 2. MODELO LINEAR DE MISTURA: CLS MÉTODO

O modelo linear de mistura pode ser escrito do seguinte modo:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j) + e_i \quad (1)$$

Onde:

$r_i$  = reflectância espectral média de um pixel contendo um ou mais componentes para a  $i$ -ésima banda espectral;

$a_{ij}$  = reflectância espectral do  $j$ -ésimo componente no pixel para a  $i$ -ésima banda espectral;

$x_j$  = proporção do  $j$ -ésimo componente no pixel;

$e_i$  = erro para a  $i$ -ésima banda espectral;

$j = 1, 2, \dots, n$  ( $n$ =número de componentes assumido para o problema);

$i = 1, 2, \dots, m$  ( $m$ =número de bandas espectrais para o sistema sensor considerado).

Este modelo assume que a resposta espectral de um pixel é uma combinação linear das respostas espectrais de cada um dos componentes dentro do pixel, incluindo a sombra.

Para este problema,  $r_i$  e  $a_{ij}$  são assumidos como conhecidos, enquanto  $x_j$  são valores a serem calculados. O CLS (Constrained Least Squares) método é utilizado para a solução deste problema. A abordagem utilizada resolve o sistema de equações (1) minimizando a soma dos quadrados dos erros sujeito a duas condições:

- para qualquer pixel as proporções  $x_j$  devem ser não negativas; e
- para qualquer pixel a soma das proporções deve ser igual a 1 (um).

O CLS (Constrained Least Squares) método é discutido com maiores detalhes em Shimabukuro (1987).

## 3. MATERIAL E MÉTODO

O modelo apresentado na Seção 2 foi utilizado na área de estudo "Mogi-Guaçu" descrita abaixo. A imagem do MSS do Landsat contendo essa área, corresponde a passagem de 13 de setembro de 1975. Os valores digitais do MSS foram convertidos para valores de reflectância para uma análise mais correta sob o ponto de vista físico. Essa conversão de valores digitais para valores físicos (radiância e/ou reflectância) é discutida com maiores detalhes em Robinove (1982), Markham e Barker (1986) e Shimabukuro (1987).

### 3.1 - ÁREA DE ESTUDO "MOGI-GUAÇU"

A área de estudo "Mogi-Guaçu" é localizada aproximadamente a 22° 15' S e 47° 10' W, no Estado de São Paulo (Figura 1).

Essa área é representativa de plantios de Pinus e Eucalyptus nessa região. As espécies de Pinus predominantes nessa área são: Pinus elliottii e Pinus taeda. Outras espécies como Pinus caribaea, Pinus bahamensis, Pinus oocarpa e Pinus palustris são também plantadas em menores quantidades. As espécies de Eucalyptus predominantes são: Eucalyptus alba e Eucalyptus saligna. Para a imagem MSS (13/09/75) utilizada nesse trabalho, os plantios de Eucalyptus variavam de 8 meses a aproximadamente 20 anos de idade (Shimabukuro et al, 1980).

## 3.2 - EXPERIMENTOS

Baseado no trabalho desenvolvido por Shimabukuro et al (1980), dois experimentos foram realizados, um para a área reflorestada de Eucalyptus e o outro para a área reflorestada de Pinus. Os componentes da mistura nos pixels são Eucalyptus, solo e sombra para o primeiro caso e Pinus, solo e sombra para o segundo. As reflectâncias de Eucalyptus e Pinus foram extraídas da própria imagem, baseadas no trabalho de Shimabukuro et al (1980). As reflectâncias para o componente solo foram extraídas da imagem localizando áreas representativas como amostras. A reflectância do solo para o Eucalyptus não foi idêntica para o caso do Pinus. Essa diferença pode ter sido causada pela cobertura do substrato em cada tipo de reflorestamento e não pela diferença do tipo de solo. A reflectância da sombra foi obtida por Shimabukuro (1987) usando dados de campo disponíveis no trabalho de Heimes (1977). As imagens sombra geradas para as áreas reflorestadas de Pinus e Eucalyptus foram comparadas com o mapa de verdade terrestre (Figura 2) apresentado por Shimabukuro et al (1980).

## 4. RESULTADOS

A Figura 3 mostra as sub-áreas selecionadas para o reflorestamento de Eucalyptus e a Figura 4 mostra a imagem sombra correspondente a essas sub-áreas. Comparando essa imagem com a informação de verdade terrestre (Figura 2) para a área de Eucalyptus, torna-se aparente que a imagem sombra mostra claramente a diferença em concentração de sombra para os dois grupos de idade dos plantios de Eucalyptus. A imagem sombra mostra que o Eucalyptus novo (idade variando de 8 meses a 2 anos) apresenta menor quantidade de sombra do que o Eucalyptus antigo (idade superior a 2 anos). Esse resultado apresenta boa concordância com a verdade terrestre que pode ser explicado pelo fato de que o Eucalyptus novo apresenta a cobertura de copa e altura uniforme, produzindo pequena quantidade de sombra. Por outro lado, à medida que o Eucalyptus torna-se mais velho, a cobertura da copa torna-se menos uniforme, produzindo uma maior quantidade de sombra no interior do reflorestamento.

