

Aplicação da Metodologia do PRODES Digital em Imagens CCD/CBERS-2

Giovana Mira de Espindola¹
Natalia de Almeida Crusco¹
José Carlos Neves Epiphanyo¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{giovana, natalia, epiphanyo}@itid.inpe.br

Abstract. This paper presents the results of a methodological approach to identify deforested areas using CCD images acquired by China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS-2). This methodology refers to the PRODES Digital Project, which develops an automatic procedure to analyze satellite data, using techniques of Linear Spectral Mixture Model, Image Segmentation and Classification by Regions.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, deforestation, CBERS-2.

1. Introdução

O processo de ocupação da Amazônia, a partir do final do século XX, caracterizou-se pela expansão da fronteira agrícola com padrões heterogêneos de ocupação (Becker, 1997). A construção de estradas e a implantação de grandes projetos de colonização, hidrelétricos e minerais são apresentados por Escada (2003) como fatores determinantes do padrão espacial de desmatamento.

As altas taxas de desflorestamento da Amazônia e seus possíveis impactos negativos no meio ambiente têm motivado uma série de estudos científicos que buscam entender as causas e as proporções do desflorestamento. Nesta linha, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem, desde 1989, produzindo estimativas anuais de taxas de desflorestamento da Amazônia Legal. Tais estimativas são produzidas pelo Projeto PRODES Digital, que utiliza técnicas de processamento digital de imagens visando à geração de um banco de dados geográfico multitemporal (INPE, 2004).

Para Alves (2001), o mapeamento de áreas desflorestadas é tradicionalmente feito através da análise de imagens do satélite Landsat. No entanto, segundo dados do *The United States Geological Survey* (USGS, 2004), desde maio de 2003, o satélite Landsat 7 apresenta problemas na aquisição de imagens ETM+. Tal problema tem afetado toda a comunidade de usuários que têm optado pelo uso de imagens TM do satélite Landsat 5. Não obstante, este último, lançado em 1984, já está além do seu tempo de operação previsto, devendo ser desligado nos próximos anos. A lacuna deixada pelos satélites da família Landsat deverá ser preenchida por diversos outros satélites que sejam compatíveis com a demanda dos usuários no que diz respeito à qualidade e a acessibilidade dos dados, podendo-se citar, o EOS Terra, o EOS Aqua e o CBERS-2.

Neste contexto, face à disponibilidade de um novo produto orbital de domínio brasileiro, este trabalho tem por objetivo estudar as potencialidades das imagens da câmera CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução) do satélite CBERS-2 (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) para a identificação de áreas desflorestadas na Amazônia pela aplicação da metodologia do Prodes Digital, avaliando sua efetividade através do cálculo de áreas e imagem diferença.

2. Fundamentação Teórica

2.1 O Satélite CBERS-2

Lançado em 21 de outubro de 2003, o satélite CBERS-2 apresenta as mesmas características técnicas do CBERS-1 (INPE, 2004). Analogamente, o satélite CBERS-2 é composto de dois módulos, o módulo carga útil e o módulo serviço. O primeiro acomoda os sistemas ópticos (CCD – Câmera Imageadora de Alta Resolução, IRMSS – Imageador por Varredura de Média Resolução e WFI – Imageador de Amplo Campo de Visada) e os eletrônicos usados para a observação da Terra e coleta de dados. O módulo serviço contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do satélite.

A órbita do satélite é heliossíncrona a uma altitude de 778 km, perfazendo cerca de 14 revoluções por dia. Em sua órbita, o satélite cruza o equador sempre à mesma hora local, 10:30 da manhã, demorando 26 dias para retornar ao mesmo ponto de cobertura da Terra. A câmera CCD do satélite CBERS fornece imagens em 5 bandas espectrais, com resolução de 20 m. A **Tabela 1** apresenta, comparativamente, as bandas do CCD/CBERS-2 (INPE, 2004) e do TM/Landsat-5 (USGS, 2004).

Tabela 1 – Comparação das bandas do CCD/CBERS e do TM/Landsat.

