

## Mapeamento da cobertura da terra do Estado de São Paulo utilizando imagens fração dos dados MODIS

Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff<sup>1</sup>  
Valdete Duarte<sup>1</sup>  
Luciana Miura Sugawara<sup>1</sup>  
Ramon Morais de Freitas<sup>1</sup>  
Egídio Arai<sup>1</sup>  
Marcos Adami<sup>1</sup>  
André Lima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{yosio, bernardo, miura, ramon, egidio, adami, andre}@dsr.inpe.br

**Abstract.** This paper shows a methodology for land cover mapping using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data. The study area is located in São Paulo state southeast of Brazil. The daily surface reflectance product (MOD09), with 250 m of spatial resolution were used. Seven images of dry season were selected due to low cloud cover. The Linear Spectral Mixture Model was applied for each date resulting in the shade, soil and vegetation fractions images. The land cover mapping map was produced after on the segmentation based on region growth algorithm and ISOSEG classification. Post classification image edition was performed for improving map quality. The final map included seven classes: Forest, Reforestation, Restinga vegetation, crop land, open water, urban area and others. The land cover map was compared with official vegetation map produced by the Instituto Florestal de São Paulo. The map accuracy showed a good agreement with 0.76 kappa statistic. The result shows the potential of the methodology for landcover mapping in regional scales.

**Palavras-chave:** MODIS, Linear Spectral Mixture Model, Classification, Landuse Mapping, MODIS, modelo linear de mistura espectral, classificação, mapeamento do uso da terra.

### 1. Introdução

O conhecimento das características e das condições dos ecossistemas terrestres é ponto inicial crítico para modelar e entender os processos de mudança global. Para atender a esta necessidade, os sistemas sensores atuais e futuros, como: IRS-1C/WFS (Indian Remote Sensing Satellite/Wide Field Sensors); RESURS-01/MSU-SK (Russian Remote Sensing Satellite/Wide Swath Scan); EOS/MODIS (Earth Observing System/Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer); SPOT/VEGETATION; ENVISAT/MERIS (Environmental Satellite, ESA/Medium-Resolution Imaging Spectrometer); CBERS/WFI (China-Brazil Earth Resources Satellite/Wide Field Imager) são capazes de adquirir informações globais com alta frequência temporal. Entretanto, a ampla abertura de visada compromete as resoluções radiométrica, espectral, e principalmente espacial. Dadas estas características, os dados gerados por estes sistemas sensores tornam a detecção prévia de áreas onde estão ocorrendo mudanças rápidas em nível de subpixel difícil e apresentam imprecisão nas variações tonais dos pixels de borda. O uso de modelo linear de mistura espectral para a estimativa de componentes dos pixels de imagens de resolução baixa e moderada tem sido proposto como uma solução parcial para a questão de baixa resolução espacial desses dados (Cross et al., 1991; Quarmby et al., 1992; Holben and Shimabukuro, 1993; Shimabukuro et al., 1994). Neste sentido, o objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia para mapeamento da cobertura do solo do Estado de São Paulo utilizando as imagens fração de vegetação, solo e

sombra derivadas dos dados do sensor MODIS através da aplicação do modelo linear de mistura espectral.

## 2. O sensor MODIS

O satélite Terra foi lançado em dezembro de 1999, começando a coletar dados em fevereiro de 2000, com o horário de passagem as 10:30 h da manhã no equador. Dentre os sensores que este satélite transporta, o principal deles, o sensor MODIS, foi projetado para atender os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra. Este sensor apresenta bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diária (Justice et al., 2002). As 36 bandas espectrais do MODIS estão localizadas em função de um dado comprimento de onda, cuidadosamente escolhidos para a observação de feições das propriedades das nuvens, dinâmica e as propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e a temperatura da superfície dos oceanos. As primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm e 2155 nm, de forma que as bandas 1-7 estão direcionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8-16 para as observações oceânicas e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro eletromagnético (3660 nm a 14385 nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (Justice et al., 2002). As bandas desenvolvidas para o monitoramento da superfície terrestre têm uma herança do Landsat/TM e NOAA/AVHRR, com capacidades melhoradas tanto nos menores comprimentos de onda quanto no infravermelho. A faixa espectral de cada uma das bandas e suas aplicações para o monitoramento da superfície terrestre podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Bandas espectrais do Sensor MODIS para o Estudo da Superfície Terrestre.