A Figura 5 mostra as sub-áreas selecionadas para o reflorestamento de Pinus e a Figura 6 mostra a imagem sombra correspondente a essas sub-áreas. Comparando essa imagem com a informação de verdade terrestre (Figura 2)

para a área de Pinus, torna-se aparente que a imagem sombra mostra diferenças em concentração de sombra para os dois grupos de espécies dos plantios de Pinus. O primeiro grupo é formado pelos plantios de Pinus elliottii e o segundo é formado pelas outras espécies do gênero Pinus mencionadas na subseção 3.1.

Portanto, a imagem sombra pode explicar a estrutura do reflorestamento que é relacionada com a cobertura de copa, altura e espécies das árvores.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, o modelo linear de mistura que implementa o CLS (Constrained Least Squares) método foi utilizado para a geração de imagens sombra para as áreas reflorestadas de Eucalyptus e Pinus da área de estudo "Mogi-Guaçu".

Os resultados apresentaram uma boa concordância entre as imagens sombra e os dados de verdade terrestre. Essas imagens provaram ser indicativas de diferenças em espécies de Pinus e diferença em idades de Eucalyptus. Além disso, a imagem sombra poderia ser utilizada como um canal adicional de informação para o processamento digital.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HEIMES, F.J. Effects of Scene Proportions on Spectral Reflectance in Lodgepole Pine, M.Sc. Thesis, Department of Earth Resources, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1977.
- MARKHAM, B.L. and BARKER, J.L. Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges Exo atmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures, Landsat Technical Notes, EOSAT, Landsat User Notes, Lanham, Maryland, 1986.
- RANSON, K.J. and DAUGHTRY, C.S.T. Scene Shadow Effects on Multispectral Response, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-25 (4): 502-509, 1987.
- ROBINOVE, C.J. Computation with Physical Values from Landsat Digital Data, Photog. Eng. Rem. Sens. 48 (5): 781-784, 1982.
- SHIMABUKURO, Y.E. Shade Images Derived from Linear Mixing Models of Multispectral Measurements of Forested Areas, Ph.D. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1987.
- SHIMABUKURO, Y.E.; HERNANDEZ FILHO, P.; KOFFLER, N.F. and CHEN, S.C. Automatic Classification of Reforested Pine and Eucalyptus Using Landsat Data, Photog. Eng. Rem. Sens., 46 (2): 209-216, 1980.