	CCD/CBERS	TM/Landsat
PAN	0,51 – 0,73 μm	-----
B1	0,45 – 0,52 μm	0,45 – 0,52 μm
B2	0,52 – 0,59 μm	0,52 – 0,60 μm
B3	0,63 – 0,69 μm	0,63 – 0,69 μm
B4	0,77 – 0,89 μm	0,76 – 0,90 μm
B5	-----	1,55 – 1,75 μm
B6	-----	10,42 – 12,50 μm
B7	-----	2,08 – 2,35 μm
Resolução	20 m	30 m

2.2 O Projeto PRODES

Para Duarte et al. (2003), o Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia – Projeto PRODES Digital – tem como objetivo mapear a extensão do desflorestamento bruto da Amazônia Brasileira através de processamento digital de imagens TM/Landsat. Tal processamento engloba, prioritariamente, as técnicas de modelo linear de mistura espectral, segmentação de imagens por crescimento de regiões e classificação por regiões, todas implementadas e disponíveis no software SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo INPE (2004).

2.3 Técnicas de Processamento Digital de Imagens

2.3.1 Modelo Linear de Mistura Espectral

O modelo linear de mistura espectral (MLME) visa estimar para cada pixel da imagem a proporção dos componentes solo, vegetação e sombra, a partir da resposta espectral nas bandas do sensor, gerando as imagens fração solo, vegetação e sombra (Shimabukuro e Smith, 1991). Este modelo pode ser descrito segundo a equação a seguir:

$$r_i = a \cdot vege_i + b \cdot solo_i + c \cdot sombra_i + e_i$$

onde,

r_i é a resposta espectral do pixel na banda i ;

a, b, c são respectivamente as proporções de vegetação, solo e sombra;
 $vege_i, solo_i, sombra_i$ são respectivamente as respostas espectrais das componentes vegetação, solo e sombra;
 e_i é o erro na banda espectral i .

Dos procedimentos usados na estimação das proporções das componentes de um dado pixel, o mais aceito atualmente utiliza o método dos mínimos quadrados para a solução de um sistema de equações lineares. A descrição do método dos mínimos quadrados para modelo linear de mistura espectral é detalhada em Shimabukuro e Smith (1991).

2.3.2 Segmentação de Imagens

O processo de segmentação consiste em subdividir uma imagem em regiões homogêneas considerando alguns de seus atributos, como por exemplo, o nível de cinza dos pixels e a textura, visando caracterizar a representatividade dos objetos da cena (Bins et al., 1996). A segmentação pressupõe a geração de objetos internamente homogêneos e estatisticamente distintos de seus vizinhos, que serão gerados segundo critérios de descontinuidade e similaridade.

O algoritmo de segmentação proposto por Bins et al. (1996) é baseado na tradicional técnica de crescimento de regiões, que consiste em um processo de iteratividade no qual regiões são agrupadas a partir de pixels individuais. Tal implementação propõe um agrupamento de regiões baseado no conceito de região vizinha mais similar. Neste método são definidos dois limiares, o primeiro é o de similaridade, abaixo do qual duas regiões são consideradas similares e o segundo é o de área, valor de área mínima para que uma região seja individualizada.

2.3.3 Classificação de Imagens

Segundo Bins et al. (1993), o classificador Ioseg é um algoritmo de agrupamento de dados não supervisionado que usa a matriz de covariância e o vetor de média das regiões para estimar a média de cada classe. Nesta implementação, a medida de similaridade entre as classes consiste na distância de Mahalanobis, que caracteriza a separabilidade dos *clusters* presentes na imagem.

Dos métodos de pós-classificação, existem alguns destinados à avaliação do classificador não-supervisionado, como os métodos de imagem diferença e cálculo de áreas. No método de imagem diferença, atribui-se a referência de campo a um dado temático confiável e se realiza a diferença entre o dado proveniente da classificação e o da referência. No método de cálculo de áreas, calcula-se a área para cada classe temática tanto do dado de referência quanto do dado gerado na classificação, comparando-se os valores para as classes correspondentes.

3. Materiais e Métodos

Conforme proposto em INPE (2004), as imagens utilizadas neste estudo correspondem a uma área representativa da floresta Amazônica, da época de seca (correspondente geralmente aos meses de julho, agosto e setembro), com cobertura mínima de nuvens e com boa qualidade radiométrica. Tais imagens (**Figura 1**) correspondem a uma cena CCD/CBERS (167/113) de 09/08/2004 e parte de uma cena TM/Landsat-5 (227/68) de 30/07/2004.