<b>Uso preliminar</b>	<b>Bandas</b>	<b>Largura da banda (nm)</b>
<b>Terra/ Nuvens / Limites de aerossóis</b>	<b>1</b>	<b>620-670</b>
	<b>2</b>	<b>841-876</b>
<b>Terra/ Nuvens/ Propriedade de aerossóis</b>	<b>3</b>	<b>459-479</b>
	<b>4</b>	<b>545-565</b>
	<b>5</b>	<b>1230-1250</b>
	<b>6</b>	<b>1628-1652</b>
	<b>7</b>	<b>2105-2155</b>

Fonte: Adaptada do website <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html>

As bandas do MODIS para o estudo da superfície terrestre possuem resolução espacial de 250 m (para os canais do vermelho e infravermelho próximo) e 500 m (para as bandas do azul, verde e infravermelho médio). Em relação à resolução temporal, o sensor MODIS possui um intervalo quase diário para a re-visita de uma área, o que lhe confere uma grande capacidade para estudos de dinâmicas ecológicas tanto terrestres, quanto oceânicas Anderson et al. (2003). Além disso, o sensor MODIS está também a bordo da plataforma Aqua lançada em maio de 2002, aumentando a frequência de re-visita nas áreas de interesse.

#### 4. Área de estudo

A área de estudo compreende o Estado de São Paulo, localizado na região sudeste do Brasil entre as coordenadas geográficas de 44oW a 54oW e 19oS a 26oS (**Figura 1**).

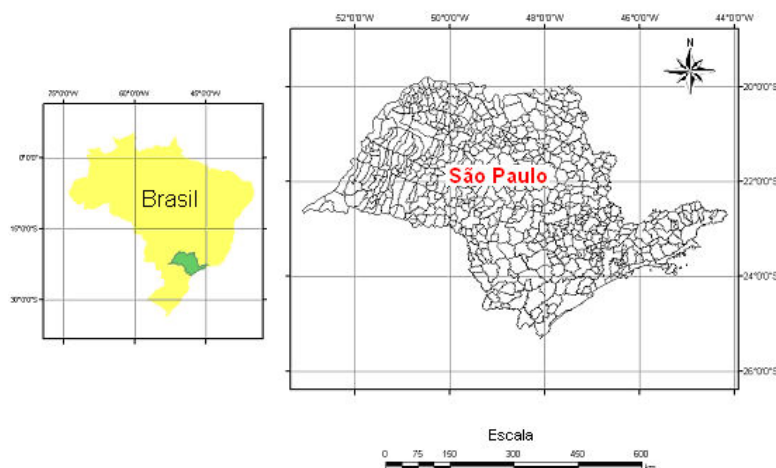


Figura 1. Localização da área de estudo.

#### 4. Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas as imagens MODIS diárias (produto MOD09, refletância de superfície, tile H13V11) adquiridas nos dias 3, 15, 17 e 31 de julho e 2, 4 e 11 de agosto do ano de 2005. O critério de seleção das datas foi o mínimo de cobertura de nuvens.

Como referência, utilizou-se o mapa de vegetação do Estado de São Paulo produzido pelo Instituto Florestal de São Paulo através de imagens Landsat TM com resolução espacial de 30 m. Este mapa apresenta as seguintes classes: a) Floresta (estádio médio e avançado); b) Restinga; c) Reflorestamento (Eucaliptos e Pinus); d) Área urbana; e) Hidrografia (Instituto Florestal, 2005).

#### 5. Metodologia

As imagens foram georeferenciadas e re-amostradas no software MRT – MODIS Reprojection Tool que foi desenvolvido especificado para a manipulação de imagens voltadas para as continentais (LAND), capaz de geo-referenciar, mosaicar, re-amostrar e recortar as imagens pré-processadas. O primeiro passo foi registrar as Bandas 1 e 2 do produto MOD09GQK com 250m de resolução espacial e depois a banda 6 do produto MOD09GHK com 500m de resolução espacial. A banda 6 do produto GHK foi re-amostrada utilizando o interpolador vizinho mais próximo para conservar o valor radiométrico do pixel. Todas as bandas foram georeferenciadas para projeção Lat/Long, devido a grande extensão longitudinal da área em estudo e facilidade de integração com SIGs. O modelo da terra adotado foi o WGS84. A projeção Lat/Long impõe fornecer a resolução espacial do pixel em graus. Efetuando a simples conversão, tem-se que 250m equivale aproximadamente a 0,0022496°, considerando a distância de cada grau é 60nm. Após este procedimento as imagens foram salvas no formato geoTIFF com 16bits.

