

## **Estimando a correlação entre imagens óticas e de radar considerando diferentes coberturas da terra na Amazônia**

Tatiana Mora Kuplich  
Yosio Edemir Shimabukuro  
Ramon Morais de Freitas

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{tmk, yosio, ramon}@ltid.inpe.br

**Abstract.** This work shows an investigation on the relationships between optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) data. Optical images were fraction images derived from Thematic Mapper bands after Linear Unmixing Spectral Model. The objective was to improve understanding about SAR capabilities for deforestation detection and mapping. Preliminary results pointed to an increased discrimination of land cover in the study area, as shown in the literature, for the L band (used by the SAR onboard Japanese Earth resources Satellite JERS-1) data. Soil-fraction image presented the higher correlation with SAR data (JERS-1 and RADARSAT-1). Further studies will focus on the correlation of optical and SAR data using SAR images acquired with different parameters.

**Palavras-chave:** SAR, TM fraction images, deforestation, optical and radar correlation, SAR, imagens-fração TM, desmatamento, correlação entre dados óticos e de radar.

### **1. Introdução**

A complementaridade entre imagens óticas e de radar tem sido investigada há alguns anos (Imhoff et al. 1986, Kuplich 2006), e seu conhecimento é importante tanto para o uso integrado (Svoray e Shoshany 2003) como para o uso isolado de um dos tipos de dados (Lu et al. 2004, Almeida-Filho et al. 2005).

No Brasil, a cobertura florestal da Amazônia é monitorada anualmente, principalmente para o mapeamento das áreas desmatadas, através da interpretação de imagens Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat pelo Projeto PRODES (Projeto de Estimativa do Desmatamento Bruto da Amazônia). Devido à quase constante cobertura de nuvens sobre algumas áreas na Amazônia, as imagens de radar revelam-se importantes para complementar ou mesmo substituir imagens óticas no mapeamento do desmatamento e de vegetação.

Nem sempre áreas desmatadas apresentam-se como solo totalmente descoberto. A presença de vegetação secundária, biomassa remanescente ou menor densidade de indivíduos em áreas parcialmente desmatadas fornecem resposta diferenciada em imagens de radar, assim como nas imagens-fração solo e sombra, originadas de imagens óticas após a aplicação do modelo linear de mistura espectral (MLME). A compreensão do comportamento espectral de áreas desmatadas, parcialmente desmatadas ou em regeneração auxiliará no conhecimento do desempenho de imagens de radar em grandes projetos de monitoramento florestal, como o PRODES. Mesmo que alguns trabalhos tenham indicado a inadequabilidade do uso de imagens de radar para o mapeamento de estágios iniciais de desmatamento de forma operacional, ainda existem lacunas no conhecimento do comportamento de diferentes comprimentos de onda e polarizações para o registro das diferentes coberturas na Amazônia (Almeida Filho et al. 2005).

Este trabalho pretende investigar a complementaridade entre imagens óticas (na forma de imagens-fração solo, sombra e vegetação) e de radar, estimando a correlação entre elas para 3 tipos de cobertura da terra: floresta, capoeira e solo nu/pastagem.

## 2. Material e métodos

A área de estudo inclui parte da Floresta Nacional de Tapajós (FLONA) e arredores, ao sul de Santarém no estado do Pará. Foi selecionada um área de aproximadamente 22 km x 18 km. Nesta área, a cobertura predominante era floresta ombrófila densa, mas também existiam capoeiras em diferentes estágios de sucessão, pastagens e solo descoberto. Foram utilizadas as seguintes imagens de sensoriamento remoto: (i) JERS-1/SAR (banda L<sub>HH</sub>) de 13/08/1996, (ii) RADARSAT-1 (banda C<sub>VV</sub>) de 07/08/1996 e (iii) Landsat/TM (Thematic Mapper) (6 bandas) de 25/08/1996.

A **Figura 1** mostra a área de estudo nos diferentes produtos analisados, inclusive nas imagens-fração resultantes da aplicação do MLME nas bandas TM.

