

## **Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME aplicado ao monitoramento do Cerrado, Bacia do Rio Carinhanha (MG-BA)**

Kelly Maria Resende Borges <sup>1,2</sup>  
Paulo Marcos Coutinho dos Santos <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília - UnB  
Mestranda - Departamento de Geografia

<sup>2</sup> Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA  
Centro de Sensoriamento Remoto - CSR  
SCEN – Trecho 2 – Ed. Sede IBAMA – Bl. E - Brasília - DF, Brasil  
{kelly.borges, paulo-marcos.santos}@ibama.gov.br

**Abstract.** The objective of the present work is to map and to monitor the land covering of Rio Carinhanha watershed – in Rio San Francisco watershed, through techniques of remote sensing, allied to field information, seeking the implantation of an environmental monitoring system capable to analyze the temporary variations, especially, of the Savana (Cerrado). The used methodology was the application of the Linear Mixing Model method in images Landsat of the years 2000/2001, in order to contrast spectral answers of the human impacted areas in general. Later, it was made the segmentation of the enhanced images, using the region growth method and a manual edition of that stage results.

**Palavras-chave:** linear spectral unmix, modelo linear de mistura espectral, change detection, detecção de mudanças, Cerrado, Rio São Francisco Watershed, Bacia do Rio São Francisco

### **1 – Introdução**

Os problemas decorrentes da intensa exploração dos recursos naturais vêm se agravando à medida que as sociedades avançam em seu desenvolvimento tecnológico, científico e econômico. Além disso, o crescimento populacional provoca expansão da produção de bens, do consumo de água e da demanda por fontes de energia e infraestrutura em geral. Todo este processo leva à intensificação do uso da terra, sem que haja o planejamento necessário, que leve em conta tanto as potencialidades quanto as fragilidades do meio.

O São Francisco é uma das mais importantes bacias brasileiras, fundamental para o desenvolvimento de parte da região Sudeste e principalmente do Nordeste. Possui cerca de 2700 km de extensão, uma área aproximada de 639 mil km<sup>2</sup> e contém partes de quatro biomas brasileiros: Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga e Zona Costeira.

A Bacia como um todo sofre com o uso exaustivo de seus recursos, o que se faz necessário conhecer sua real situação ambiental para a recuperação de suas áreas degradadas e proteção de seus recursos naturais, essenciais para a sociedade brasileira.

O presente trabalho foi desenvolvido no Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA, como parte do Programa de Revitalização do São Francisco – PRSF, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA (Mesquita Júnior & Santos, 2007).

Devido à grande extensão da bacia do Rio São Francisco, o trabalho de maior detalhe vem sendo desenvolvido por partes, tendo início na Sub-bacia do Rio Carinhanha, um importante afluente do Rio São Francisco, que precisa ser preservado. A área faz parte do bioma Cerrado, um dos que mais sofrem com o constante e intenso processo de degradação, com a sistemática retirada da vegetação natural e intensificação do uso do solo principalmente para fins agropecuários. A bacia possui importantes remanescentes do cerrado e na região próxima às suas nascentes principais está

localizado o Parque Nacional Grande Sertão Veredas, área de intensa relevância paisagística e ecológica.

Na bacia do Carinhanha vem ocorrendo uma intensificação da retirada da vegetação natural para a produção de carvão vegetal e também para uso da terra em atividades agropecuárias, o que vem produzindo indicativos de aceleração dos processos erosivos.

Uma forma de se mapear e analisar a dinâmica do uso da terra é através da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, aliadas a informações de campo.

O objetivo geral do trabalho é mapear e monitorar a cobertura vegetal da Sub-bacia do Rio Carinhanha, através de técnicas de sensoriamento remoto, aliado a informações de campo, visando a implantação de um sistema de monitoramento ambiental capaz de analisar as variações temporais da cobertura vegetal das principais bacias hidrográficas brasileiras, em especial a Bacia do Rio São Francisco. As informações sobre alterações ambientais sofridas darão suporte às ações dos governos federal e estaduais, no que diz respeito, inclusive, as atividades de fiscalização do Ibama e dos órgãos ambientais estaduais.