A conversão para 8 bits utilizou o programa ConvGeoTiff (Arai, 2005) que foi desenvolvido no INPE com a finalidade de converter os dados MODIS disponíveis em 16 bits para 8 bits, de forma que possam ser processados pelo software SPRING. Este programa

restaura o valor de reflectância de cada pixel através da equação: Pixel = pixel / 10.000 e converte a reflectância para números digitais (ND), utilizando o intervalo -0.01 a 1.0.

### 5.1 Modelo linear de mistura espectral

O modelo linear de mistura espectral visa estimar a proporção dos componentes, tais como solo, vegetação e sombra, para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas do MODIS, gerando as imagens fração solo, vegetação e sombra (Shimabukuro e Smith, 1991). O modelo linear de mistura pode ser descrito por:

$$\begin{aligned}r_1 &= a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n + e_1 \\r_2 &= a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n + e_2 \\&\dots \\r_i &= a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{2n} x_n + e_m\end{aligned}$$

Em que,  $r_i$ : reflectância espectral na  $i^{\text{ésima}}$  banda espectral de um pixel;  $a_{ij}$ : reflectância espectral conhecida do  $j^{\text{ésimo}}$  componente na  $i^{\text{ésima}}$  banda espectral;  $x_j$ : valor a ser estimado de proporção do  $j^{\text{ésimo}}$  componente dentro do pixel;  $e_i$ : erro de estimação para a  $i^{\text{ésima}}$  banda espectral.

Os componentes puros de solo, sombra e vegetação foram selecionados para cada data através da interpretação visual.

### 5.2 Segmentação e classificação de imagem digital

A segmentação de imagem é uma técnica de agrupamento de dados, na qual as regiões espacialmente adjacentes podem ser agrupadas. Para realizar a segmentação é necessário definir dois limiares: a) o limiar de similaridade, valor que define a distância máxima em Nível de Cinza para agrupamento b) o limiar de área, valor de área mínima, dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada (Bins et al., 1993). No presente trabalho o limiar de similaridade utilizado foi igual a 8, definido após vários testes. O limiar de área foi definido como 4, o que significa que a área mínima considerada na segmentação equivale a 25 ha no terreno.

O classificador ISOSEG (Bins et al., 1993) é um algoritmo disponível no SPRING para classificar regiões de uma imagem segmentada. É um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado, aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média e matriz de covariância. O limiar para a aceitação de cada classe foi de 75%.

### 5.3 Edição matricial e avaliação da acurácia do mapeamento de cobertura

Com a obtenção de todas as classificações, uma por fração por data, partiu-se para análise de qual classe foi melhor identificada por classificação. As classes identificadas foram mapeadas para planos de informação diferentes. O passo subsequente foi à edição matricial destes planos de informação, utilizando como base as imagens 1(R)2(G)6(B) do MODIS; assegurando, assim, a acurácia da classificação.

Na seqüência foi realizado um mosaico com as classes mapeadas, para a obtenção do mapa de uso da terra do Estado de São Paulo. A avaliação do mapa obtido foi realizada através da tabulação cruzada com o mapa de vegetação desenvolvido pelo Instituto Florestal de São Paulo (2005), reamostrado de 30 metros para 250 metros. As classes Floresta, Restinga, Reflorestamento, Área Urbana e Hidrografia presentes no mapa de referência foram avaliadas pelo índice Kappa (Hudson e Ramm, 1987).

## 6. Resultados e discussão

O mapa final com as seguintes classes: Floresta, Restinga, Reflorestamento, Área Urbana, Hidrografia, Áreas Agrícolas e Outros, em que a classe “Outros” reúne áreas de cerrado, pastagem, vegetação em estágio inicial e vegetação ripária é apresentado na Figura 2. As classes “Floresta” e “Restinga” foram provenientes das classificações das imagens fração vegetação. Nesta fração as duas classes se diferenciaram das demais. Entretanto houve necessidade de edição matricial dos dados através da interpretação visual da composição colorida com objetivo de distinguir estas duas classes. A classe Hidrografia foi facilmente identificada pela classificação das imagens fração sombra, apresentando pequena confusão com áreas de sombras de relevos movimentados. A classe Reflorestamento foi extraída das classificações das imagens fração solo. Esta classe também apresentou boa separabilidade. Houve a omissão de áreas de reflorestamento que possuíam comportamento semelhante ao de áreas de floresta, certamente por se tratarem de reflorestamentos antigos. A decisão de correção dessas áreas foi baseada na forma dos fragmentos. A Área urbana apresentou grande confusão. Por isso, seu mapeamento foi realizado através da interpretação visual da composição colorida. Os pontos de localização das sedes dos municípios foram utilizados como dados auxiliares.