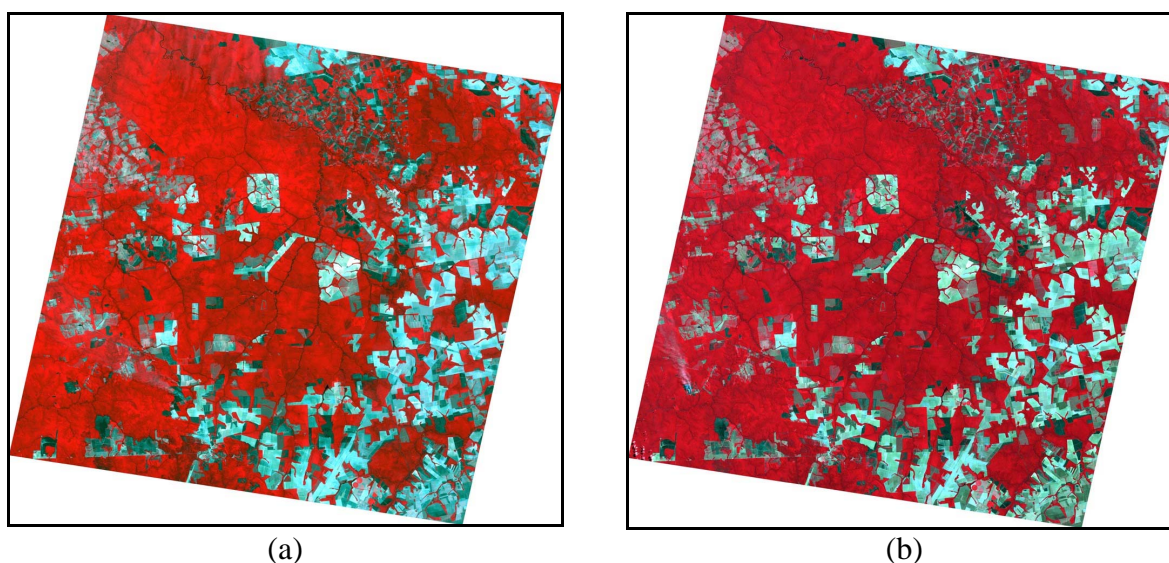


Figura 1 – Composição Colorida 4(R)3(G)2(B), (a) imagem CCD 167/113 de 09/08/2004 e (b) imagem TM 227/68 de 30/07/2004.

Tendo como base a metodologia apresentada por Mello et al. (2003), este trabalho foi desenvolvido de acordo com a seguinte seqüência:

a. Seleção do Material: seleção das imagens do ano de interesse com cobertura de nuvens mínima;

b. Georreferenciamento das Imagens: segundo Crósta (1993), as imagens geradas por sensores remotos são sujeitas a uma série de distorções espaciais; não possuem, portanto, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Desta forma, neste trabalho, as imagens foram georreferenciadas utilizando-se pontos de controle que foram usados no ajuste de um polinômio de mapeamento de 1º grau. Após isso, fez-se uma análise da qualidade do georreferenciamento com pontos de teste, que deram uma idéia não tendenciosa da precisão desta etapa.

c. Reamostragem: a imagem georreferenciada foi reamostrada para uma resolução espacial de 60 x 60 m.

d. Modelo Linear de Mistura: neste trabalho foram geradas as imagens-fração sombra, solo e vegetação, sendo que esta última não foi utilizada nas etapas subsequentes pois as primeiras tendem a proporcionar um melhor contraste entre áreas de floresta e áreas desflorestadas.

e. Segmentação das Imagens-Fração Sombra e Solo: as imagens-fração sombra e solo foram segmentadas pelo método de crescimento de regiões, utilizando 8 e 16 como limiares de similaridade e área, respectivamente.

f. Classificação das Imagens-Fração Sombra e Solo Segmentadas: o classificador usado nesta etapa do trabalho foi o Isoseg, utilizando-se limiares de aceitação de 99%. Os temas resultantes desta classificação foram associados às classes floresta, não-floresta e desflorestamento.

g. Pós-Classificação: foram usados os métodos de imagem diferença e cálculo de áreas.