## 2 – Caracterização da Sub-bacia do Rio Carinhanha

A sub-bacia do Rio Carinhanha está situada na divisa dos estados de Minas Gerais e Bahia, abrangendo parcialmente 8 municípios mineiros e 4 baianos. Localiza-se entre os paralelos 13°50' e 15°30' de latitude sul e os meridianos 43°40' e 46°10' de longitude oeste de Greenwich, abrangendo uma área aproximada de 1.700.000 hectares.

O Rio Carinhanha é afluente da margem esquerda do Rio São Francisco (Figura 1). Suas nascentes mais elevadas encontram-se a uma cota altimétrica de 920 metros, e sua desembocadura, no Rio São Francisco, tem aproximadamente 440 metros de altitude, o que representa uma amplitude altimétrica de cerca 480 metros.

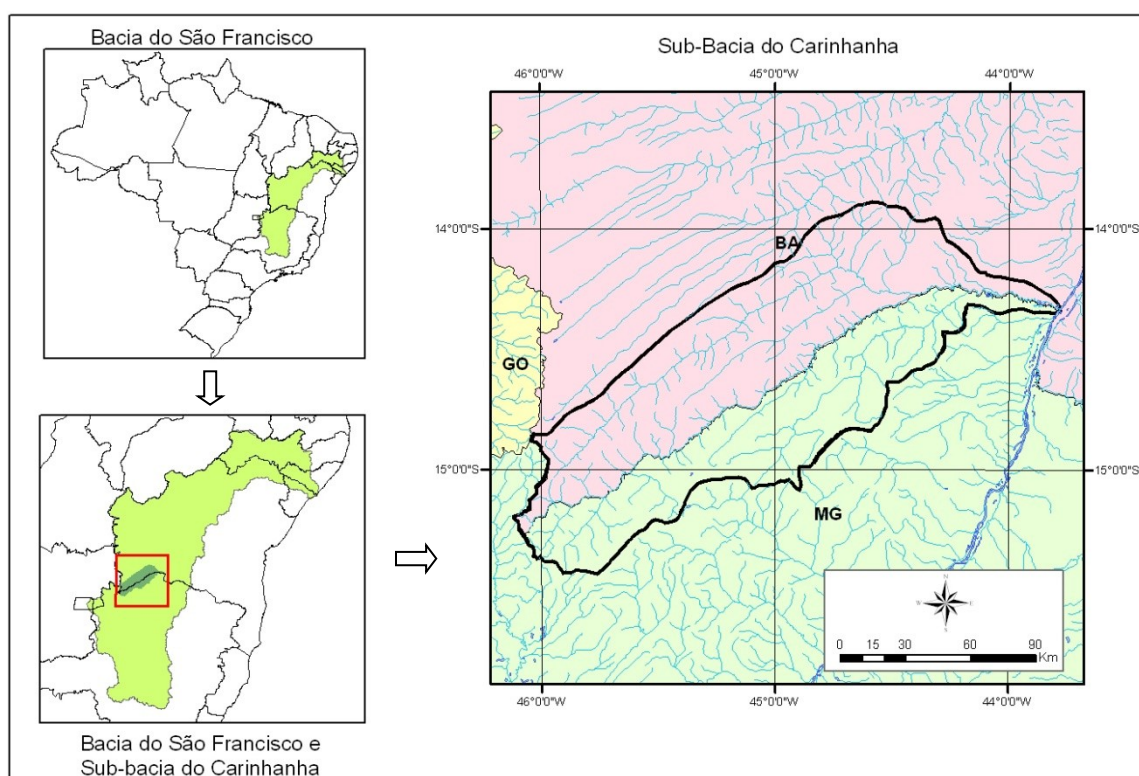


Figura 1 – Localização da sub-bacia do Rio Carinhanha.

## 2 – Metodologia

O presente estudo foi desenvolvido com uso de imagens dos satélites Landsat 5 e 7, referentes aos anos de 2000/2001 e 2007 (Tabela 1), obtidas gratuitamente a partir dos sítios do GLCF e INPE.