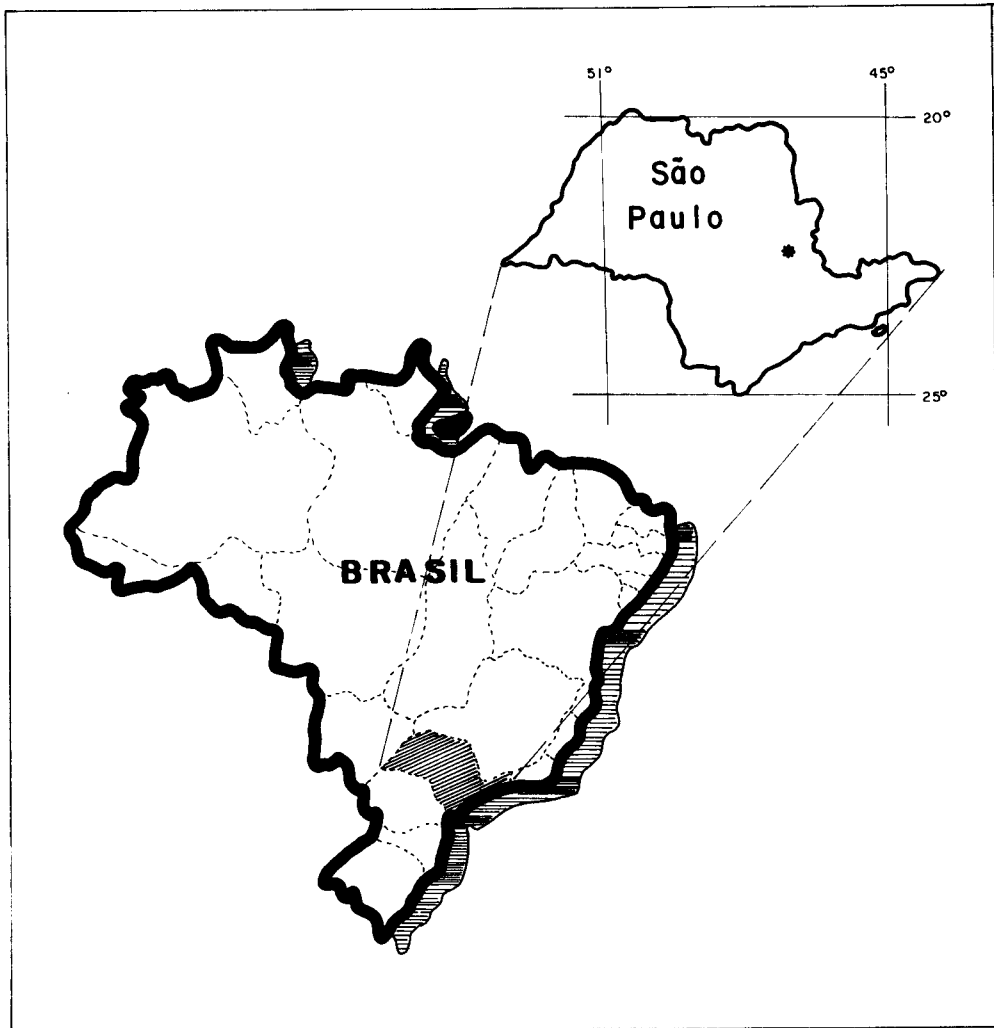


Fig. 1 - Localização da área de estudo "Mogi-Guaçu"