4. Resultados e Discussão

A metodologia utilizada na classificação de imagens TM/Landsat-5 para o desflorestamento da Amazônia contempla as bandas 3, 4 e 5 deste sensor. Como o objetivo principal deste trabalho é o uso da mesma metodologia com os dados do sensor CCD/CBERS-2, optou-se por utilizar a composição das bandas 2, 3 e 4, uma vez que a câmera CCD não possui uma banda na faixa espectral do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Neste sentido, realizaram-se

análises nas frações sombra e solo derivadas da composição 234 para as imagens CCD e TM, e 345 para as imagens TM.

Para a composição 345 da imagem TM/Landsat-5 foram geradas, pelo MLME, as frações solo, sombra e vegetação. Nesta composição, segundo Mello et al. (2003), a fração sombra proporciona um grande contraste entre áreas florestadas e áreas desflorestadas, uma vez que a quantidade de sombras produzidas por estes dois alvos é bastante distinta. Da mesma forma, a fração solo (**Figura 2**) apresenta resposta bem diferenciada para as duas áreas citadas acima. Observa-se que tanto a fração solo como a fração sombra são úteis na diferenciação de floresta e não-floresta.

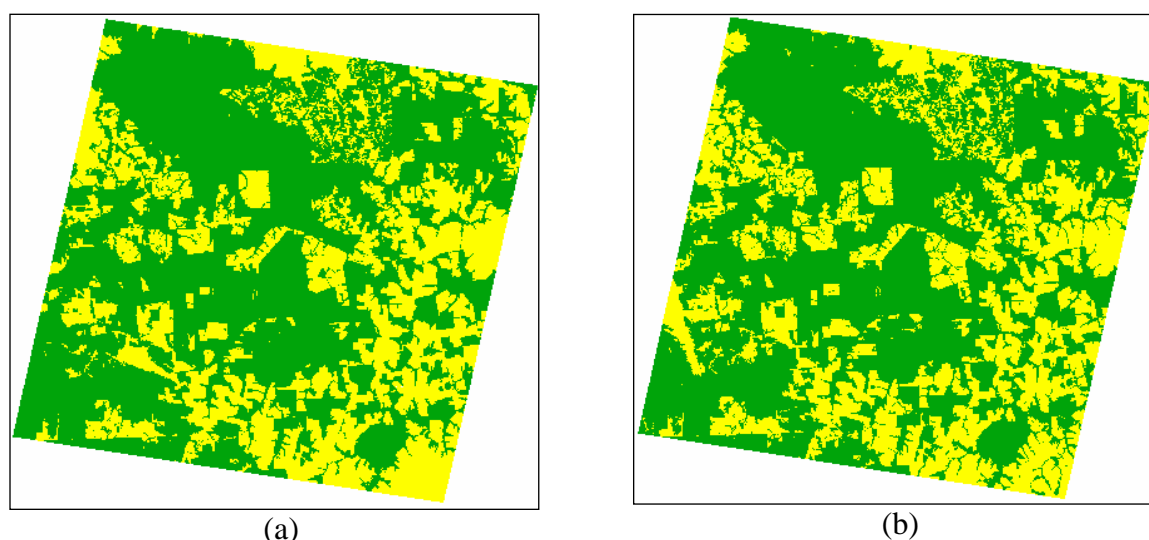


Figura 2. Imagens-fração solo classificadas. (a) CCD/CBERS e (b) TM/Landsat

Da composição 234 foram geradas seis imagens-fração: solo, sombra e vegetação, sendo três para a CCD e três para o TM. Nesta composição também foi descartada a imagem-fração vegetação, com a finalidade de seguir a metodologia utilizada do projeto PRODES Digital. Pela ausência de uma banda no SWIR e presença de uma banda no verde, esta composição apresentou melhores resultados para a imagem-fração solo, já que a banda do SWIR é responsável pelas diferenças de sombra na floresta e nas áreas desflorestadas. A **Tabela 2** mostra um diagrama das melhores imagens-fração para extrair a informação de desmatamento nas diferentes composições.

Tabela 2. Relação da resposta espectral em diferentes composições nas imagens-fração.