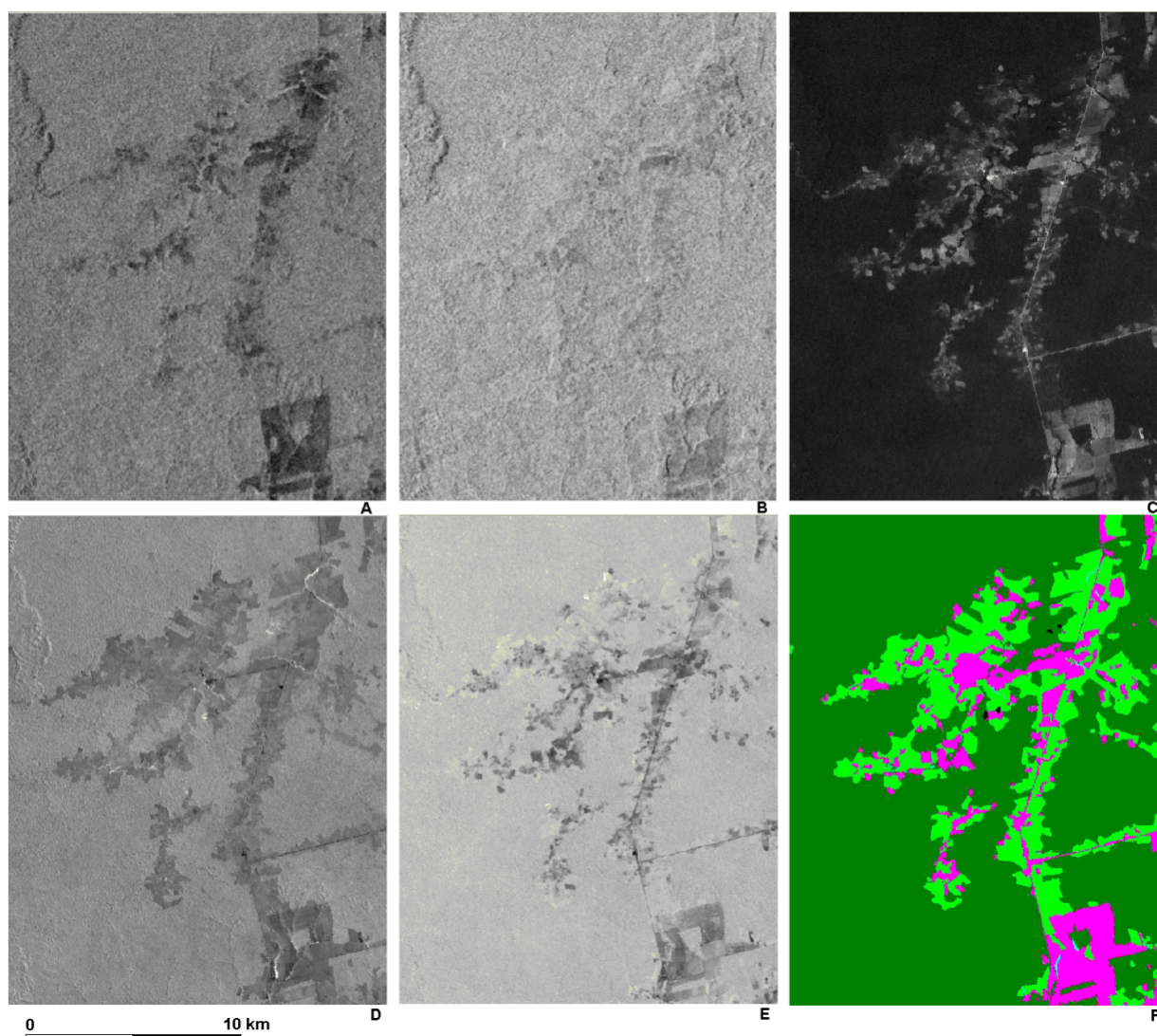


Figura 1: Área de estudo nas proximidades da FLONA de Tapajós (PA), em (A) imagem SAR/JERS-1 (filtro da média), (B) imagem RADARSAT (filtro da média), (C) imagem-fração solo, (D) imagem-fração sombra, (E) imagem-fração vegetação e (F) mapa de cobertura da terra feito com base em bandas TM: em verde floresta, em verde claro áreas de capoeira e em rosa pastagens ou solo descoberto (água em azul para e nuvens em preto).

Os valores de nível de cinza das imagens SAR foram convertidos para coeficiente de retroespalhamento ( $\sigma^{\circ}$ ) através das equações recomendadas por Shimada (2001) para a JERS-1 e Shepherd (1997) para RADARSAT. Ambas imagens SAR também foram filtradas com filtro da média (janela 5x5 pixels) para redução do ruído *speckle*.

As bandas TM foram interpretadas visualmente em composição colorida 5R4G3B e as classes de cobertura da terra definidas. Um mapa detalhado de cobertura da terra de 1997 (Espírito-Santo et al. 2005) foi usado para sanar dúvidas de interpretação, apesar da diferença de datas dos mapeamentos e objetivos de trabalho prevenir a utilização das mesmas classes.