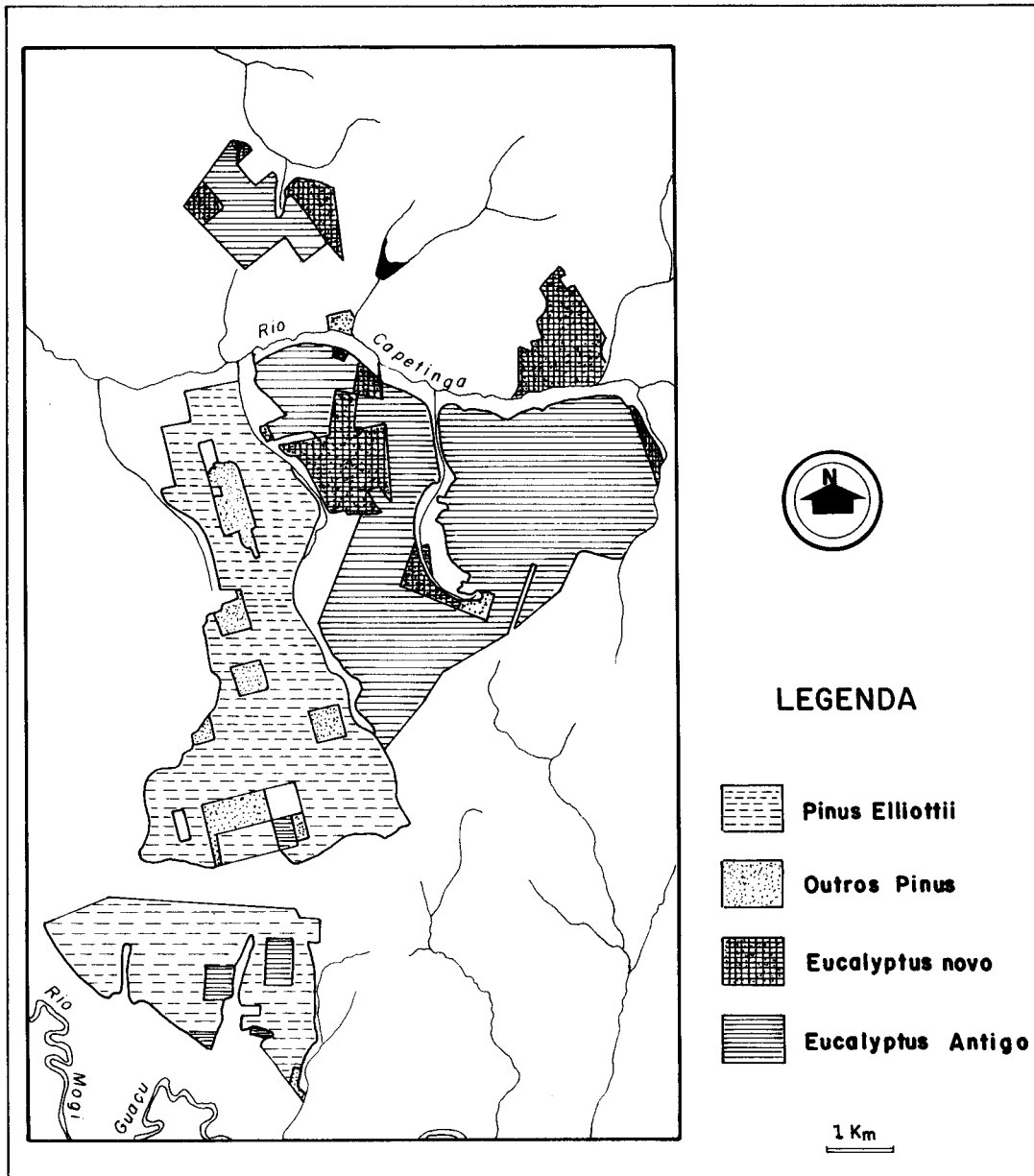


Fig. 2 - Áreas reflorestadas de Eucalyptus e Pinus na área de estudo "Mogi-Guaçu". (Shimabukuro et al, 1980)

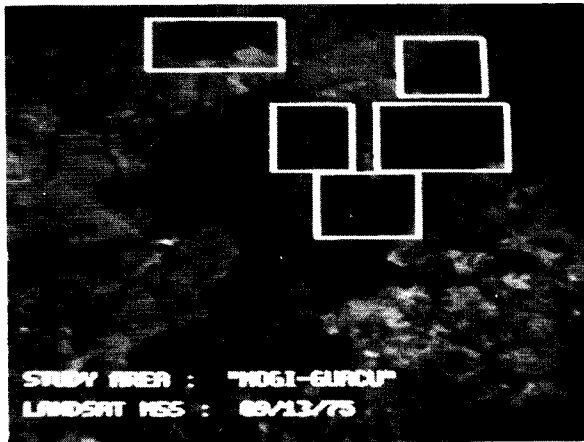


Fig. 3 - Localização das sub-áreas selecionadas para o reflorestamento de Eucalyptus (Landsat MSS-5).

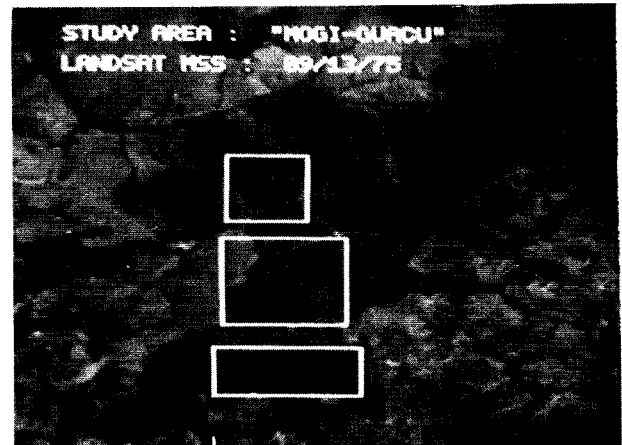


Fig. 5 - Localização das sub-áreas selecionadas para o reflorestamento de Pinus (Landsat MSS-5).

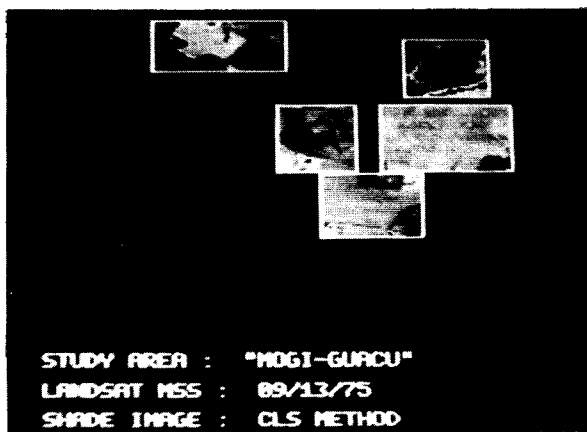


Fig. 4 - Imagem sombra para o reflorestamento de Eucalyptus.

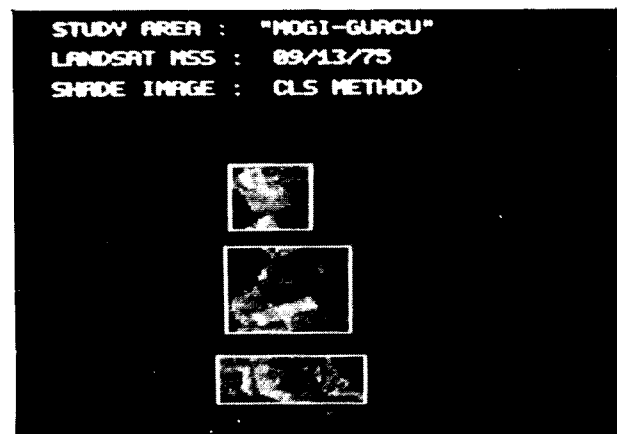


Fig. 6 - Imagem sombra para o reflorestamento de Pinus.