

A utilização da segmentação de imagens-fração como técnica de classificação da cobertura vegetal na região central e entorno da FLONA do Tapajós, utilizando imagem CCD/CBERS-2.

Igor da Silva Narvaes¹

João Roberto dos Santos¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil.

{igor, jroberto}@dsr.inpe.br

Abstract This work has as main objective the mapping of the vegetable covering in the central area and around of the Tapajós National Forest, located to the south of the city of Santarém-Pará, Brazil. For this purpose, over the 2005 image of sensor CCD/CBERS-2 the following digital processings were accomplished: a linear spectral mixture model; segmentation and classification. The application of the linear mixture model implemented in the Georeferenced Information Processing System (SPRING/INPE), made possible the transformation of bands 3, 4 and 2 in image-fractions shade, soil and vegetation. On the shade image-fraction the segmentation technique was applied by growth of areas and later the ISOSEG classifier was used to classify the segmented image. The methodology employed showed useful in the distinction among the areas of primary forest, secondary forest deforested areas and areas wich suffered forest exploration. As end result we present a map of the types of vegetable covering of the studied area.

Key-words: linear spectral mixture model, classification, vegetation, Amazon forest, modelo linear de mistura espectral, classificação, vegetação, Floresta Amazônica.

1- Introdução

A Floresta Amazônica tem um papel importante na manutenção da biodiversidade, clima e hidrologia regionais e estoque de carbono terrestre. Entretanto, esta mesma região possui a maior taxa absoluta de desmatamento do mundo, principalmente na Amazônia Legal Brasileira, a qual corresponde a 70% da área total, com uma taxa anual de desflorestamento médio desde o ano de 1995 de 2 milhões de hectares por ano (INPE, 2000).

Os fatores que influenciam este processo estão baseados, de acordo com Laurance *et al.* (2002) na densidade populacional na região, proximidades a infra-estrutura viária e a duração e severidade da estação seca, os quais aumentam as taxas de desmatamento. A intensa pressão exercida sobre estes recursos naturais requer um acompanhamento de sua evolução.

Para avaliar tal fenômeno de forma rápida e eficaz é necessário que haja informação temática que mostre o estado atual dos recursos naturais e seu conseqüente uso pelo homem, tornando-se possível propor prioridades de zoneamento ecológico e fiscalização de forma mais eficiente.

Tendo em vista a preocupação da sociedade em monitorar o desmatamento na Amazônia o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais há muitos anos, promove, através do projeto PRODES, a interpretação de imagens do satélite Americano Landsat tendo como objetivo acompanhar a evolução do desflorestamento bruto da Amazônia Legal, por meio do Software de Sistema de processamento de Informações Geográficas - SPRING, desenvolvido pelo INPE.

O problema da mistura espectral intra-pixel é o principal fator de erro na classificação de imagens de satélite por intermédio da classificação convencional. Baseado na constatação de Matter (1999) de que a complexidade da interação dos elementos dentro do ambiente florestal dificulta o processo de classificação de imagens orbitais, pois o valor do *pixel* não representa o valor de apenas um alvo e sim a interação destes, é possível resolver tal problema por meio

da utilização de um modelo linear de mistura espectral para estimar a proporção de cada alvo dentro do *pixel*.

Para a resolução deste problema, visando melhorar as classificações convencionais, as quais são geralmente baseadas na informação espectral dos pixels citam-se os trabalhos elaborados por Shimabukuro e Smith (1991), Shimabukuro *et al.* (1998), entre outros.

A utilização das informações contidas nas diversas bandas pela classificação e, também diversas relações *pixel a pixel* ou agregação destes, de modo que *pixels* com características mais similares sejam agrupados em classes determinadas pelo usuário (método supervisionado) ou pelo computador (método não supervisionado).

Neste trabalho, o tipo de classificação utilizado leva em conta a agregação de *pixel*, o qual se baseia nas características estatísticas de uma região, obtidas por uma segmentação anterior. O classificador não supervisionado (ISOSEG) foi o escolhido, de acordo a metodologia do PRODES DIGITAL (Duarte *et al.*, 1999). Após segmentação, o qual é uma técnica de extração de objetos e seus atributos da imagem fração, esta então é classificada e mapeada para as classes de interesse.

