

ANÁLISE DE IMAGEM STRIPMAP/TERRASAR-X PARA CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA PORÇÃO SUDOESTE AMAZÔNIA.

STRIPMAP/TERRASAR-X ANALYSIS FOR CLASSIFICATION OF VEGETATION IN THE SOUTHWESTERN AMAZON

César Edwin Garcia¹, João Roberto dos Santos¹, José Claudio Mura¹, Hermann J.H. Kux¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil. {cgarcia, jroberto, hermann}@dsr.inpe.br; mura@dpi.inpe.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar o uso potencial de imagens de satélite TerraSAR-X no modo de aquisição StripMap para a classificação da cobertura vegetal no sudoeste da Amazônia. Neste estudo foi utilizada uma classificação Supervisionada baseada no modelo estatístico da mínima distância envolvendo três componentes da matriz de covariância (A_{HH} , A_{VV} e A_{HH-VV}) e a entropia (derivada da decomposição de alvos). Além disso, foi validada a contribuição da entropia na classificação. Para tanto foram realizadas duas classificações: 1) utilizando na entrada de dados só os componentes da matriz de covariância e 2) inclusão da entropia como dado de entrada. A metodologia aplicada mostrou que a classificação é um produto satisfatório na separabilidade temática com uma exatidão global de 75.9%, sendo que a inclusão da entropia apresentou um aumento pouco significativo na exatidão global, passando para 77,6%.

Palavras-chave: Floresta Amazônica, TerraSAR-X, Classificação da cobertura vegetal, Entropia.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the potential use of images from satellite TerraSAR-X, at StripMap acquisition mode, to classify the vegetation cover in SW Amazon region. A supervised classification based on the statistical model of minimum distance was used, involving three components of the co-variance matrix (A_{HH} , A_{VV} e A_{HH-VV}) and entropy (derived from the target decomposition). Furthermore, the contribution of Entropy in the classification was validated. In order to do that, two classifications were performed: 1st using as input data only the components of the co-variance matrix and 2nd the inclusion of entropy as input data. The methodology applied showed the classification is a satisfactory product referring to thematic separability, with a global exactitude of 75.9% and, including the entropy, there was a non-significant increase to 77.6%.

Keywords: Amazon Forest, TerraSAR-X, Classification of vegetation cover, Entropy.

INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica possui importância nos ciclos biogeoquímicos e concentra parte considerável da biodiversidade do planeta, além de ter uma forte influência sobre o sequestro de carbono (NEGRI *et al.*, 2009). Nas duas últimas décadas a Amazônia brasileira sofreu uma acelerada conversão florestal devido ao aumento da fronteira agrícola e da atividade de pecuária. Atualmente, por ações governamentais, tornou-se mais eficiente o processo de fiscalização da degradação florestal, com estimativas de desflorestamento da ordem de 7.000Km²/ano. O impacto dessa ação predatória, com efeitos na redução da biodiversidade, perda de fertilidade dos solos e do potencial hidrológico, além de tensões sociais no controle da terra, é uma preocupação da sociedade no planejamento estratégico de conservação e uso sustentável dos recursos dessa extensa região.

Imagens de satélite na faixa espectral óptica têm sido ferramentas úteis para mapear e monitorar operacionalmente os ecossistemas dessa região, utilizando uma variedade de técnicas de extração de informações. Neste contexto, deve-se citar, por exemplo, os projetos DETER – Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia (<http://www.obt.inpe.br/deter/>) e o PRODES – Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite (<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>) realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT, em convênio com o Ministério de Meio Ambiente e Recursos Renováveis - MMA. No entanto, a utilização de imagens ópticas apresenta problemas de aquisição, devido a alta frequência de cobertura de nuvens, típica de regiões tropicais (ASNER, 2001). A complementação de dados para solucionar essa lacuna de informações, pode ser derivada de imagens orbitais que operam na região de microondas. Por isso há interesse da comunidade técnico-científica em aprimorar ferramentas de extração de informações SAR (*Synthetic Aperture Radar*) que possam subsidiar as operações de mapeamento, inventário e monitoramento da paisagem amazônica.

Atualmente existem vários sistemas de radar polarimétricos, em nível orbital, que operam em diferentes bandas e frequências, como o *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS/PALSAR, banda L), Radarsat-2 (banda C), TerraSAR (banda X) e a constelação COSMO-SkyMed (três satélites em banda X). Todo esse aparato tecnológico e seus produtos precisam ser usados e avaliados para diversas aplicações ambientais, considerando sobretudo a complexidade dos alvos dessas regiões tropicais. Por conseguinte, este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade de imagens TerraSAR-X, no modo StripMAP, para a identificação de classes de cobertura e uso da terra na porção SW da Amazônia brasileira, usando para tanto uma classificação baseada no modelo estatístico da mínima distância. É importante registrar que são ainda poucos os trabalhos que exploram esses dados do TerraSAR-X em estudos de uso e cobertura da terra, destacando-se os trabalhos de BRATSOLIS (2009) e TANASE *et al.*, (2009).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com a utilização de um radar imageador polarimétrico é possível medir a amplitude e a fase relativa de todas as configurações das antenas de transmissão e recepção, para todos os elementos de resolução de uma cena (ULABY e ELACHI, 1990). A utilização destes dados tem possibilitado a interpretação física do espalhamento de um meio aleatório. Para tanto, é necessário gerar a matriz de espalhamento [S] (1), que constitui uma matriz complexa 2×2 contendo informações relativas ao alvo, representando o retro-espalhamento do alvo imageado, dependendo somente de suas propriedades físicas e geométricas. A matriz [S] pode se decompor numa soma de contribuições independentes, associadas a determinados mecanismos de espalhamento elementares, o que pode ser interpretado como uma reorganização do espalhamento, que é realizado por métodos denominados de “Teoremas de Decomposição de Alvos” (WOODHOUSE, 2006).

$$\begin{bmatrix} E_h^{as} \\ E_v^{as} \end{bmatrix} = \frac{\exp\{-jk_o r\}}{\sqrt{4\pi r}} [S] \begin{bmatrix} E_h^{in} \\ E_v^{in} \end{bmatrix}, \quad [S] = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Esses teoremas podem ser separados em três categorias primárias: Decomposição Coerente, Decomposição por Auto-vetor, e Decomposição do Tipo Huynen. (CLOUDE e POTTIER 1996). Como o presente trabalho faz uso de uma dessas técnicas de decomposição de alvo, aborda-se o assunto de forma sumarizada nesse item, com o intuito de introduzir o leitor no tema, suportado por uma bibliografia básica, como de CLOUDE (2007), CORREIA (2008) e SANTOS *et al.*(2009).

Várias técnicas de classificação têm sido desenvolvidas para tratamento de imagens SAR, fundamentadas em conceitos de reconhecimento de padrões, cujo objetivo é identificar e separar objetos em imagens digitais (NEGRI *et al.*, 2009). O método de classificação em imagens de sensoriamento remoto mais usado para classificar os dados é a classificação baseada no modelo estatístico, como o algoritmo da mínima distância (LIM *et al.*, 2008). Essa técnica utiliza a distância mínima dos vetores médios de cada membro final, calculando então a Distância Euclidiana de cada pixel desconhecido para o vetor de média para cada classe. Assim todos os pixels contidos na imagem ou trecho dela são classificados, a menos que se estabeleça um desvio padrão ou limite de distância pré-determinado (RICHARDS, 1993).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no Estado do Acre, região de Sena Madureira, na porção SW da Amazônia, aproximadamente entre os paralelos 9°00' e 9°45' S e meridianos 68°00' e 68°35' W (Figura 1). A formação vegetal predominante na área é a Floresta Ombrófila Aberta Sub-Montana com presença de bambus e palmeiras, Floresta Ombrófila Densa Aluvial com dossel uniforme, e a Floresta Ombrófila Densa Sub-Montana com dossel emergente (RADAMBRASIL, 1978), o relevo é dissecado de topo tabular, com densidade de drenagem média e baixo grau de entalhamento dos canais (RADAMBRASIL, 1978). Nessa porção do município de Sena Madureira há extensas áreas de pastagem, mais recentemente áreas destinadas para a exploração madeireira de acordo com as práticas de manejo. (LORENA 2001). As precipitações mais baixas na região ocorrem nos meses de Junho - Agosto (50 mm), e as mais altas (250 mm – 287 mm) entre Dezembro e Fevereiro (CPTEC, 2010)

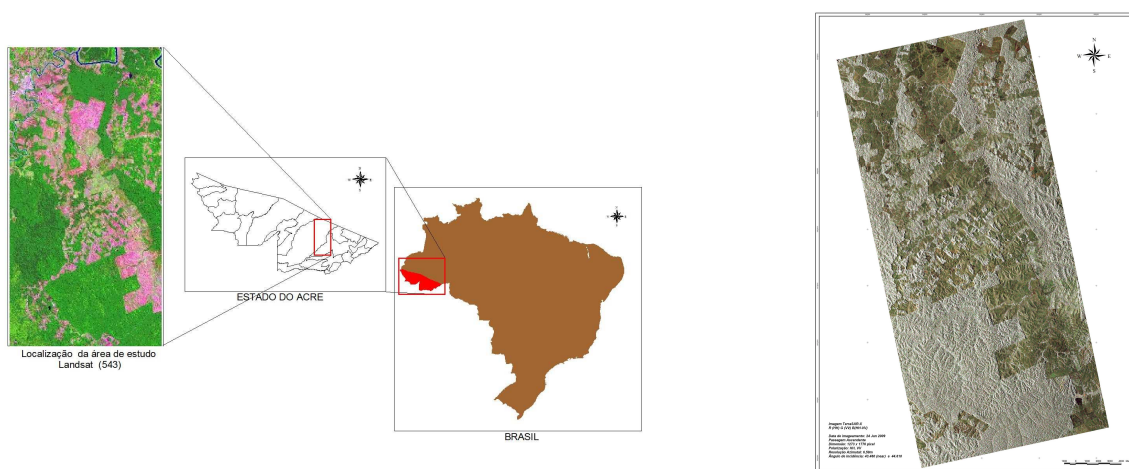


Figura 1. Imagem TM/Landsat mostrando a área de estudo e a seção correspondente em composição R(HH) G(VV) B(HH-VV) do TerraSAR-X, adquiridas em 06/09/2009 e 24/06/2009, respectivamente.

Figure 1. TM/Landsat image showing area under study and corresponding section in composite image R(HH) G(VV) B(HH-VV) of TerraSAR-X, acquired in Sept 06th 2009. and June 24th 2009, respectively.

Neste estudo foi utilizada uma imagem dual do sensor TerraSAR-X, no modo de operação *StripMap*, formato *Single Look Complex* – SLC, com as seguintes características:

Tabela 1. Características da Imagem TerraSAR-X.

Table 1. Characteristics of TerraSAR-X image.

Passagem	Ascendente
Data	24 junho 2009
Resolução	1,125m (<i>range</i>) e 6,59 m (azimute)
Dimensão	1273 x 1776 pixel
Polarizações	HH, VV
Ângulo de incidência	43°.46 (<i>near</i>) to 44°.61 (<i>far</i>)

A Figura 2 mostra o fluxograma metodológico usado neste trabalho para o tratamento da imagem TerraSAR-X. A imagem radar foi processada no *software* PolSarPro 4.02 (<http://earth.esa.int/polsarpro/install.html>), gerando-se inicialmente uma matriz de covariância [C]. Posteriormente efetuou-se uma filtragem através do algoritmo adaptativo de FROST, com janela 5 x 5, para a minimização do speckle. É importante mencionar que a base conceitual da decomposição de alvos foi desenvolvida para dados SAR QuadPol (CLOUDE e POTTIER, 1997), podendo entretanto ser aplicada para dados de polarização dual (CLOUDE, 2007). Como

os radares de polarização dual não têm capacidade de reconstruir a matriz de espalhamento [S] completa, pode-se reconstruir uma coluna da matriz, gerando uma nova banda sintética através da combinação entre as polarizações HH e VV da imagem original, obtendo-se assim, a componente CHH, CVV. Assim, a partir da matriz de covariância [C] foi processada a imagem para realizar a decomposição de alvos. Como exemplo elucidativo, na Figura 3 observam-se as componentes entropia (H), ângulo alfa (α) e anisotropia (A), que foram geradas neste processo. No presente caso, apenas a componente entropia foi considerada numa pré-análise, decisão tomada *a priori* para avaliar a contribuição dessa componente no processo classificatório. O parâmetro entropia é o resultado da decomposição por auto-vetores, sendo baseada na análise dos auto-vetores da matriz de coerência, podendo estar relacionados à quantidade de mecanismos de espalhamento eficazes (CLOUDE e POTTIER, 1996).

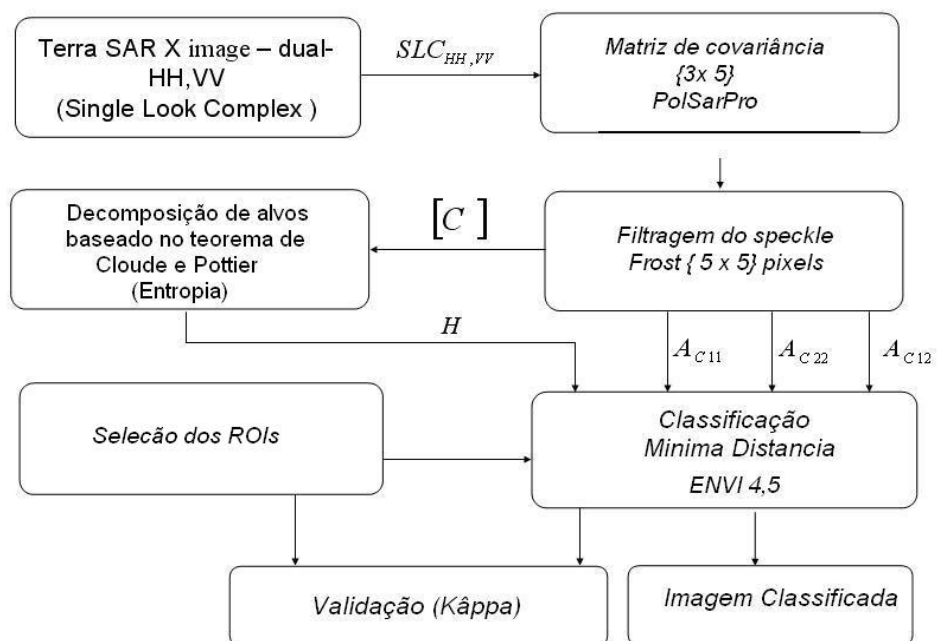


Figura 2. Fluxograma das atividades de tratamento da imagem TerraSAR-X.

Figure 2. Flow diagram of activities at the treatment of TerraSAR-X image.

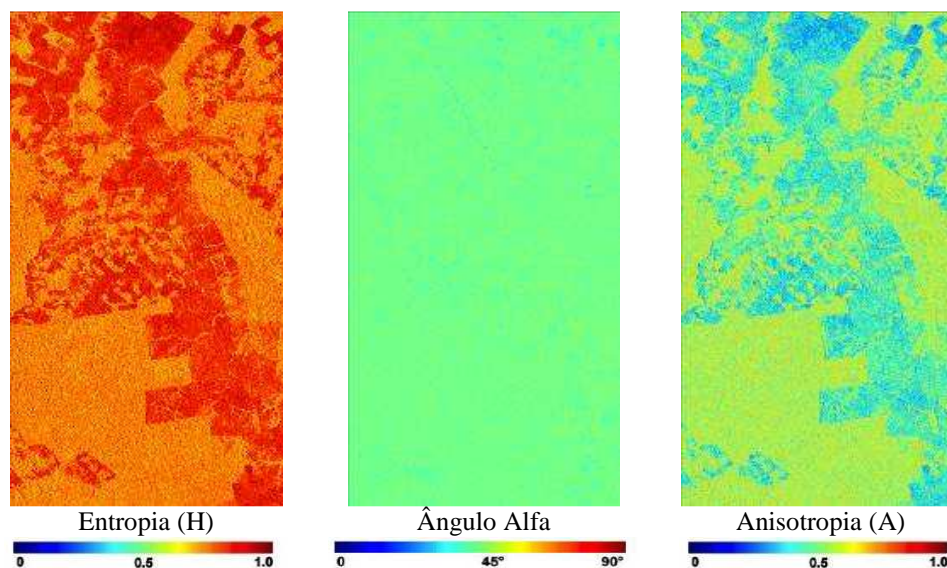


Figura 3. As componentes Entropia, Angulo alfa e Anisotropia da imagem TerraSAR-X na região de Sena Madureira (Estado do Acre).

Figure 3. Components Entropy, Alfa angle and Anisotropy of TerraSAR-X image in the region Sena Madureira (Acre State).

A classificação supervisionada foi realizada no *software* ENVI 4.5, usando a função da classificação de mínima distância (RICHARDS, 1993), tendo-se como base dois critérios como insumo na entrada de dados:

Critério 1: uso das componentes-amplitude A_{HH} , A_{VV} e A_{HH-VV} ;

Critério 2: uso das componentes-amplitude A_{HH} , A_{VV} e A_{HH-VV} e inclusão da componente entropia (H) na classificação.

As amostras utilizadas para o treinamento do processo classificatório e de validação (estimativa de desempenho) através do índice *Kappa* e exatidão global (LANDIS e KOCH, 1977), foram selecionadas com suporte de trabalho de campo, cujos pontos de observação foram devidamente descritos e georreferenciados, estabelecendo-se quatro classes temáticas: floresta, pasto limpo, pasto sujo e solo exposto. A Tabela 1 apresenta o número de pixels de cada uma das classes citadas, utilizadas para treinamento do método classificatório e validação dos resultados.

Tabela 2. Número de pixels utilizados na fase de treinamento e estimativa de desempenho da classificação.
Table 2. Number of pixels used during training phase and performance estimation of classification.

	Floresta	Pasto Limpo	Pasto Sujo	Solo exposto
Treinamento	44019	25794	25794	7364
Validação	13454	11327	4884	9167

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta porção ocidental da Amazônia a agricultura de subsistência, com plantios de arroz, feijão e mandioca, ocupa significativa área em pequenas propriedades, havendo também atividades extrativistas de produtos florestais. Contudo, na região de Sena Madureira, há principalmente ocorrência de extensas áreas de pastagem, localizadas também em relevo dissecado de topo tabular. Encontram-se igualmente áreas degradadas, resultantes de exploração madeireira, em diversos estágios de sucessão, decorrentes do abandono do uso tradicional, pela perda da fertilidade do solo. Dentro deste panorama temático, pode-se verificar na Figura 3 o nível de estratificação temático alcançado a partir das imagens dual do TerraSAR-X, segundo os dois critérios de entrada de dados no processo classificatório supervisionado: um, decorrente do conjunto de dados em amplitude A_{HH} , A_{VV} e A_{HH-VV} , decorrente da matriz de covariância; e outro conjunto, decorrente da combinação dessas componentes amplitude com a componente entropia (H) derivada da teoria de decomposição de alvos.

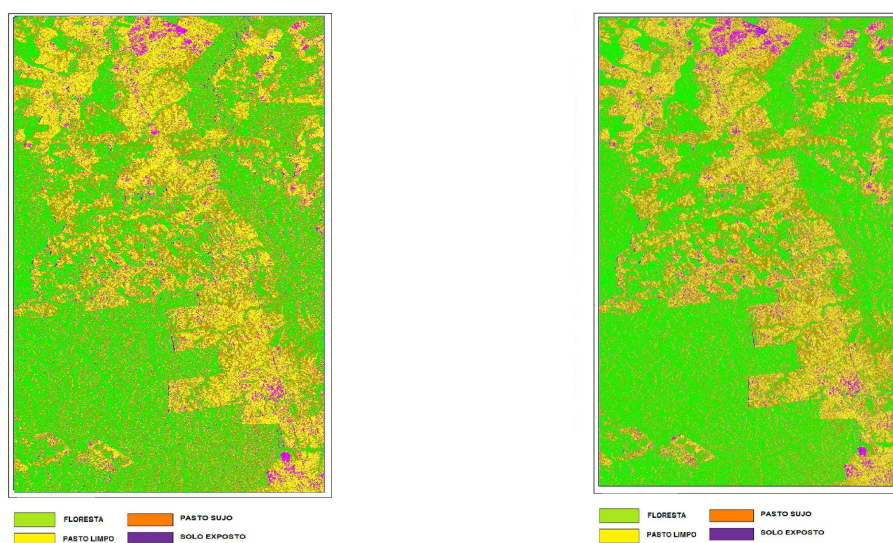


Figura 3. Delineamento de uso e cobertura da terra na região de Sena Madureira (AC) através dos critérios: 1 Conjunto de componentes em amplitude A_{HH} , A_{VV} e A_{HH-VV} e 2 Adição da componente entropia.

Figure 3. Land use / land cover in the region around Sena Madureira (AC) using criteria: 1st Set of components in amplitude A_{HH} , A_{VV} e A_{HH-VV} and 2nd Addition of component Entropy.

A partir de cada uma dessas classificações foi gerada a respectiva matriz de confusão, contendo o respectivo valor de *Kappa* (Tabela 3), que expressa, juntamente com o percentual de exatidão global, o nível de desempenho da técnica de classificação adotada.

Tabela 3. Matriz de confusão e valores *Kappa* e de exatidão das classificações.

Table 3. Confusion matrix and *Kappa* values of classification exactitude.

Classificação com o critério 1					Classificação com o critério 2			
Classe	Pasto sujo	Pasto limpo	Floresta	Solo exposto	Pasto sujo	Pasto limpo	Floresta	Solo exposto
Pasto sujo	3397	1512	1962	145	3451	1304	2720	141
Pasto limpo	1162	8409	340	1367	1101	9374	511	1566
Floresta	281	55	11146	23	316	54	10168	20
Solo exposto	44	1351	6	6626	16	595	53	7189
<i>Kappa</i> =0.6776		Exatidão =75.97%			<i>Kappa</i> = 0.698		Exatidão = 77.58%	

Analisando-se os parâmetros de desempenho fornecidos pelo *Kappa* e exatidão global, pode-se afirmar que há pouca melhoria ao se incluir a componente Entropia (critério 2) no conjunto de variáveis para a classificação.

Contudo, não se deve de imediato descartar o seu emprego no conjunto de dados de entrada no modelo, pois apresenta específica contribuição na definição de certas classes, como no caso de pasto sujo, pasto limpo e solo exposto. Somente a classe Floresta a Entropia contribuiu negativamente no desempenho da classificação.

A análise da tabela mostra que a componente Entropia melhora a distinção entre as classes, Não obstante, continua havendo problemas de discriminação entre: Pasto sujo e Pasto limpo; Pasto limpo e Pasto sujo; Floresta e Pasto sujo e entre Solo exposto e Pasto limpo. Uma observação final diz respeito ao efeito das condições de relevo dissecado na resposta dos alvos investigados nas imagens dual do TerraSAR-X, que pode ter contribuído para reduzir a precisão da classificação, além das características intrínsecas de cada alvo estudado.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A combinação envolvendo as três componentes da matriz de covariância (A_{HH} , A_{VV} e A_{HH-VV}) e a entropia (derivada da decomposição de alvos), apresentou-se como produto satisfatório na separação temática. Um próximo passo seria analisar a contribuição da componente Anisotropia.

A classificação pela distância mínima apresentou-se com nível adequado na discriminação das classes de uso da terra, sendo de fácil manuseio e análise para dados SAR. Há algoritmos de maior complexidade estatística para a separação de classes em desenvolvimento e/ou operação. Classificadores contextuais, como [MAXVER+ICM] são recomendados para tratar esses dados SAR.

Numa rápida e conclusiva análise verifica-se que as informações contidas na imagem TerraSAR-X asseguram uma complementaridade de informações àquelas decorrentes dos dados ópticos, contribuindo assim àquelas necessidades de mapeamento e monitoramento da paisagem Amazônica quando há, em determinadas regiões, elevado percentual de cobertura de nuvens. Deve-se registrar que uma melhor estratificação temática pode ser alcançada com um produto TerraSAR-X de polarização cruzada (HV) e/ou com a integração de dados de outros sistemas SAR orbitais em operação com diferentes frequências.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa PECPG de pesquisa e de produtividade em pesquisa, ao Dr. Steffen Kuntz da INFOTERRA pela cessão de imagens TerraSAR-X, ao Dr. Foster Brown(UFAC/ACRE) e Nara Pantoja (INPE) pelo apoio na fase de campo.

REFERÊNCIAS

- ASNER, G.P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, p.3855-3862, 2001.
- BRATSOLIS, E. Unsupervised segmentation of agricultural regions using TerraSAR-X Images. In IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE & REMOTE SENSING SYMPOSIUM, IGARSS 2009.Cape Town, Africa. p 416- 419.
- CLOUDE, S.R.; POTTIER, E.W. A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. **IEEE Trans.on Geoscience and Remote Sensing**, v. 34, n. 2, p. 498-518, 1996.
- CLOUDE, S.R.; POTTIER, E. An entropy based classification scheme for land application of polarimetric SAR. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 1, p. 68-78, 1997.
- CLOUDE, S.R. The dual polarization entropy/alpha decomposition: a PALSAR case study. In: POLinSAR Workshop, June 22-26th, 2007. Frascati, Italy. ESA. Abstract Book. p.19. 2007.
- CORREIA, A.H. **Fundamentos da polarimetria e da calibração SAR**. São José dos Campos: INPE, 2008, Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser410/Basic_SAR_Polarimetric_and_Calibration_Tutorial.pdf . Acesso em: 13 dez. 2009
- CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/monitoramento_brasil.shtml
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.
- LORENA, R.B. