

# Desempenho dos dados de radar aerotransportado (R99B-SAR) na identificação de cobertura vegetal e na discriminação de áreas com exploração seletiva no sul do Pará

Raquel Trevizam <sup>1</sup>,  
Erika Regina Prado do Nascimento <sup>2</sup>,  
Edson Eyji Sano <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - Censipam  
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco K - CEP: 70610-200, Brasília, DF  
raquel.trevizam@sipam.gov.br

<sup>2</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA  
SCEN Trecho 2, Ed. Sede Bloco C, Cx. Postal 09870 - CEP 70818-900 - Brasília-DF  
erika.nascimento@ibama.gov.br

<sup>3</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa  
BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina, DF  
sano@cpac.embrapa.br

**Abstract.** This study aims to analyze the potential of the radar data acquired by the R99B/SAR sensor (L-band and HH and HV polarizations) to identify representative vegetation cover classes and to discriminate representative selective logged areas in the southern part of Para State, Brazil. It was analyzed a set of nine scenes obtained as part of the mission conducted by CENSIPAM and identified as the Mission of Terra do Meio in 2006. This mission was realized in three parts, in different moments. Promising results were showed by SAR data for discriminating between natural and antropogenetic vegetation covers as well as between natural vegetation of Amazonia biome from phytophysionomies of other biomes. It was not possible to discriminate primary and secondary vegetation covers or among the forest covers located in riverstreams, lowlands and highlands. The radar imagery also showed poor results in terms of identification of selective logged areas, mainly because of 3-year time lag between field logging activities and airplane data acquisition. Another factor that may have contributed to the weak performance of the image segmentation of the R99B-SAR data was the use of the PROSAR software, which was conceived to allow rapid processing of large amounts of R99B-SAR raw data in operational systems such as MS Windows™.

**Palavras-chave:** remote sensing, selective logging, Amazônia, sensoriamento remoto, corte seletivo.

## 1. Introdução

No Brasil, a maioria das florestas nativas tem sido explorada de maneira predatória, sem considerar os princípios do manejo ou da produção sustentada. A exploração convencional conhecida como corte raso é o tipo de prática ainda predominante nas áreas sob atividade madeireira na Amazônia, sendo caracterizada pela falta de planejamento, onde estradas e pátios de estocagem seguem uma rota tortuosa e mais longa, os cipós não são cortados antes da exploração e as árvores são derrubadas sem seguir nenhum plano de manejo (Johns et al., 1996; Vidal et al., 1997; Holmes et al., 2002), causando grande impacto na floresta. No entanto, uma outra forma de exploração florestal, o corte seletivo, vem tendo destaque cada vez maior entre os cientistas, ambientalistas e tomadores de decisão que atuam na Amazônia. Segundo Scolforo (1997), o corte seletivo corresponde a um conjunto de tratamentos silviculturais baseado na produção sustentada e que permite a retirada seletiva de árvores produtivas (floresta balanceada). Entretanto, o que se observa na Amazônia é que o corte seletivo aumenta consideravelmente a vulnerabilidade da floresta ao fogo, pois quando este entra na floresta, ele deixa clareiras, aumenta a carga de combustível e seca o sub-bosque, elevando o risco de futuras queimadas e da completa degradação da floresta (Fearnside, 2005). Além disso, como o sistema de produção regional ainda é centrado no corte seletivo de

espécies, ocorre um gradual empobrecimento da floresta e talvez a extinção das espécies mais intensivamente exploradas (Barbosa et al., 2001).

O método tradicional de interpretação visual tem sido utilizado por vários autores para detectar e delinear áreas de corte raso, ou seja, áreas com exploração tradicional de madeira a partir de dados multitemporais do satélite Landsat/TM (Stone e Lefebvre, 1998; Santos et al., 2001; Asner et al., 2002). Isto é possível porque as áreas afetadas pela exploração são facilmente identificáveis uma vez que a diferença na biomassa entre a área florestal e onde ocorreu o corte raso é significativa. Por outro lado, áreas com exploração seletiva apresentam dificuldades em sua identificação. Isto se deve ao fato de que as áreas de exploração seletiva são compostas de uma combinação heterogênea de alvos, tais como copas de árvores intactas, copas danificadas, vegetação secundária, vegetação de sub-bosque e matéria seca exposta, que apresentam um padrão de resposta espectral semelhante àquelas de outras classes presentes na paisagem sendo analisada (Stone e Lefebvre, 1998; Matricardi et al., 2001).