Haja vista ao exposto anteriormente, este trabalho visa realizar a classificação de parte da região central da Floresta Nacional do Tapajós, Pará-BR e entorno, utilizando imagens fração do sensor CCD/CBERS-2, considerando as componentes vegetação, solo e sombra. Tais imagens-fração foram geradas a partir de um modelo linear de mistura espectral proposto por Shimabukuro e Smith (1991), implementado no SPRING, desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo situa-se na região central da Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós, mais precisamente na localidade de Aveiro e região fronteiriça com o rio de mesmo nome localizada no sul da cidade de Santarém, estado do Pará-Brasil (**Figura 1**). As coordenadas geográficas da área de estudo são 55 ° 30' a 54° 36'Oeste e 2 °30' a 4°18'Sul.



Figura 1: Mapa de localização da FLONA do Tapajós.

De acordo com (IBAMA, 2004) a FLONA Tapajós foi criada pelo **Decreto nº 73.684**, de 19 de fevereiro de 1974, no oeste do estado do Pará, em uma região conhecida como médio Amazonas. Sob jurisdição do IBAMA, é limitada a Oeste pelo Rio Tapajós e a Leste pela Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163), possui uma área de aproximadamente 545 mil hectares e se localiza nos municípios de Belterra, Aveiro, Placas e Rurópolis. Possui 28 comunidades,

totalizando aproximadamente 1.100 famílias. A área é atualmente classificada como uma unidade de conservação da categoria de uso sustentável, e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para a exploração de florestas nativas.

Entretanto, a mesma apresenta áreas nas quais tem sido afetada por atividades humanas, tanto na agricultura e pecuária. De forma geral o processo de abertura de novas áreas dá-se pelo corte e queima de floresta. Em alguns locais, nota-se o abandono de áreas que se encontram atualmente em processo de regeneração.

2.2 Material Utilizado

2.2.1 Dados orbitais

Neste trabalho foram utilizadas imagens obtidas pelo sensor CCD/CBERS-2 órbita-ponto (168/104), o qual cobre uma faixa de 113 x 113 Km, com uma resolução espacial nominal de 20m, e cinco bandas espectrais, uma pancromática e outras 4 cobrindo a região do visível até o infravermelho próximo, adquiridas em 05/08/2005 .

A área de estudo foi selecionada em função da disponibilidade de dados CCD/CBERS-2 (bandas 3, 4 e 2) sem cobertura de nuvem, e na mesma região dos dados coletados de campo.

2.2.2 Softwares utilizados

O software ENVI versão 4.2 foi utilizado para o registro e reamostragem das imagens que posteriormente foram importadas para o software SPRING versão 4.3 desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), em ambiente Windows, onde foram realizados os demais processamentos digitais de imagens.

3. Metodologia

A metodologia segue os princípios do PRODES DIGITAL (Duarte et al., 1999; Valeriano et al., 2004), porém devido a complexidade da paisagem investigada o algoritmo de classificação não-supervisionado de agrupamento de dados (ISOSEG), onde a discriminação de classes tem como base os atributos estatísticos de região, dentro de certos limiares de aceitação, que no PRODES são de 90 a 95% (INPE, 2006) foram modificados para 99%, sobretudo pela complexidade do relevo da área em questão.

O trabalho de campo desenvolvido na área de estudo foi realizado no ano de 2005, por intermédio de cooperações técnico-científicas entre o INPE e o IBAMA na FLONA do Tapajós.

3.1 Etapas de Pré-Processamento

As imagens CCC/CBERS-2 foram registradas a partir do método imagem-imagem, utilizando-se as imagens ortorretificadas do sensor TM/Landsat-5 do programa “Global Land Cover Facility” do Departamento de Geografia da Universidade de Maryland (<http://www.landcover.org/index.shtml>).

3.2 Modelo Linear de Mistura Espectral

O primeiro passo para a geração do modelo linear de mistura espectral é a definição das componentes puras (solo, sombra e vegetação), o qual gera as imagens-fração solo, sombra e vegetação e, corresponde à identificação da proporção do padrão de resposta espectral dos diferentes alvos que compõe um elemento da cena, que de acordo com

Shimabukuro e Smith (1991) e Shimabukuro et al. (1998) representam a etapa inicial para a entrada no modelo de mistura espectral.

Como o objetivo principal do trabalho é gerar informações a respeito das características de sucessão florestal Matter (1999) elucidada que em áreas cobertas por vegetação seminatural, a variabilidade natural em um *pixel* de 20 ou 30 m incluirá diferentes tipos de coberturas, como herbáceas, solo exposto, arbustos, árvores e água. Dessa forma, o sensor captura a radiância integrada de todos os componentes (objetos) existentes na cena, sendo denominados, de acordo com (INPE, 1996) de componentes de mistura.