As bandas TM também foram submetidas ao MLME, após a obtenção de pixels puros representantes de vegetação, solo e sombra para a construção do modelo. As imagens fração resultantes são apresentadas na **Figura 1**.

Os dados foram então amostrados com a coleta de valores médios a partir de janelas circulares de 71 pixels, espaçadas aproximadamente a cada 7 pixels, totalizando 1496 amostras para cada imagem. Foram selecionados os dados que correspondiam às classes “puras” (sem janelas que incluíam mais de uma classe). As amostras remanescentes foram ordenadas aleatoriamente e utilizadas com um limite de 1200 pixels por classe.

Os dados foram submetidos à análise de regressões lineares simples e múltiplas, usando as imagens inteiras e amostradas, tendo sempre os dados SAR como as variáveis dependentes e os dados das imagens-fração como as variáveis dependentes. Para garantir a pertinência do método utilizado, a normalidade dos resíduos foi verificada.

### 3. Resultados e discussão

Através de análise visual, foi possível observar o comportamento espectral das coberturas da terra em estudo nas imagens da **Figura 1**.

Para as imagens SAR (Figura 1 a e 1 b), é conhecida a melhor definição de coberturas vegetais e áreas desmatadas em imagens na banda L (comprimento de onda em torno de 22 cm, utilizada no JERS-1). Na Figura 1a, observa-se com relativa clareza as áreas de floresta e de capoeiras, assim como as áreas desmatadas utilizadas para pastagens e agricultura. Graças ao poder de penetração da banda L em dosséis vegetais (Kuplich 2003, Almeida-Filho et al. 2005), a definição de coberturas é facilitada. Já a banda C (RADARSAT, em torno de 7 cm) não oferece esta mesma definição, pois o imageamento baseia-se no retroespalhamento coletado a partir do topo e camadas iniciais do dossel. Muitas vezes a discriminação entre coberturas vegetais, mesmo com estruturas tão diferentes como florestas e pastagens, pode não acontecer na banda C. Também pode estar acontecendo a saturação do retroespalhamento para as áreas de floresta e capoeira, fenômeno que ocorre para banda C e é função da biomassa (Kuplich 2003). Apesar das imagens terem sido adquiridas na época seca, a eventual ocorrência de precipitação nos momentos (ou até alguns dias) antes da aquisição da imagem RADARSAT pode ter contribuído para a falta de definição das coberturas presentes na área. Já foi apontada a maior utilidade da banda C para mapeamento de vegetação aquática (Costa et al. 2002) e fenômenos oceânicos (Souza 2003), entre outras.

As imagens-fração derivadas das bandas TM, principalmente a fração-sombra, são utilizadas no PRODES digital desde 1998 como auxiliares na detecção de áreas desmatadas (Shimabukuro et al. 1998). Para a área de estudo, existe uma grande diferenciação entre as coberturas da terra, e as imagens-fração agem numa base de complementaridade, já que elas foram derivadas a partir de um só produto. As áreas de pastagem e solo nu são bastante discrimináveis das áreas de floresta nas imagens fração, ao passo que as áreas de capoeiras podem ser confundidas com a floresta adjacente, dependendo do seu estágio de sucessão.

Os coeficientes de determinação ajustados ( $r_a^2$ ), que compensam pelo aumento de correlação com a inclusão de variáveis independentes, das regressões realizadas entre as diferentes imagens estão apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Coeficientes de determinação ajustados ( $r_a^2$ ) para regressões com os dados SAR como variáveis dependentes, para as 3 classes de cobertura da terra:

Regressões	$r_a^2$
JERS-1/SAR x imagem-fração solo	0.55
JERS-1/SAR x imagem-fração sombra	0.41
JERS-1/SAR x imagem-fração vegetação	0.39
JERS-1/SAR x solo, sombra e vegetação	0.55
RADARSAT x imagem-fração solo	0.41
RADARSAT x imagem-fração sombra	0.15
RADARSAT x imagem-fração vegetação	0.39
RADARSAT x solo, sombra e vegetação	0.40

De uma maneira geral, a relação entre os dados é maior para a banda L (JERS-1), o que era esperado de acordo com a teoria e análise visual dos dados. Entre as imagens-fração, a solo foi a que apresentou maior correlação com os dados de radar. Visualmente, nota-se que altos valores na fração-solo são acompanhados por baixos valores de retroespalhamento nas bandas SAR. A regressão múltipla mostrou a correlação entre os diferentes produtos e também as importantes diferenças entre eles.