Algumas pesquisas têm sido conduzidas para desenvolver técnicas de classificação digital com o objetivo de aumentar a exatidão do mapeamento de áreas florestais afetadas por atividades de corte seletivo. Alguns estudos apoiados em métodos de detecção automática de áreas afetadas pela extração seletiva, principalmente para identificação de pátios de estocagem, têm sido aplicados no mapeamento e no monitoramento de exploração madeireira (Souza e Barreto, 2000; Matricardi et al., 2001; Monteiro et al., 2003). Souza Jr. et al. (2005) estudaram o uso de um índice baseado em imagens-fração, o NDFI (*Normalized Difference Fraction Index*) para mapeamento de áreas de corte seletivo. Contudo, este índice é baseado em dados do Landsat, cujo uso é limitado pela cobertura sazonal de nuvens nas áreas de interesse, cobertura temporal limitada a uma frequência pré-determinada e degradação e eventuais discontinuidades do Landsat.

De acordo com Monteiro (2005), os modelos de mistura espectral representam um método automático promissor para detectar feições e impactos da exploração madeireira nas florestas da Amazônia. Esta técnica permite realçar, nas imagens de satélite, pátios e estradas (Souza Jr. e Barreto, 2000; Santos et al., 2002; Monteiro et al., 2003), além de estimar a área afetada e níveis de degradação florestal pela exploração (Qi et al., 2002; Souza Jr. et al., 2003; Asner et al., 2003). Outro método com potencial para o monitoramento é a segmentação multi-resolução e classificação orientada-a-objeto. Esta técnica foi desenvolvida para suprir as limitações das técnicas tradicionais de classificação de imagens, baseadas em métodos de classificação por pixel. A classificação orientada-a-objeto não considera apenas a informação espectral, mas também as informações espacial e contextual dos objetos, determinadas através de padrões locais na imagem por um grupo de pixels vizinhos (Monteiro, 2005).

Além das dificuldades de identificar corte seletivo via sensoriamento remoto, soma-se a dificuldade de obtenção de imagens ópticas sem cobertura de nuvens. Nas imagens de radar, a influência dos fatores climáticos não é significativa, ou seja, a perda de informação por causa da presença de nuvens não interfere na obtenção das imagens. Tais características mostram-se de grande aplicabilidade em regiões tropicais onde sensores ópticos sofrem grande restrição devido à alta probabilidade de ocorrência de nuvens (Asner et al., 2001; Dutra et al., 1999). O Brasil é um dos poucos países que possuem um sensor aerotransportado com capacidade de múltipla polarização. Tal sensor é conhecido como R99B-SAR, onde R99B é a plataforma ou a aeronave da Força Aérea Brasileira que transporta o sensor de radar de abertura sintética e que opera nas bandas X (comprimento de onda em torno de 3 cm) e L (comprimento de onda de aproximadamente 23 cm). Este sistema foi concebido em proveito da missão do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) e é operado pelo 2º Esquadrão do 6º Grupo de Aviação (2º/6º GAv) e permite imageamentos em quatro polarizações na banda L (HH, VV, HV e VH), uma polarização na banda X (HH) e em três resoluções espaciais (Souza Filho, 2004): 3 metros, 6 metros e 18 metros. O objetivo geral do trabalho consiste em avaliar o desempenho de dados

do sensor R99B-SAR (polarizações HH e HV) para discriminar classes de cobertura vegetal e identificar áreas com exploração seletiva na região sul do Pará.

## 2. Metodologia

A área de estudo compreende os segmentos 49, 50, 51, 65, 66, 67, 81, 82 e 83 de uma missão realizada pelo Centro Gestor e Operacional do SIPAM em uma região conhecida como Terra do Meio e encontra-se situada entre as longitudes 49° 42' 00" W e 48° 16' 00" W e entre as latitudes 01° 54' 00" S e 5° 51' 00" S. Esta região localiza-se basicamente no sul do Estado do Pará e engloba parte dos seguintes municípios: São Pedro da Água Branca no Estado do Maranhão; Dom Eliseu, São Domingos do Araguaia, Marabá, Baião, Itupiranga, Tucuruí, Novo Repartimento, Brejo Grande do Araguaia, Nova Ipixuna, São João do Araguaia, Bom Jesus do Tocantins, Ipixuna do Pará, Tailândia, Rondon do Pará, Cametá, Jacundá, Mocajuba, Abel Figueiredo, Moju, Goianésia do Pará, Eldorado dos Carajás, Limoeiro do Ajuru, Paragominas, Tomé-Açu, Palestina do Pará, Breu Branco, Abaetetuba, Igarapé-Miri, Acará no Estado do Pará; e São Sebastião do Tocantins, Araguatins e Esperantina, no Estado do Tocantins.

As imagens de radar aerotransportado foram obtidas em 3 de abril de 2006, com os seguintes parâmetros: direção de voo: norte-sul; polarizações: HH e HV; e resolução espacial: 18 metros. Os segmentos utilizados passaram por todas as etapas de pré-processamento no Centro Técnico Operacional do CENSIPAM em Manaus/AM (CTO Manaus/AM), incluindo o padrão de correção de antena e o georreferenciamento para o sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e datum WGS 84 (Borges, et al., 2007).

Utilizando-se o mapa de vegetação elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1988), foram selecionadas as 12 classes de vegetação mais representativas da área de estudo (Tabela 1). Em seguida, foram definidas 10 regiões de interesse (ROI) para cada classe e para cada segmento. Todas as regiões de interesse possuíam formato retangular, porém, com dimensões variadas. A localização destas regiões em cada classe de cobertura vegetal foi definida visualmente na tela do computador, de forma a se situarem em áreas representativas da classe vegetal em questão, conforme ilustrada na Figura 1.

Tabela 1. Classes representativas de cobertura vegetal da área de estudo.

| <b>Sigla</b> | <b>Descrição</b>                                                |
|--------------|-----------------------------------------------------------------|
| Ap           | Pecuária (pastagens)                                            |
| Da           | Floresta Ombrófila Densa Aluvial                                |
| Dae          | Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel Emergente               |
| Db           | Floresta Ombrófila Densa Aluvial Terras Baixas                  |
| Dbe          | Floresta Ombrófila Densa Aluvial Terras Baixas Dossel Emergente |
| Ds           | Floresta Ombrófila Densa Submontana                             |
| Dse          | Floresta Ombrófila Densa Submontana Dossel Emergente            |
| Lgs          | Campinarana Gramíneo Lenhosa sem Palmeiras                      |
| Sas          | Savana Arborizada sem Mata de Galeria                           |
| Spf          | Savana Parque com Floresta de Galeria                           |
| Vsp          | Vegetação Secundária com palmeiras                              |
| Vss          | Vegetação Secundária sem palmeiras                              |

Após a aquisição dos ROIs, utilizou-se a ferramenta de análise estatística para a extração dos valores digitais médios em cada ROI e para cada polarização selecionada. Os valores digitais extraídos das diferentes classes de cobertura vegetal foram analisados de forma hierárquica, da seguinte forma: cobertura natural vs. cobertura antrópica; vegetação primária

vs. vegetação secundária; floresta primária vs. formações florestais de outros biomas; classes de formações florestais do bioma da Amazônia.

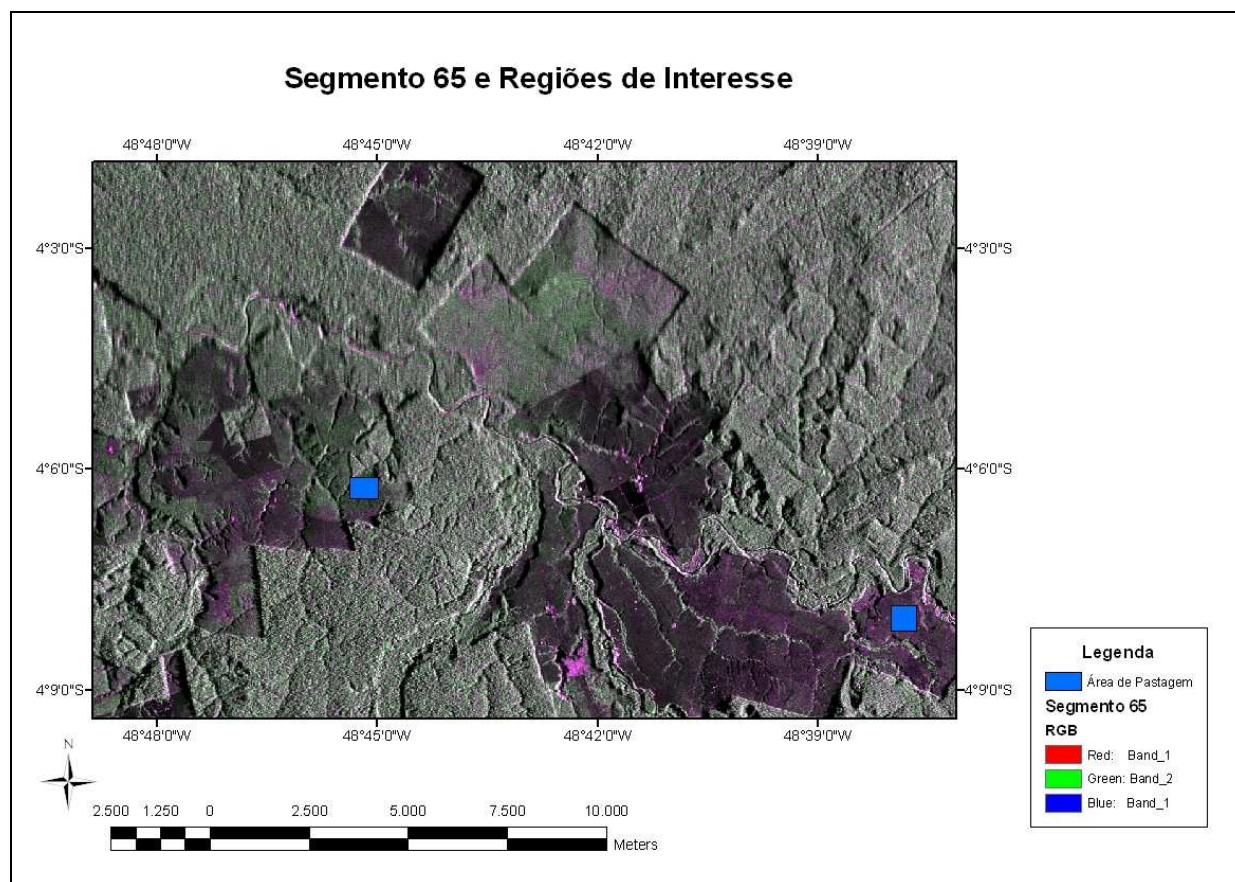


Figura 1. Exemplo de localização de duas regiões de interesse no segmento 65 sobre a classe Pastagem (pecuária). A cena corresponde à composição colorida RGB envolvendo as polarizações HH, HV e HH.

Finalmente, com relação à análise da imagem com corte seletivo, o segmento 65 que correspondia a áreas com corte seletivo foi identificado visualmente no monitor de computador, com suporte de dados da literatura. Estudos distintos em uma mesma área experimental (Fazenda Cauaxi, Paragominas/PA) identificaram, em épocas diferentes, áreas de corte seletivo, realizados por trabalhos de Asner et al. (2004) e Souza Jr. (2005) na mesma área de estudo. Para se conseguir a detecção da área com corte seletivo, foi utilizada a técnica de segmentação por crescimento de regiões. Nesta técnica, a imagem é particionada em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação, através da seleção de índices de similaridade e área de proximidade dos pixels (INPE, 2004). Em todas as segmentações, foram utilizados os limiares de 30 para similaridade e de 10 para área.

### 3. Resultados e Discussão

Os diagramas de dispersão da Figura 2 mostram o potencial das imagens do R99B-SAR para identificar desmatamento na Amazônia. As áreas antropizadas tendem a apresentar valores digitais mais baixos em relação a áreas naturais, principalmente para a polarização cruzada HV. O corte raso, caracterizado pela remoção quase completa da cobertura vegetal natural, provocou uma acentuada diminuição tanto nos valores de biomassa como nos índices

de rugosidade. Conseqüentemente, a energia retroespalhada em áreas desmatadas é menor em relação às áreas florestadas.