O modelo de mistura espectral assume que a partir da resposta espectral nas diversas bandas estima a proporção dos componentes Solo, Vegetação e Sombra para cada pixel a partir da resposta espectral das bandas originais da imagem CCD/CBERS-2, e gera as imagens-fração desses três componentes, através do método dos mínimos quadrados ponderados com restrição (**Equação 1**), em que a soma das frações para qualquer elemento deve ser igual a 1 (Shimabukuro e Smith, 1991).

Outra definição importante, de acordo com os mesmos autores é que o MLME é uma combinação linear dos componentes puros, sendo modelada como a soma de N componentes puros dentro do *IFOV*, ponderados pela proporção da área de cada material.

$$di = \sum_{j=1}^n s_{ij} a_j + e_i \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

di : observação na banda i ;

aj : proporção da componente j ;

s_{ij} : assinatura espectral para a componente j na banda i ;

e_i : erro de estimação intrínseco na banda i ;

n : número de componentes.

Uma simples constatação da aplicação do MLME, citado por Verona e Shimabukuro (2005) é que as áreas mais claras, na imagem fração, expressam maior proporção de área da componente considerada em uma região da imagem e vice-versa.

Foi feita uma reamostragem na composição colorida do CCD/CBERS-2, que de 20 X 20m, passaram a apresentar 60 x 60 m, com isso diminuindo o tempo de processamento e volume de dados, sem prejudicar o conteúdo da informação.

3.3 Segmentação das Imagens Fração

A segmentação foi realizada na imagem fração sombra (**Figura 3**), com limiar de 8 e área de 16, seguindo a metodologia do PRODES DIGITAL (Duarte *et al.*, 1999). A imagem-fração sombra foi utilizada na detecção das áreas ocupadas por florestas, com média quantidade de sombras e áreas desmatadas, com baixa quantidade de sombras, sendo de acordo com Shimabukuro e Smith (1991) escolhida por ser considerada a mais expressiva para separar floresta de não floresta e para caracterizar a estrutura do dossel. Além disso, esta componente possui pouca ou nenhuma contribuição, nas áreas de pastagem e solo exposto.

A segmentação aplicada a imagem fração em questão é uma técnica de dados, de acordo com (Bins *et al.*, 1992), na qual somente as regiões espacialmente adjacentes podem ser agrupadas. Entretanto, devido a existência de regiões muito pequenas, define-se um limiar de área, determinando o tamanho mínimo de uma região em *pixels*, com isso evitando a excessiva fragmentação da imagem (Shimabukuro e Smith, 1991 e Shimabukuro *et al.*, 1998).

Também é definido o limiar de similaridade que de acordo com Bufalo e Valeriano (2005) é o limiar mínimo abaixo do quais duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região. Todas as imagens-fração provenientes das bandas CCD 3 (R), CCD4

(G) e CCD2 (B) foram segmentadas pelo método de crescimento de regiões, conforme Bins *et al.*, (1996). Os mesmos autores citam que tal algoritmo de segmentação é baseado na tradicional técnica de crescimento de regiões, o qual consiste em um processo de iteratividade no qual regiões são agrupadas a partir de *pixels* individuais, implementado a partir de um agrupamento de regiões baseado no conceito de região vizinha mais similar.

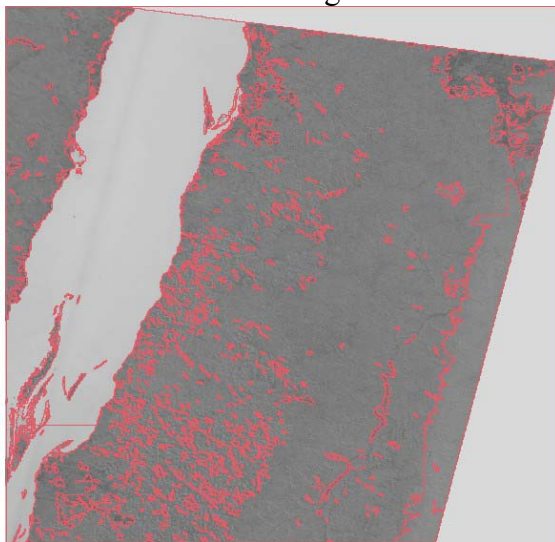


Figura 3: Segmentação da imagem fração sombra pelo método de crescimento de regiões, geradas por meio do modelo linear de mistura espectral.

3.4 Classificação de Floresta Primária e secundária e áreas de não floresta

Partindo do pressuposto que a componente solo não é muito expressiva dentro do ambiente florestal utilizou-se a segmentação da imagem fração sombra e vegetação para a classificação da floresta, com intenção de acrescentar áreas com características sucessionais secundárias, permitindo assim a comparação do comportamento espectral de diferentes classes sucessionais com características estruturais e fitofisionômicas distintas.

Após a segmentação das imagens-fração sombra e vegetação, criou-se um arquivo de contexto no qual continha a informação das imagens utilizadas no processo e em seguida procedeu-se com a extração das regiões. No presente trabalho foi utilizado o classificador não supervisionado ISOSEG, seguindo a metodologia do PRODES DIGITAL (Duarte *et al.*, 1999).

De acordo com INPE (2006) o classificador ISOSEG, seguindo a metodologia do PRODES Digital, que é um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionados, aplicado sobre um conjunto de regiões previamente segmentadas. É uma técnica para classificação que procura agrupar regiões, a partir de uma medida de limiares de aceitação, pré-determinados que varie conforme a complexidade da paisagem investigada. As imagens CCD/CBERS-2 previamente segmentadas foram classificadas pelo ISOSEG, algoritmo este implementado no SPRING, utilizando os limiares de aceitação de 95% ou 99%, dependendo da complexidade da paisagem.

Conforme discutido anteriormente, nas áreas não cobertas por floresta a componente sombra não tem uma contribuição efetiva, sendo utilizadas para a classificação a segmentação das imagens fração solo e vegetação, posteriormente classificadas pelo método de classificação não supervisionado (ISOSEG).

Após estes procedimentos para a definição da classificação de floresta primária, secundária e áreas de não floresta foi elaborado um mapa de classificação da região do estudo, conforme **Figura 4**.

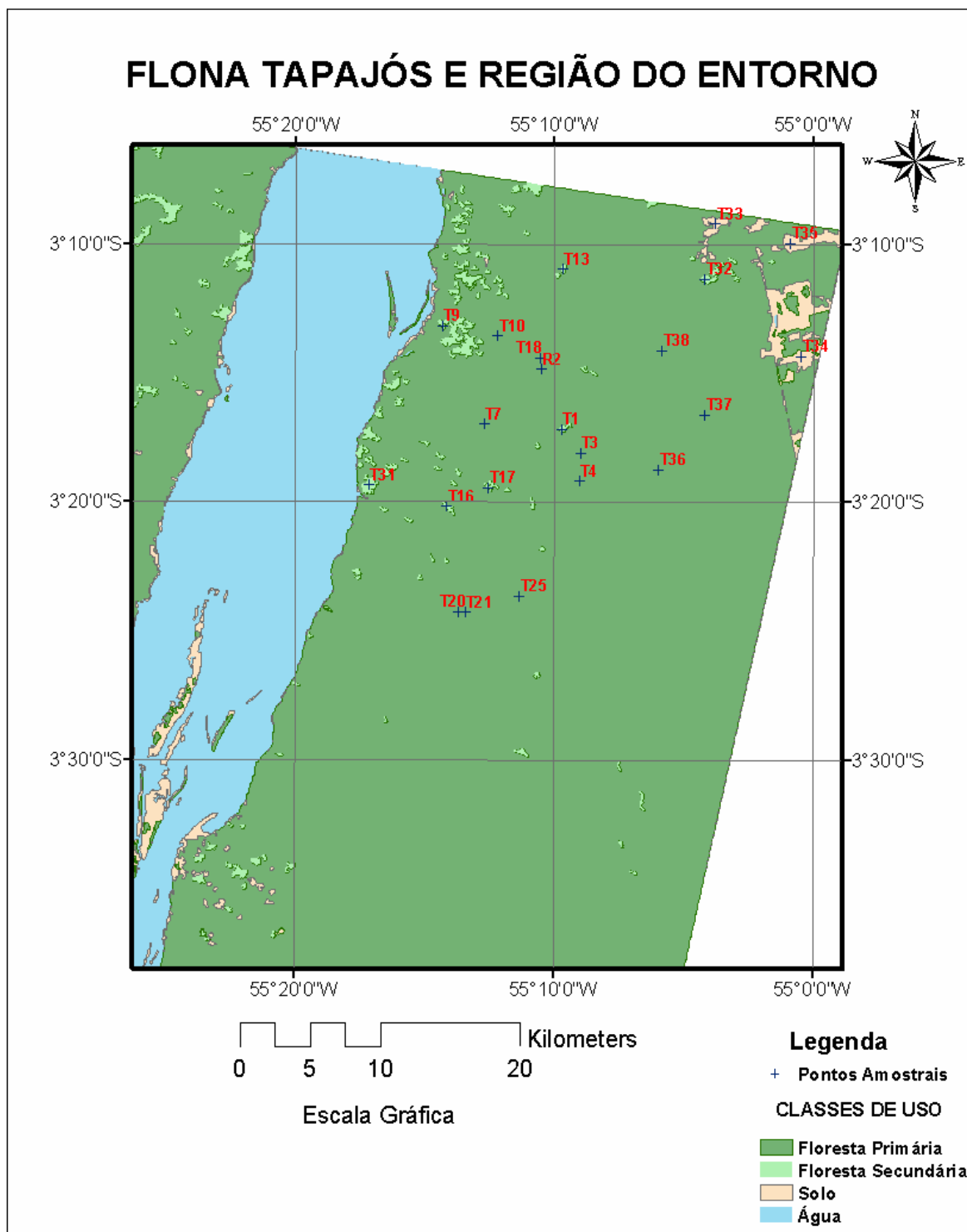


Figura 4: Classificação da FLONA de Tapajós e região do entorno, por meio da utilização do classificador ISOSEG.

4. Resultados e Discussão

O diagrama de dispersão da **Figura 5** mostra a proporção de cada componente (solo, sombra e vegetação) em áreas as quais foram verificadas durante o trabalho de campo na área de estudo.

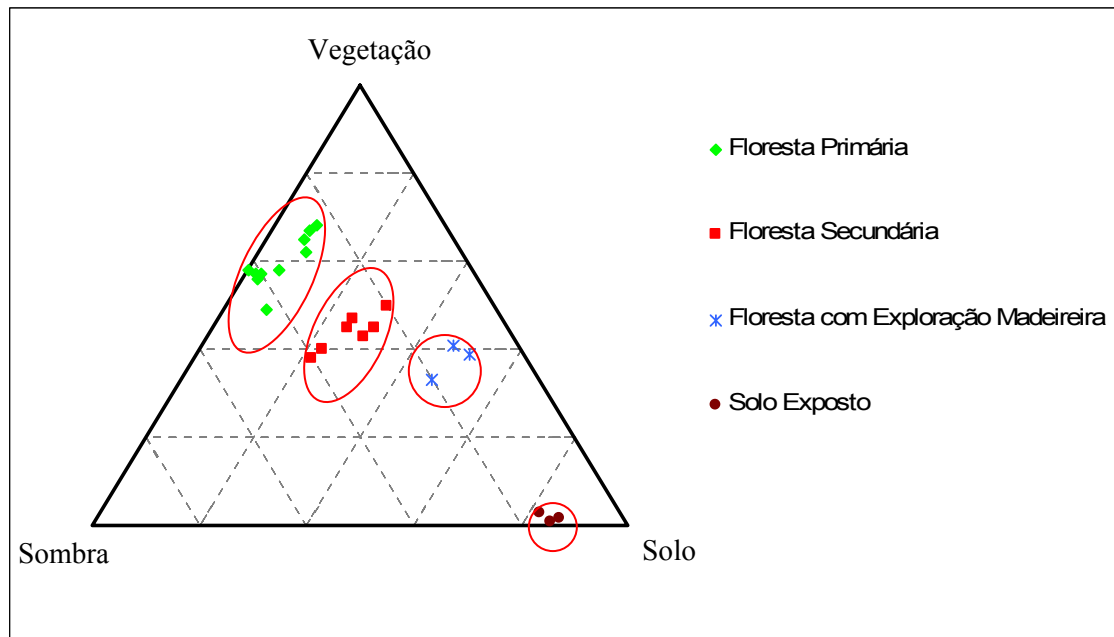


Figura 5: Diagrama de dispersão dos componentes de mistura em relação aos tipos de cobertura na Floresta Nacional do Tapajós.

Foi possível notar por intermédio da exploração visual das imagens fração solo, sombra e vegetação, conjuntamente com o diagrama de dispersão da figura 9, as seguintes observações:

- Por intermédio do diagrama de dispersão (Figura 9) foi possível identificar a formação de quatro grandes grupos de cobertura do solo, em função da proporção de área que possuem em cada componente: Floresta Primária, Floresta Secundária, Floresta com Exploração madeireira e solo exposto;

- Não houve a formação de nenhum subgrupo nas áreas cobertas por floresta primária e secundária, possivelmente devido a boa diferenciação que a imagem fração sombra proporciona na discriminação de diferentes graus de sucessão florestal.

- De forma geral a componente solo é de grande importância na delimitação da floresta com exploração madeireira, pois apresenta maior contribuição dessa componente;

- A floresta secundária, neste caso pode ser considerada de estágio médio a avançado de regeneração, apresentando maior variabilidade na resposta, provavelmente por apresentar variações na quantidade destas componentes.

5. Conclusões

O conjunto das componentes solo e sombra mostrou-se muito eficaz para a distinção de classes sucessionais, porém de forma mais destacada a componente solo demonstrou ser mais eficaz na distinção de áreas com exploração madeireira.

As florestas secundárias apresentam proporções variadas de cada componente, pois há maior variação estrutural no interior da floresta, o que acarreta diferenças em altura, sombreamento, exposição do solo, entre outros.

O modelo linear de mistura espectral mostrou-se muito eficiente na delimitação e no entendimento da cobertura do solo na Região da Floresta Nacional do Tapajós e do entorno, sendo vantajoso para o mapeamento automático dos tipos de uso e cobertura do solo a partir da segmentação e classificação das imagens-fração solo, sombra e vegetação.

Referências Bibliográficas

Bins, L. S.; Fonseca, L. G.; Erthal, G. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, abr. 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. Disponível na biblioteca digital URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.30>. Acesso em: 05 ago. 2006.

Bins, L.S., Erthal, G.J., e Fonseca, L. M.G. Um método de classificação não-supervisionada por regiões. **Proceedings of Sixth Brazilian Symposium on Graphic Computation and Image Processing**. Recife, Brasil, 1992. pp. 65-68.

Bufalo, A. C. e Valeriano, D. M. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4383-4390.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. Projeto PRODES. 2006 [on line]. <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em: 02 set. 2006.

Duarte, V. Shimabukuro, Y.E.; Santos, J.R. dos; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C.; Moreira, M.A.; Souza, R.C.M. de; Shimabukuro, R.M.K.; Freitas, U.M. de **Metodologia para a criação de dados digitais da Amazônia - Projeto BADDAM**. São José dos Campos. 33p. (INPE-7039-PUD/036). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1999.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **SPRING**: Manual do Usuário, 1996. Disponível em: <www.inpe.br/spring>. Acesso em: 15 ago. 2006.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Deforestation estimates in the Brazilian Amazon, 1998-1999. Projeto PRODES. 2000. [on line]. <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em: 8 ago. 2006.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). **Decreto nº 73.684**: Decreto de criação da FLONA do Tapajós, 2004. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/flona_tapajos/index>. Acesso em: 12 ago. 2006.

Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images**: an introduction. 2 ed. Great Britain: John Wiley, 1999. 291p.

Laurance, W. F.; Albernaz, A. K. M.; Schroth, G.; Fearnside, P. M.; B. S.; Venticinque, E. M.; Da Costa. C. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Biogeography**. v. 29, p. 737-748, 2002.

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, p. 16-20, 1991.

Shimabukuro, Y. E.; Batista, G. T.; Mello, E. M. K.; Moreira, J. C. Duarte, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper of the Amazon Region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 3, p. 535-541. 1998.

(Universidade de Maryland – Departamento de Geografia) Programa Global Land Cover Facility, 2006. Disponível em: <<http://www.landcover.org/index.shtml>>. Acesso em: 15 ago. 2006.

Valeriano, D. M.; Mello, E. M. K.; Moreira, J. C.; Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V.; Souza, I. M.; Santos, J. R.; Barbosa C. C. F.; Souza, R. C. M. Monitoring tropical forest from space: the Prodes Digital project. In: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) - Technical Commission VII, 12-23 July, Istanbul, Turkey. **Proceedings...** Istanbul: ISPRS, 2004. v. 35 part. b. 1 CD-ROM. . Commission VII, WG VII/3 Integrated Monitoring Systems for Resource Management. ISSN 1682- 1777. (INPE-11416- PRE/6852). Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1912/col/sid.inpe.br/sergio/2004/09.23.13.44/doc/monitoring%20tropical%20forest.pdf>> Acesso em 05 nov. 2004.

Verona, J. D e Shimabukuru, Y. E. Classificação da cobertura vegetal da região norte da FLONA do Tapajós utilizando a segmentação de imagens-fração. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1685-1689.