A estimativa de área das classes mapeadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa de área das classes mapeadas através de dados do sensor MODIS.

<b>Classes</b>	<b>Mapeamento MODIS (km<sup>2</sup>)</b>
Floresta	29.349,4
Restinga	4.644,9
Reflorestamento	4.106,5
Área Urbana	4.191,5
Áreas Agrícolas	37.256,5
Hidrografia	5.498,8
Outros	184.726,3
<b>TOTAL</b>	<b>269809,0</b>

O resultado da estatística Kappa indicou que o mapa de cobertura produzido pela metodologia proposta tem concordância de 0,77 com o mapa de referência (Instituto Florestal, 2005). A classe restinga apresentou maior confusão com a classe floresta, isto se deve as características de respostas espectrais de ambas. A classe Área urbana foi a que apresentou a menor confusão com as demais classes. Isto se justifica pelo modo de mapeamento, já que toda a área desta classe é resultante de interpretação visual, a exceção da mancha urbana de São Paulo. A classe Reflorestamento teve maior confusão com a classe floresta, isto, isso pode ocorrido devido à semelhança de resposta espectral entre reflorestamentos antigos e áreas de florestas.

TABELA 3. MATRIZ DE CONFUSÃO.

		<b>Referência</b>				
<b>Classificação</b>	<i>Classes</i>	Restinga	Área Urbana	Reflorestamento	Hidrografia	Floresta
	Restinga	26.484	192	0	599	1.229
	Área Urbana	1.870	49.719	10	105	1.415
	Reflorestamento	12	311	43.496	208	34.704
	Hidrografia	124	55	143	65.417	2.743
	Floresta	26.061	1.049	4.177	1.908	263.940