Shimabukuro et al. (2006) investigaram as relações entre dados óticos e radar para área de estudo em Rondônia e também encontraram alta correlação entre a imagem fração-solo e dados JERS-1/SAR ( $r^2=0.85$ ). Uma correlação ainda maior foi encontrada após regressão múltipla entre JERS-1 SAR e as três imagens-fração ( $r^2=0.86$ ), corroborando os resultados aqui encontrados.

A **Figura 2** apresenta o diagrama de dispersão entre as imagens fração e os coeficientes de retroespalhamento das imagens JERS e Radarsat. É possível observar que nas imagens JERS (**Figura 2-a,b,c**) ocorreu maior separabilidade entre as classes floresta e as demais. O mesmo não pode ser observado nas imagens Radarsat (**Figura 2-d,e,f**). As classes pastagem e capoeira se confundiram em ambos os sensores. Isto pode ser explicado pela forma de classificação adotada para a classe pastagem, que incluiu em seu contexto áreas de solo exposto e de pastos diferentes desenvolvimentos vegetativos. As áreas com maior quantidade de solo exposto apresentam menores valores do coeficiente de retroespalhamento tanto para o JERS quanto para o Radarsat. (**Figura 2-a ,d**). Analisando as amostras de Capoeira e Floresta na fração sombra, relacionada a estrutura do dossel, pôde-se observar que devido maior comprimento de onda, portanto maior penetração no dossel permite a diferenciação entre essas classes. Já para o Radarsat as estruturas de ambas as classes (Capoeira e Floresta) não apresentam diferenças no coeficiente de retroespalhamento (**Figura 2-b ,e**). Essa diferença na discriminação das classes resultou em valores de  $R^2$  de 0,15 para Radarsat e  $R^2$  de 0,41 para o JERS (**Tabela 2**).