Fração	Composição 234		Composição 345	
	Classe		Classe	
	Floresta	Desflorestamento	Floresta	Desflorestamento
Solo	X	O	X	O
Sombra	X	X	O	X
Vegetação	O	O	O	O

Pela análise da Tabela 2 é possível perceber que a informação de desmatamento pode ser obtida através das duas composições (234 e 345). Os símbolos da tabela representam sua resposta na imagem-fração, onde “O” significa alta porcentagem do elemento no pixel e “X” baixa porcentagem do elemento no pixel. Como mencionado anteriormente, o sensor CCD/CBERS-2 não possui a banda 5; assim, resta somente a opção da composição 234. Nesta

composição somente a fração solo consegue diferenciar áreas de florestas de áreas desflorestadas. As cores associadas à composição mostram que é possível a distinção dos alvos na fração em questão.

Para a fração vegetação, a resposta é sempre alta, já que nas duas composições existe a banda 4, que é fortemente relacionada com a vegetação. Mesmo para áreas desflorestadas há uma resposta de vegetação, uma vez que estas áreas podem estar sofrendo processo de regeneração. Apesar de a resposta nas áreas desflorestadas não ser tão alta quanto em áreas florestadas, a diferença entre elas não permite a distinção entre as duas classes nas duas composições. Portanto, nesta fração existe maior confusão na classificação diferenciada destas duas classes.

Para a fração sombra, apenas a composição 345 consegue diferenciar a floresta do desmatamento; isto porque a banda do SWIR está relacionada com a intensidade da sombra presente nestas áreas. Como a composição 234 não apresenta esta banda, não é possível a distinção clara entre os alvos, impossibilitando o uso desta fração nesta composição.

Em relação à fração solo, tanto na composição 234 como na composição 345 é possível distinguir os alvos. Mas para o objetivo principal do trabalho, que é a utilização do sensor CCD/CBERS-2, a composição 234 se mostra eficiente, podendo diferenciar áreas florestadas de áreas desflorestadas, assim como a composição 234 para a imagem TM/Landsat-5.

A comparação entre as classificações feitas para as frações solo e sombra, nas composições 234 e 345, é mostrada na **Tabela 3**. A diferença na fração solo entre os dois sensores foi de 0,89% para a composição 234 na classe floresta e 1,47% para a classe de desmatamento. Grande parte desta diferença se deve à classificação da imagem fração solo para a CCD, que não distinguiu como áreas de floresta, principalmente as matas ciliares presentes em regiões desmatadas (**Figura 2**).

Tabela 3. Área por classe para cada imagem fração nos dois sensores (km²).

Imagem-Fração	Floresta	Desmatamento	Total
Solo (Landsat) 234	6.729,00	3.686,91	10.415,91
Solo (CBERS) 234	6.789,45	3.632,44	10.421,89
Sombra (Landsat) 234	8.494,75	1.921,16	10.415,91
Sombra (CBERS) 234	9.372,72	1.049,38	10.422,10
Solo (Landsat) 345	6.953,15	3.462,78	10.415,93
Sombra (Landsat) 345	7.409,45	3.010,40	10.419,85

Foi gerada uma representação matricial da diferença entre as classificações obtidas para a fração solo, composição 234 dos sensores CCD e TM (**Figura 3**). Esta representação mostra quais áreas foram classificadas na mesma classe para os dois sensores, e quais áreas foram classificadas em classes distintas, tanto para o CCD quanto para o TM.

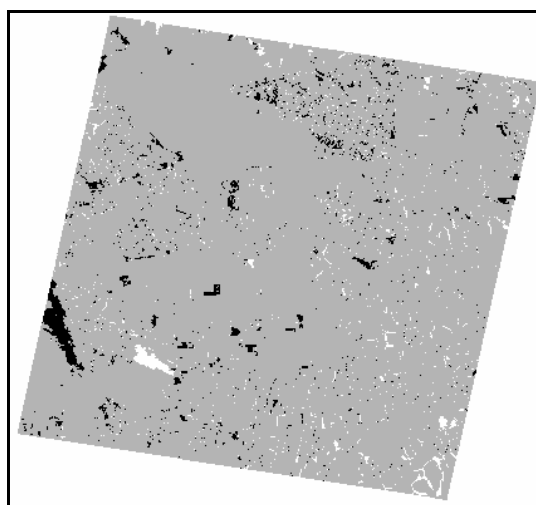


Figura 3. Imagem diferença entre a fração solo do CCD/CBERS-2 e TM/Landsat-5 obtidas a partir das bandas 234.