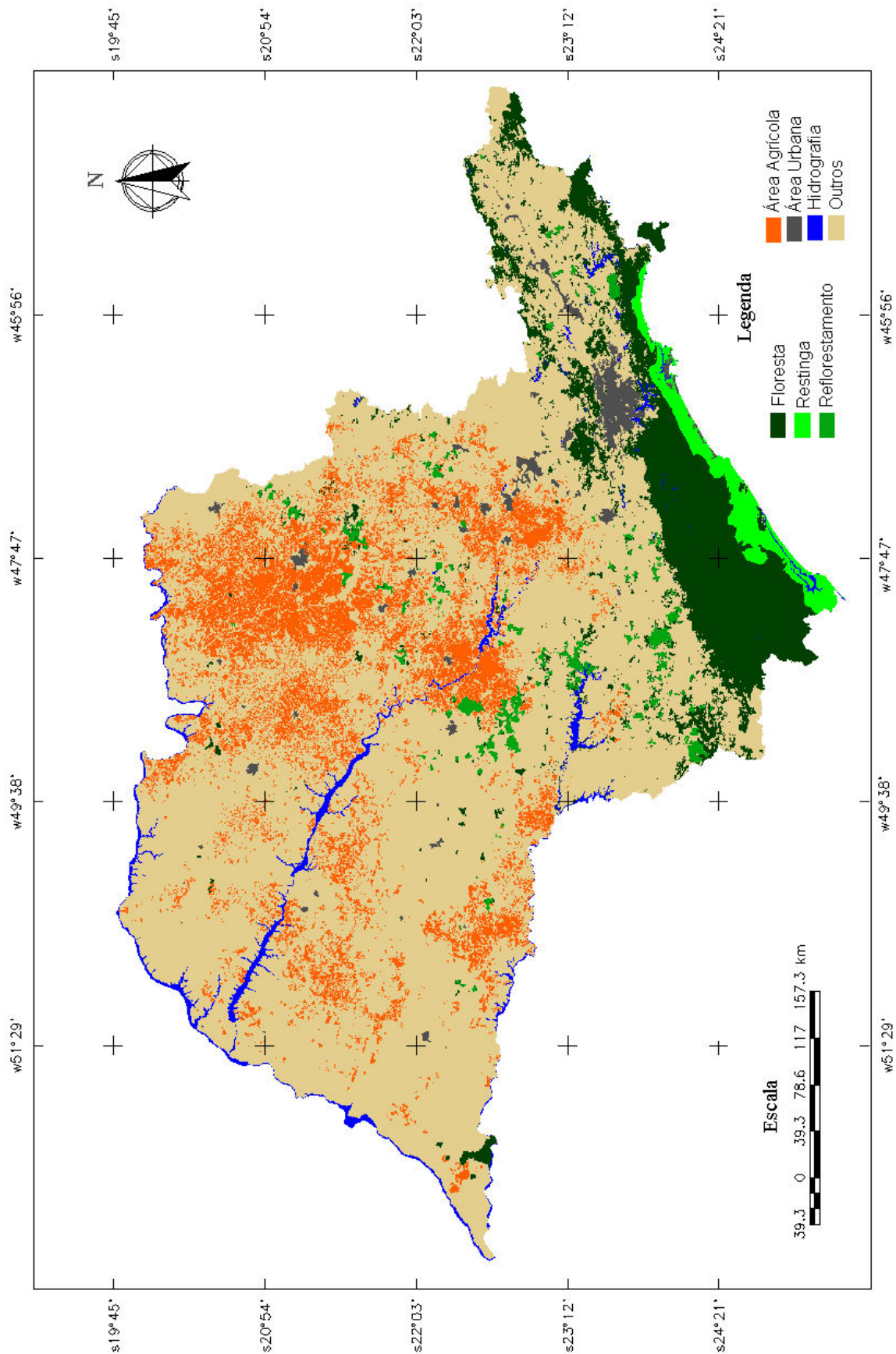


Figura 2. Mapa de uso da terra de São Paulo (2005) produzido através de dados multi-temporais do sensor MODIS.

## 6. Conclusões

O procedimento de mapeamento utilizado, o tratamento individualizado de cada imagem fração e das classes mapeadas, proporcionou maior rapidez no mapeamento de cobertura de São Paulo. Pois, pode-se extrair de cada classificação apenas a classe melhor discriminada, reduzindo-se o trabalho posterior de edição matricial.

No entanto, mesmo sendo reduzida, a edição matricial é etapa indispensável para a assegurar a qualidade do mapeamento. É a interação do intérprete com a classificação automática que viabiliza o mapeamento de grandes áreas, seja pela redução do tempo, seja confiabilidade.

## Referencias

- Arai, E., Freitas, R. M. d., Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E. Análise radiométrica de imagens mod09 em 16bits e 8bits. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Ed.), **anais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, pp. 3983–3990, 2005.
- Bins, L. S.; Erthal, G. J.; Fonseca, L. M. G. Um método de classificação não supervisionada por regiões. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE COMPUTACAO GRAFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 6., 19-22 out. 1993, Recife. **anais** 1993. v.4, p. 65-68, 1993
- Cross, A.M., Settle, J., Drake, N.A., and Paivinen, R.T.M. Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, 12, 1119-1129, 1991.
- Holben, B.N. and Shimabukuro, Y.E. Linear mixing model applied to coarse spatial resolution data from multispectral satellite sensors. **International Journal of Remote Sensing**, 14, 2231-2240, 1993.
- Hudson & Ramm Correct formulation of the kappa coeff of agreement. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**. v 53 n 4, 421-422, 1987.
- Instituto Florestal. **Inventário florestal do Estado de São Paulo**. Instituto Florestal, São Paulo, 199p, 2005.
- Justice, C.O.; Giglio, B.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morisette, J.T.; Roy, D.P.; Descloitres, J.; Alleaume, S.; Petitcolin, F.; Kaufman, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.244-262, 2002.
- Quarmby, N.A., Townshend, J.R.G., Settle, J.J., White, K.H., Milnes, M., Hindle, T.L., and Silleos, N. Linear mixture modelling applied to AVHRR data for crop area estimation. **International Journal of Remote Sensing**, 13, 415-425, 1992.
- Shimabukuro, Y.E., Holben, B.N., and Tucker, C.J., 1994, Fraction images derived from NOAA AVHRR data for studying the deforestation in the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, 15, 517-520.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.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, n. 1, p. 16-20, 1991. (Shimabukuro e Smith, 1991)