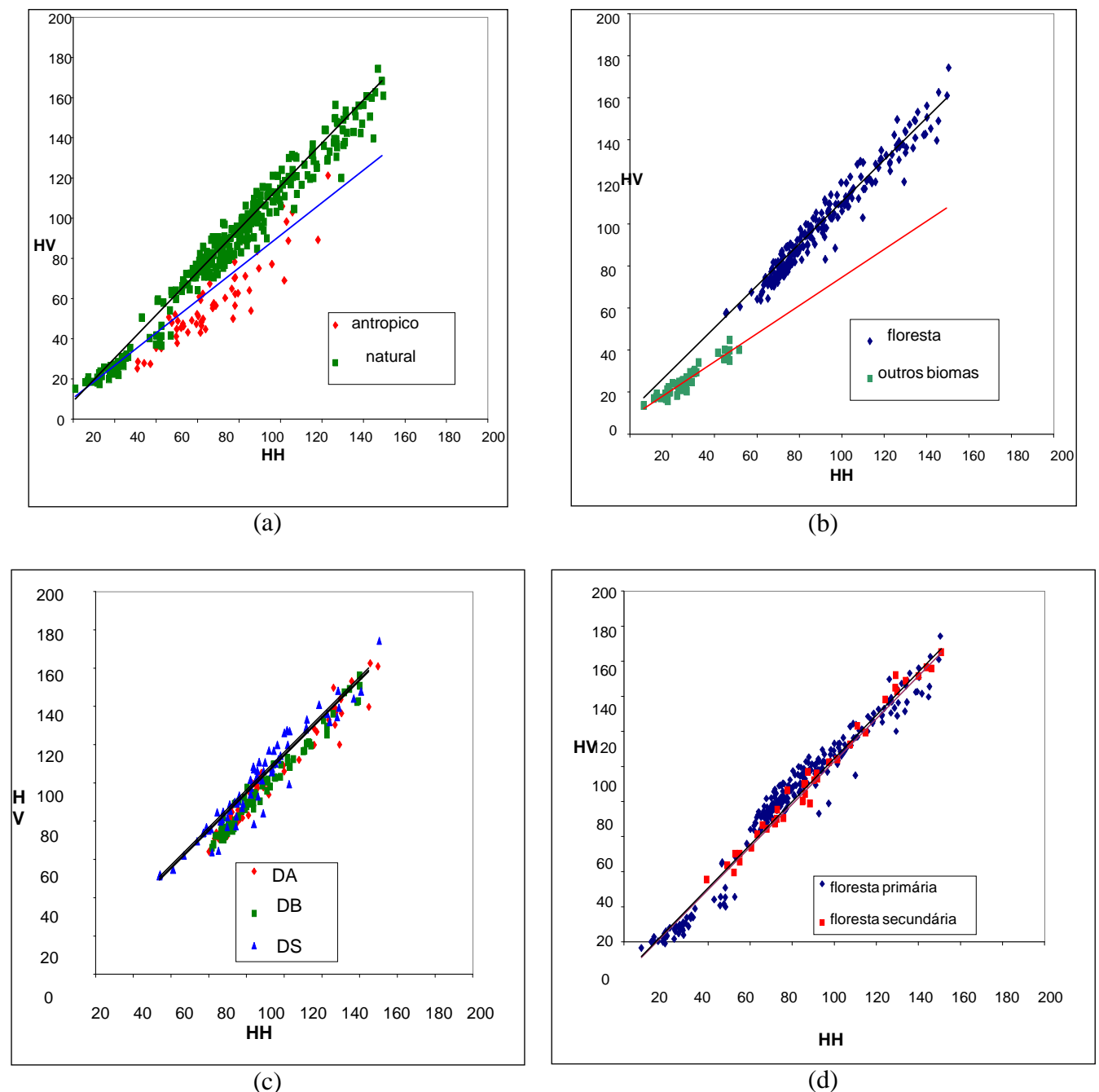


Figura 2. Gráfico de dispersão mostrando a separabilidade espectral entre as classes de vegetação. (a) cobertura natural vs. cobertura antrópica; (b) floresta primária vs. formações vegetais típicas de outros biomas; (c) floresta ombrófila densa aluvial vs. floresta ombrófila densa aluvial de terras baixas vs. floresta ombrófila densa submontana; e (d) floresta primária vs. vegetação secundária.

Não foi possível separar as classes primária e secundária de coberturas vegetais, contrariando vários estudos da literatura que mostram a possibilidade de tal separação (exemplo, Lucas et al., 2000; Carreiras et al., 2006). Entretanto, separação entre as formações florestais do bioma da Amazônia (Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Ombrófila Densa Dossel Emergente, Floresta Ombrófila Densa Aluvial Terras Baixas, Floresta

Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel Emergente, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Floresta Ombrófila Densa Submontana Dossel Emergente) e as formações vegetais típicas de outros biomas (Campinarana Gramíneo Lenhosa sem Palmeiras, Savana Arborizada sem Mata de Galeria, Savana Arborizada sem Mata de Galeria) mostrou ser bastante evidente nas imagens do R99B-SAR utilizadas neste trabalho.

Com relação ao corte seletivo, após o processo de segmentação por crescimento de regiões através do *software* SPRING 4.3.3, não foi possível obter a separação dos alvos. Estes resultados se repetiram em todas as cenas da área de estudo e contradiz com os obtidos por et al. (2005) que segmentaram imagens orbitais do satélite japonês JERS-1/SAR, com resultados promissores. Desta forma, foi possível apenas identificar as áreas com corte seletivo através de uma análise visual e baseado em estudos anteriores (Figura 3).

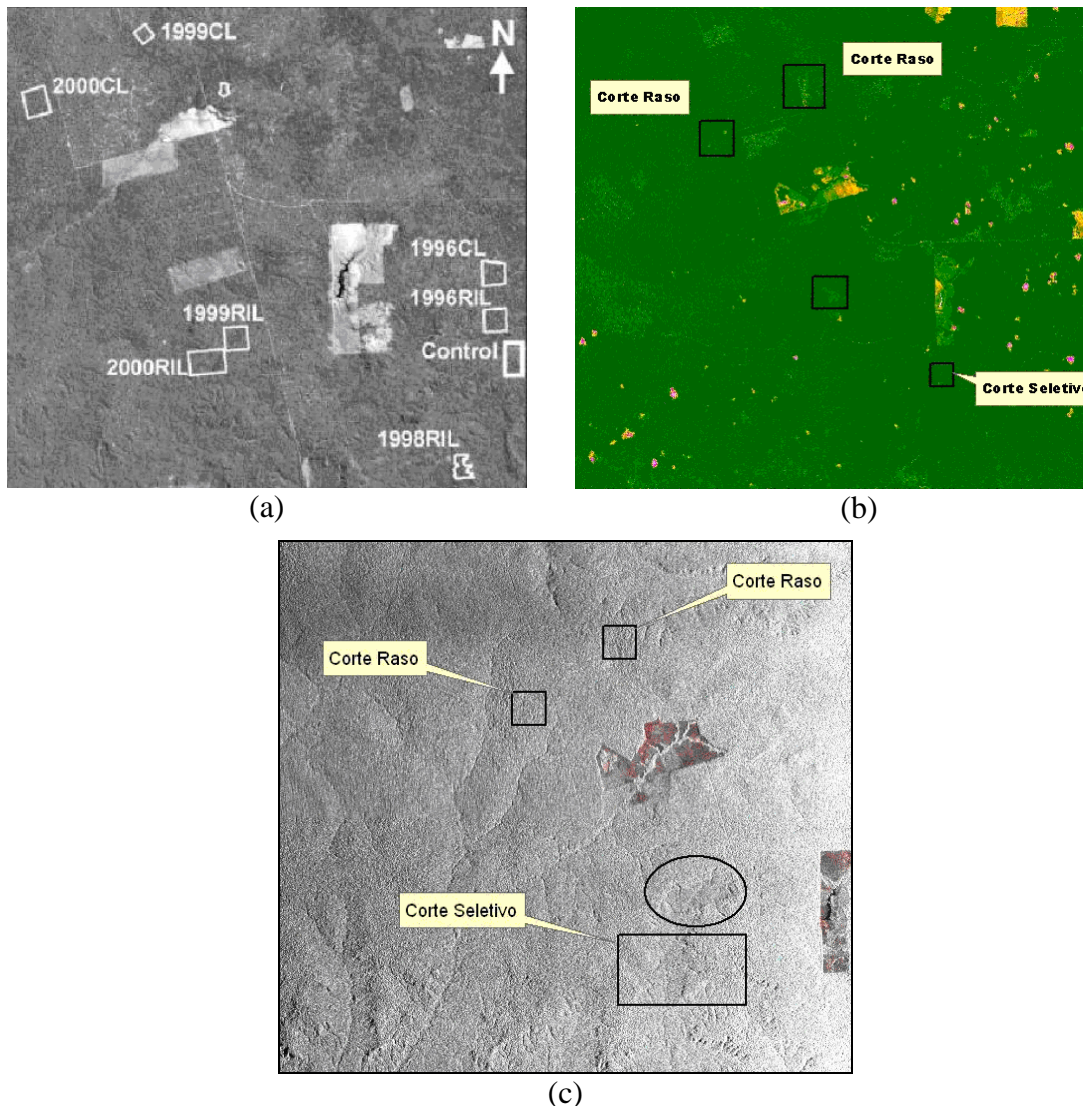


Figura 3. Análise visual da área de estudo (Fazenda Cauaxi, Paragominas/PA) com corte seletivo. (a) Áreas de exploração madeireira convencional (CL) e seletiva (RIL) mapeadas por Asner et al. (2004) por meio de imagens Landsat; (b) Áreas de exploração madeireira convencional e seletiva mapeadas por Souza Jr. et al. (2005) por meio de imagens Landsat; e (c) Imagem do sensor R99B-SAR mostrando dificuldade de identificação de áreas com corte seletivo.

#### 4. Conclusões

Em relação a segmentação, a grande diferença no desempenho entre estes dois sensores de radar (R99B/SAR e JERS-1/SAR) podem ter sido provocadas pelas variações distintas nos ângulos de incidência mínimo (alcance próximo) e máximo (alcance distante). No R99B-SAR, a variação neste ângulo é de aproximadamente 48 graus (Andrade e Santa Rosa, 2005), enquanto no JERS-1/SAR, essa diferença era de 6 graus (JPL, 1992). Variações muito grandes neste ângulo dificultam o estabelecimento de padrões de interpretação e de medidas estatísticas na imagem em questão.

Um outro fator que pode ter influenciado no fraco desempenho da segmentação de imagens do R99B-SAR foi o uso do *software* PROSAR, o qual foi concebido para permitir o processamento relativamente rápido dos dados brutos do R99B-SAR em sistemas operacionais do tipo MS Windows™, possibilitando, assim, a geração de grandes quantidades de imagens em tempo adequado. Assim sendo, recomenda-se em trabalhos futuros, avaliar o desempenho de um outro *software* denominado de GSP, também desenvolvido para processar dados do R99B-SAR.

#### Agradecimentos

Ao CENSIPAM, IBAMA, AMAZON, UnB e EMBRAPA pela disponibilização de imagens e *softwares*.

#### Referências Bibliográficas

Andrade, N. S. de O.; Santa Rosa, A. N. **O novo sistema SAR multipolarimétrico aerotransportado brasileiro**. In: 1ª Reunião de Coordenação das Atividades de Planejamento, Execução e Produção de Imagens de Missões de Sensoriamento Remoto realizadas pelas aeronaves R-99B e R-95, 2005, Brasília: Censipam. Apostila.

Asner, G. P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 22, n. 18, p. 3855-3862, 2001.

Asner, G. P., Keller, M., Pereira, R., Zweede, J. C. Remote sensing of selective logging in Amazonia assessing limitations based on detailed field observations, LANDSAT ETM+, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 483-496, 2002.

Asner, G. P., Silva, J. N., Bustamante, M. M. C., Keller, M. Remote Sensing of Selective Logging: Early Results of a Basin-wide Analysis. In: Seventh Lba-Eco Science Team Business Meeting, 2003, Fortaleza. **Abstracts...** Fortaleza: LBA 2003.

Asner, G. P., Keller, M., Pereira, R., Zweede, J. C., Silva, J. N. M. Canopy damage and recovery after selective logging in Amazonia: field and satellite studies. **Ecological Applications**, n. 14, v.4, p. 280-298, 2004.

Barbosa, A. P.; Vianez, B. F.; Varejão, M. J; Abreu, R. L. S. Considerações sobre o perfil tecnológico do setor madeireiro na Amazônia Central. **Parcerias Estratégicas**, v.12, p. 42-53, 2001.

Borges, R. O. ; Lima, C. A. ; Nascimento, E. R. P. ; Machado, E. G. B. ; Lopes, G. O. ; Françoso, R. D. ; Pereira, F. J. ; Ramos, V. M. ; Galvao, W. S.. Métodos e técnicas de registro de imagens SAR/SIPAM a partir de dados orbitais. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 4819-4826. Disponível em: <[http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbs\\_r@80/2006/11.15.20.15/doc/4819-4826.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbs_r@80/2006/11.15.20.15/doc/4819-4826.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2008.

Carreiras, J. M. B.; Pereira, J. M. C.; Shimabukuro, Y. E. Land-cover Mapping in the Brazilian Amazon using SPOT-4 Vegetation data and machine learning classification methods. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, p. 897-910, 2006.

Dutra, L. V.; Santos, J. R.; Freitas, C. C. ; Novo, E. M. L. M. ; Alves, D. S. ; Hernandez Filho, P. Forest Monitoring - **The use of JERS-1 data for environment monitoring and resources assessment in Amazonia**. In: Earth Observation Research Center; National Space Development Agency of Japan. (Org.). JERS-1 Science Program'99: Global Forest Monitoring and SAR Interferometry. Tokyo: National Space Development Agency of Japan, 1999, v. 1, p. 36-44.

Fearnside, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. **Megadiversidade**, v.1, p. 113-122, 2005.

Gomes, A. R.; Freitas, C. Da C.; Sant`anna, S.J.S.; Dutra, L.V. Avaliação da aplicação de classificadores pontuais e por regiões para imagem JERS-1 em ambiente SPRING. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 4421-4427. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.16.25.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2007.

Holmes, T.; Blate, G.; Zweede, J.; Pereira Jr., R.; Barreto, P.; Boltz, F.; Bauch, R. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v.163, p. 93-110, 2002.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Vegetação do Brasil**, 1988.

Johns, S.J.; Barreto, P.; Uhl, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v.89, n.1-3, p. 59-77, 1996.

Jet Propulsion Laboratory. **Alaska SAR Facility (ASF): System Interface Specification**. Jet Propulsion Laboratory Document D-5267 Revision A, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, May 1992.

Lucas, R. M. Honzak, M.; Curran, P. J.; Foody, G. M.; Milnes, R.; Brwn, T.; Amaral, S. Mapping the regional extent of tropical forest regeneration stages in the brazilian legal amazon using NOAA AVHRR.. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 15, p. 2855-2881, 2000.

Matricardi, E. A. T.; Skole, D. L.; Chomentowski, M. A.; Cochrane, M. A. **Multi-temporal detection of selective logging in the Amazon using remote sensing**. Michigan State University. Report n°. RA03-01\w, BSRI Research Advances, 2001.

Monteiro, A. L. S. **Monitoramento de indicadores de manejo florestal na Amazônia Legal utilizando sensoriamento remoto**. 2005. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

Monteiro, A.L.; Souza Jr., C. M.; Barreto, P. Detection of logging in Amazonian transition forests using spectral mixture models. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.1, p.151-159, 2003

Qi, J., Wang, C., Matricardi, E., Skole, D. Improved selective logging detection with LANDSAT images in tropical regions. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS'02, 2002, Toronto, Canada. **Proceedings...** Piscataway, EUA : IEEE - Institute of Eletronical and Enginners, 2002.

Scolforo, J.R.S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 438p.

Souza Jr., C.; Roberts, D. A.; Cochrane, M. A. Combining spectral and spatial information to cap canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, n.2-3, p. 329-343, 2005.

Stone, T. A., Lefebvre, P. Using multi-temporal satellite data to evaluate selective logging in Para, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, p. 2517-2526, 1998.

Vidal, E.; Johns, J.; Gerwing, J.; Barreto, P.; Uhl, C. Vine management for reduced-impact logging in Eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 98, n.2, p. 105-114, 1997.