Concomitante a esta fase, ocorreram trabalhos de campo para dirimir as dúvidas geradas a partir das análises prévias em gabinete das referidas cenas.

Tabela 1 – Imagens de Satélite utilizadas no trabalho

Satélite	Sensor	Órbita-Ponto	Data
Landsat 7	ETM+	219-070	21/09/2000
Landsat 7	ETM+	220-070	27/06/2001
Landsat 7	ETM+	220-071	27/06/2001
Landsat 5	TM	219-070	31/07/2007
Landsat 5	TM	220-070	08/09/2007
Landsat 5	TM	220-071	08/09/2007

De posse das imagens do ano de 2000/2001, optou-se por efetuar o método modelo linear de mistura espectral - MLME (Shimabukuro, 1987) e (Shimabukuro & Smith, 1991), a fim de melhor contrastar as respostas dos alvos de interesse (áreas desflorestadas, culturas, pastagens e reflorestamentos) das regiões de remanescentes florestais, queimadas e corpos d'água.

O processamento supracitado foi efetuado com a utilização do software Spring 4.3.3. Assim, gerou-se as imagens fração/componentes solo, vegetação e sombra, e efetuou-se o processo de segmentação destas pelo método de crescimento de regiões. Assim sendo, os atributos espectrais calculados foram agregados a partir dos parâmetros de similaridade 50 e área 50, delimitando-se os alvos de interesse.

Posterior a isso, não se optou por classificar as imagens a partir da delimitação dessas regiões, e sim por exportar as imagens raster de segmentação e convertê-las em vetores, de tal modo que foi possível editá-los manualmente. Este último procedimento foi efetuado no software ArcGIS 9.1, o que garantiu que não ocorresse perda das informações, o que acontece, algumas vezes, quando do uso de classificadores, pois os vetores provenientes da segmentação confere ao analista a identificação/qualificação entre alvos de comportamento similares, que nem sempre representam uma intervenção humana no terreno.

Quanto às imagens de 2007, de início, efetuou-se sua restauração no software Spring 4.3.3, e posterior correção geométrica no software ArcGIS. Neste mesmo software houve o corte das cenas a partir do vetor (máscara) de vegetação remanescente gerada por meio das imagens de 2000/2001.

A partir de uma análise prévia dos alvos das cenas de 2007 em comparação com as de 2000/2001, observou-se que era possível efetuar a detecção de mudanças por subtração de imagens (Singh (1989); Macleod e Congalton (1998)), a fim se destacar os incrementos de desmatamentos ocorridos naquele intervalo de tempo, visto que não teriam ocorridos atividades que pudessem confundir ou não destacar os incrementos provenientes de ações antrópicas.

Aplicou-se, assim, a subtração entre imagens dos anos de 2000/2001 e 2007, referentes ao componente solo de cada período (Figura 2). Na realidade, corresponde a uma adaptação do *change detection* – Equação 1 – a fim de melhor contrastar os alvos em regiões de alta movimentação antrópica (Santos, 2007):

$$(ImgR - ImgA) - ImgA \quad (1)$$

onde: *ImgR* é a imagem mais recente e *ImgA* a imagem mais antiga.

Cabe ressaltar, contudo, que tal método foi aplicado à Amazônia. Entretanto, independente do bioma, quaisquer dos métodos devem ser aplicados somente em cenas de épocas idênticas, no que diz respeito ao aspecto climático da região de estudo, visto que a vegetação, principalmente na região de transição Cerrado/Caatinga, é bastante sensível às variações do clima.

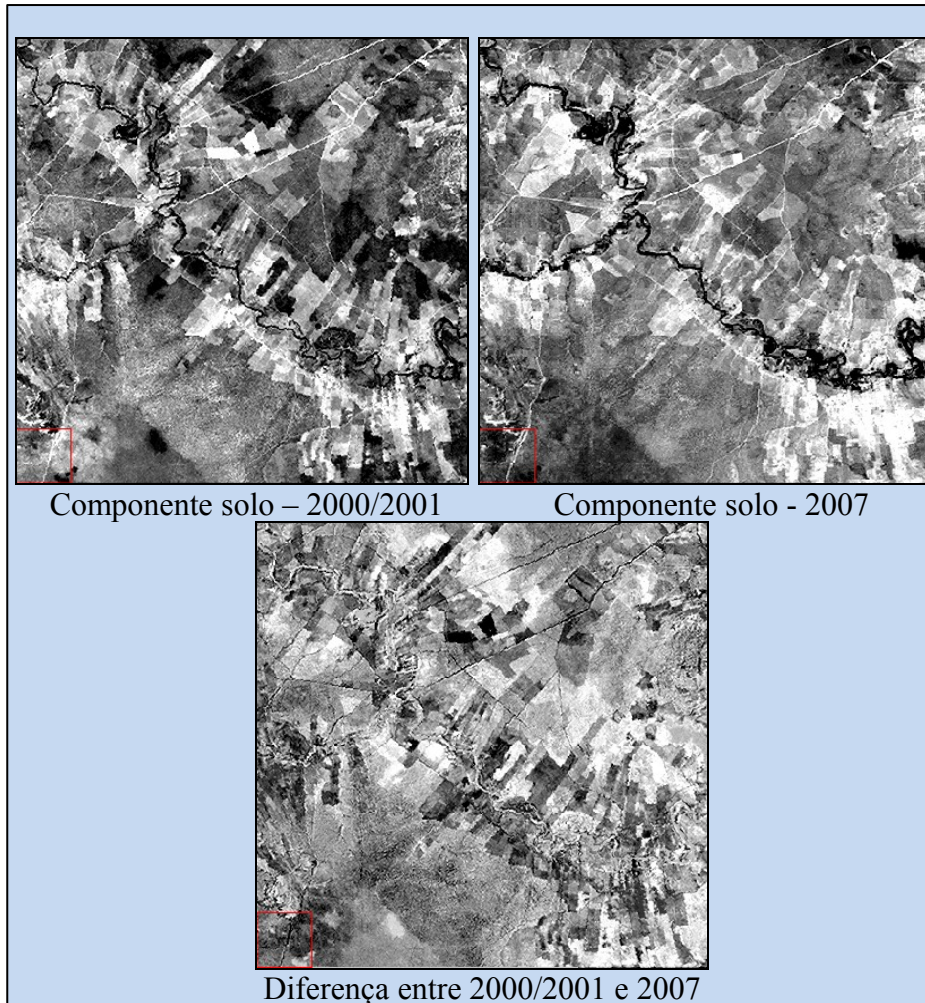


Figura 2. Imagens, sem recorte de máscara, referentes aos componentes solo, proveniente do MLME, para os anos de 2000, 2007 e respectiva diferença entre ambas, conforme Equação 1.

A Figura 3 que segue ilustra os incrementos de desmatamento obtidos pelo método anteriormente arrolado.

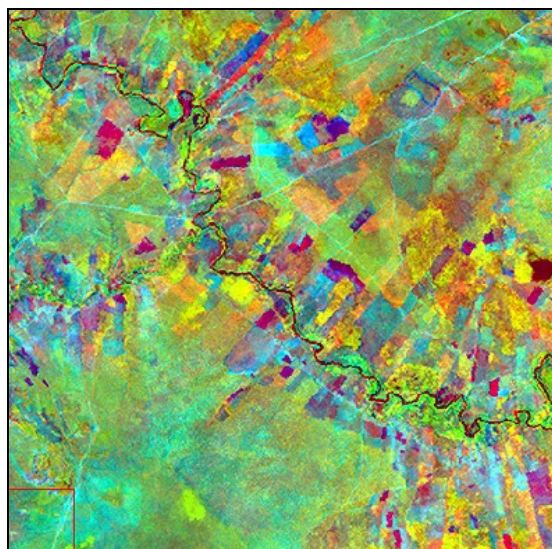


Figura 3. Composição colorida R: imagem da diferença entre os períodos, G: Banda 4 – 2000/2001, B: Banda 3 – 2000/2001. Alvos alaranjados representam os incrementos de desflorestamentos.

Por fim, efetuou-se a segmentação da imagem produto da subtração supracitada. Ressalta-se que somente foi considerada a área útil proveniente da máscara de remanescentes, delimitada a partir das imagens de 2000 e 2001, adquirindo-se os vetores de desmatamento para o ano de 2007, conforme a metodologia de classificação anteriormente aqui arrolada.

Além da utilização das imagens de satélite, foi realizado um trabalho de campo na sub-bacia do Rio Carinhanha com o objetivo de fazer um reconhecimento geral da área de estudo, além de coletar informações a respeito dos aspectos físicos, principalmente cobertura vegetal, relevo e solos, bem como do uso e ocupação da terra, para auxiliar na classificação das imagens de satélite.

### 3 – Resultados e Discussões

Pode-se verificar que a sub-bacia do Rio Carinhanha possui um gradiente de uso e ocupação do solo bastante variado, com áreas bem preservadas próximas às nascentes, e áreas de uso intenso, nas proximidades de sua foz e em algumas áreas planas, principalmente nos topos dos interflúvios (Figura 4).

Com as segmentações/classificações das imagens de satélite foi possível observar que a bacia apresenta boas condições de preservação da vegetação natural. O levantamento realizado nas imagens de 2001 demonstrou que 18% da área da bacia encontrava-se antropizada, o que representa 308.687ha. As imagens de 2007 mostram um aumento da área desmatada para 25%, total de 416.286ha, o que significa um incremento de 107.599ha (Figura 4).



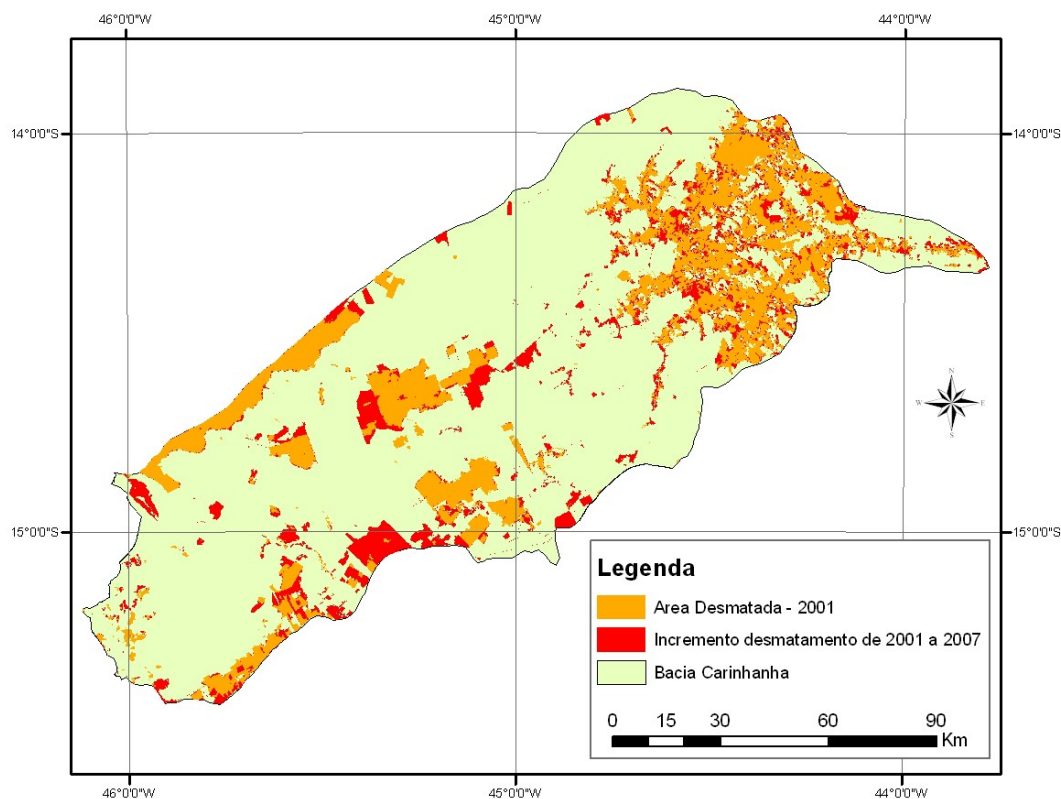


Figura 4. Evolução do desmatamento na Bacia do Carinhanha de 2001 a 2007.

#### 4 – Conclusões

Por se tratar de uma sub-bacia que ainda apresenta boa parte de sua área quase sem uso, o Carinhanha apresenta boa vocação para a preservação ambiental. Por outro lado, o desmatamento vem avançando na área, principalmente para a utilização da vegetação na produção de carvão vegetal.

O mapeamento das áreas antropizadas por sensoriamento remoto foi um pouco prejudicado em função da forma como ocorre o uso da terra em muitas partes da bacia, onde a vegetação nativa é retirada para a produção do carvão e a área fica sem uso por algum tempo, até que possa ser novamente desmatada. Geralmente, as áreas que ficaram sem uso apresentam regeneração da vegetação, o que muitas vezes dificulta sua identificação nas imagens de satélite originais. Porém, por ser uma região de solo bastante arenoso e pobre em nutrientes, a regeneração do Cerrado é precária, tornando-se uma vegetação bem mais pobre em diversidade de espécies. Sempre que possível, as áreas com esse tipo de regeneração precária, foram mapeadas como área antropizada.

Mesmo assim, a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME na imagem de 2001 adequou-se ao objetivo do trabalho, pois o segmentador do Spring 4.3.3, quando da combinação dos três componentes solo, vegetação e sombra, discriminou razoavelmente bem os diversos aspectos da vegetação e do uso do solo naquela época, gerando a máscara de vegetação remanescente e facilitando a análise do período de 2007 por meio da equação entre bandas anteriormente comentada.

O trabalho de campo foi um instrumento de apoio fundamental para o mapeamento das áreas antropizadas, pois permitiu a visita a pontos onde havia dúvidas quanto à classificação das imagens de satélite e uma maior acurácia no mapeamento.

Enfim, os resultados deste trabalho contribuirão com o programa de monitoramento dos biomas brasileiros, instituído pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA e IBAMA. O Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA será responsável por tal monitoramento, com a exceção da Amazônia, já desenvolvido com sucesso pelo INPE.

## 5 – Referência Bibliográfica

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS/GEF/PNUMA/OEA. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco – Módulo 2 – Diagnóstico da bacia e cenários de desenvolvimento.** Brasília-DF, 2004.

FERREIRA, A.P.M. **Avaliação do uso da terra em áreas de preservação permanente na Bacia do Ribeirão do Gama – DF, por meio de geoprocessamento.** Brasília, 1998. 75p. Dissertação de Mestrado – UnB

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

LIMA, J.E.F.W., SANTOS, P.M.C., CHAVES, A.G.M., SCILEWSKI, L.R. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco.** Brasília:Embrapa Cerrados: ANEEL:ANA, 2001. 108p.

MACLEOD, R. D. & CONGALTON, R. G. A quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring Eelgrass from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 64 (3), 207-216. 1998.

MENESES, P.R., MADEIRA NETTO, J.S. (Org). **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília: UnB; Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2001. 262p.

MESQUITA JÚNIOR, H. N. & SANTOS, P. M. C. Projeto de Monitoramento da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Cemam/Ibama/MMA. IN: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, 2007, INPE, p. 4053-4055.

PEREIRA, L.H., PINTO, S.A.F. Utilização de imagens aerofotográficas no mapeamento multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do rio Corumbataí – SP, com o suporte de sistemas de informações geográficas. IN: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, 2007, INPE, p. 1321-1328.

SANTOS, P.M.C. Detecção de incrementos de áreas desmatadas, por meio da adaptação do método Change Detection, como subsídio às atividades técnicas do Centro de Monitoramento Ambiental (Cemam/Ibama). IN: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, 2007, INPE, p. 6131-6134.

SANTOS, R.F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SHIMABUKURO, Y.E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas.** Ph. D. Dissertation, Department of Forest and Wood Sciences, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 1987.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares 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.

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, 10:989-1003. 1989.

XAVIER DA SILVA, J., ZAIDAN, R.T. **Geoprocessamento e Análise Ambiental – aplicações.** Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2004, 368p.