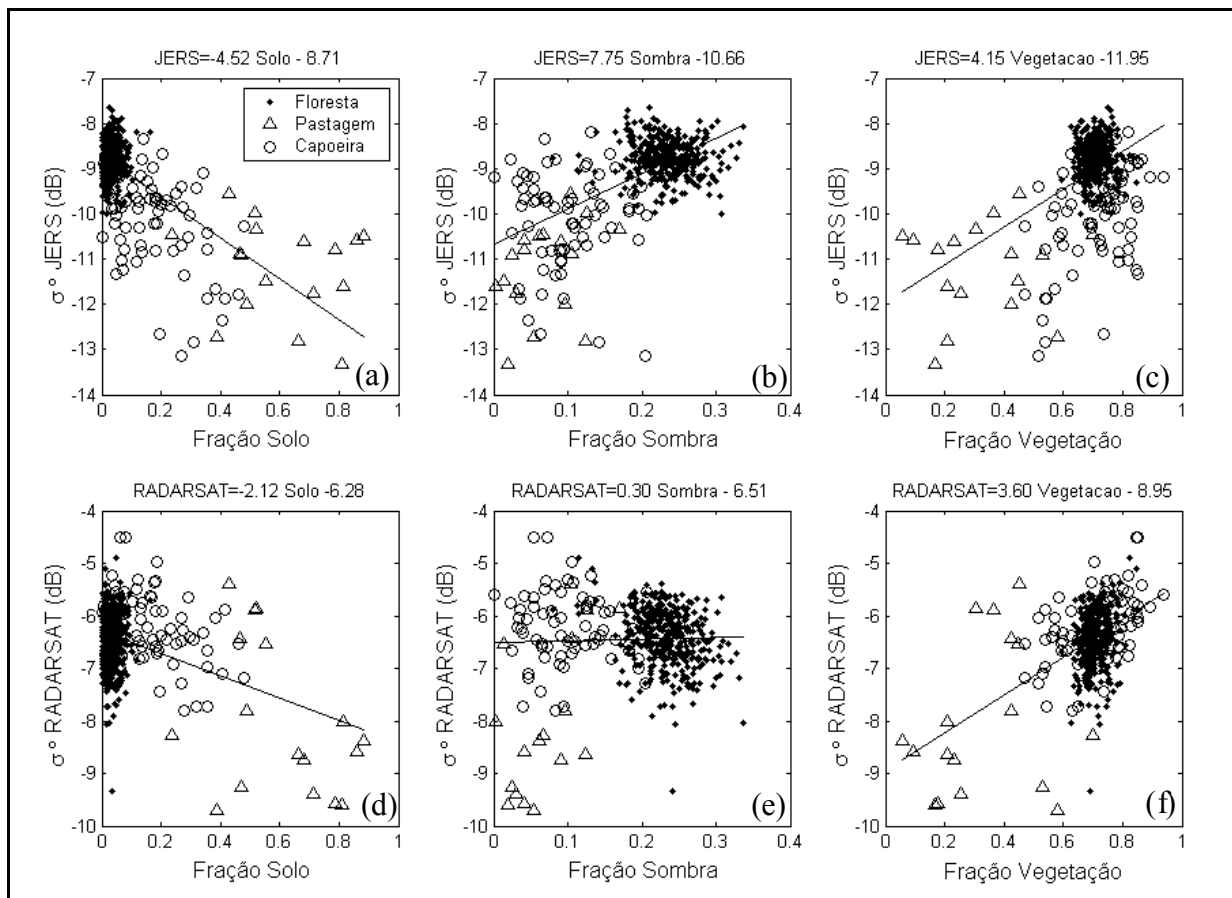


Figura 2 – Diagrama de dispersão entre: a) fração solo x JERS, b) fração sombra x JERS,, c) fração vegetação x JERS, d) fração solo x RADARSAT, e) fração sombra x RADARSAT e f) fração vegetação x RADARSAT,

#### 4. Considerações finais

O estudo conduzido neste trabalho demonstrou a correlação existente entre imagens óticas, na forma de imagens-fração, e de radar. As maiores correlações foram encontradas para dados de radar na banda L (JERS-1). A imagem fração-solo foi a que apresentou maior correlação com dados SAR, tanto JERS-1 como RADARSAT-1.

Os resultados encontrados são indicações preliminares da utilidade dos dados de radar em metodologias onde o uso de dados óticos é consagrado, como no PRODES, por exemplo. Ainda assim, e com base nos achados de Almeida-Filho et al. (2005), mais pesquisa é necessária levando em consideração imagens SAR adquiridas com diferentes parâmetros dos investigados aqui. Estudos futuros devem incluir testes metodológicos específicos, principalmente em áreas onde o desmatamento apresente-se de diferentes formas.

#### Referências

Almeida Filho, R.; Rosenqvist, A.; Shimabukuro, Y. E. Detecting areas disturbed by gold mining activities through JERS-1 SAR images, Roraima State, Brazilian Amazon. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 2, n. 4, p. 409-412, 2005.

Costa, M.P.F.; Niemann, O.; Novo, E.; Ahern, F. Biophysical properties and mapping of aquatic vegetation during the hydrological cycle of the Amazon floodplain using JERS-1 and Radarsat. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 7, p. 1401-1426, 2002.

- Imhoff, M.L., Story, M., Vermillion, C., Khan, F., Polcyn, F. Forest canopy characterisation and vegetation penetration assessment with space-borne radar. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** GE-24, 535-542, 1986.
- Kuplich, T.M. Estudos florestais com imagens de radar. **Espaço e Geografia**, Brasília, v.6, n.1, p.71-96, 2003.
- Kuplich, T. M. Classifying regenerating forest stages in Amazônia using remotely sensed images and a neural network. **Forest Ecology and Management**, The Netherlands, v. 234, p. 1-9, 2006.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., and Moran, E. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. **Forest Ecology and Management**, v. 198, p. 149-167, 2004.
- Santo, F. D. B. E.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. Mapping forest successional stages following deforestation in Brazilian Amazonia using multitemporal Landsat images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 3, p. 635-642, 2005.
- Shepherd, N. Extraction of beta nought and sigma nought from RADARSAT CDPF products. Report No: AS97-5001, 1997. Disponível em <<http://www.space.gc.ca/asc/pdf/tn5001r4.pdf>> Acesso em 02/11/2006.
- 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 images of the Amazon region. **International Journal of Remote Sensing**, 19, pp. 535-541, 1998.
- Shimabukuro, Y. E.; Almeida-Filho, R.; Kuplich, T. M.; Freitas, R.M. Use of Landsat-TM fraction images to quantify the optical and SAR data relationships for land cover discrimination in the Brazilian Amazônia. In: ISPRS Mid-Term Symposium, Thematic Processing, Modeling and Analysis of Remote Sensing Data, 2006, Enshede. **Proceedings**. The Netherlands. 2006.
- Shimada, M. **User's Guide to NASDA's SAR products**. Ver.3, Tokyo, 23p., 2001.
- Souza, R.B. Sensoriamento remoto dos oceanos. **Espaço e Geografia**, Brasília, v.6, n.1, p.127-149, 2003.
- Svoray, T., Shoshany, M. Herbaceous biomass retrieval in habitats of complex composition: a model merging SAR images with unmixed Landsat TM data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n.7, p.1592-1601, 2003.