Esta figura mostra que 94,79% da área foi atribuída à mesma classe tanto para o CCD quanto para o TM (área cinza). A classe de cor preta representa as áreas que foram classificadas como floresta no CCD e como desmatamento no TM, somando 2,88% da área total; e a classe branca indica as áreas que foram classificadas como floresta no TM e desmatamento na CCD (2,32%).

A fase de edição matricial presente na metodologia do PRODES não foi realizada. Esta edição está intimamente relacionada à capacidade do intérprete em avaliar cada área e modificar a classe identificada pelo algoritmo de classificação utilizado. Como o objetivo é a avaliação do sensor CCD na classificação das imagens, optou-se por não adotar esta etapa. Assim, os resultados obtidos para os dois sensores são referentes apenas à habilidade do classificador em distinguir as classes. É possível que a realização da edição matricial diminua a diferença encontrada entre as frações solo para os dois sensores.

5. Conclusão

A aplicação da metodologia do Projeto PRODES Digital foi realizada com sucesso para as imagens CCD/CBERS-2, desde a fase de escolha das imagens à fase de classificação, passando pelo registro, modelo linear de mistura espectral, segmentação e degradação, as imagens CBERS-2 não apresentaram nenhuma limitação quanto ao objetivo deste trabalho. A imagem-fração que melhor contribuiu para a distinção entre as áreas de floresta e não-floresta foi a fração solo. A metodologia realizada pelo PRODES utiliza imagens TM/Landsat-5 com a composição 345 e as frações sombra e solo. O mesmo não pode ser feito em imagens CCD/CBERS-2, já que esta não possui a banda do SWIR, assim, optou-se por utilizar a composição 234 e a fração solo. Com base nos resultados obtidos foi possível constatar que as diferenças entre as frações solo da CCD e do TM foram mínimas. O uso do processo de edição matricial provavelmente diminuiria esta diferença.

Referências

- Alves, D. S. O processo de desmatamento na Amazônia. In: **Parcerias Estratégicas**. nº12. Setembro, 2001. p. 259-275.
- Becker, B. K. **Amazônia**. 5 ed. São Paulo: Editora Ática, 1997. 112 p.
- Bins, L. S.; Fonseca, L. G.; Erthal, G. Um método de classificação não-supervisionada por regiões. In: *Proceeding of the 6th Brazilian Symposium on Graphic Computation and Image Processing*, Recife. 1993.

Anais. São José dos Campos: INPE, 1993. Disponível na biblioteca digital URLib: <sid.inpe.br/banon/2001/04.06.11.27 >. Acesso em: 20 out. 2004.

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: 02 nov. 2004.

Crósta, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: IG/Unicamp, 1993. 149 p.

Duarte, V.; Shimabukuro, Y.; Aulicino, L. Metodologia para padronizar e atualizar o banco de dados do Projeto “Prodes Digital”. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2705-2712. Disponível na biblioteca digital URLib: <tid.inpe.br/sbsr/2002/19.314>. Acesso em: 30 out. 2004.

Escada, M. I. B. **Evolução de padrões da perra na pegião pentro-porte de Rondônia.** 2003. 157 p. (INPE – 10209-TDI/899). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003. Disponível na biblioteca digital URLib: <sid.inpe.br/jeferson/2003/06.30.13.31>. Acesso em: 17 jul. 2004.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **CBERS.** São José dos Campos. 2004. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br>. Acesso em: 09 nov. 2004.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **PRODES Digital.** São José dos Campos. 2004. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodesdigital/metodologia.html>. Acesso em: 10 set. 2004.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **SPRING.** São José dos Campos. 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring>. Acesso em: 07 nov. 2004.

Mello, E.; Moreira, J.; Santos, J.; Shimabukuro, Y.; Duarte, V.; Souza, I.; Barbosa, C.; Cartaxo, R.; Paiva, J. Técnicas de modelo da mistura espectral, segmentação e classificação de imagens TM-Landsat para o mapeamento do desflorestamento da Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2705-2712. Disponível na biblioteca digital URLib: <tid.inpe.br/sbsr/2002/19.314>. Acesso em: 30 out. 2004.

Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. In: **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 29, p. 16-20, 1991.

The United States Geological Survey (USGS). **Landsat Project.** Disponível em: <http://landsat.usgs.gov>. Acesso em: 14 out. 2004.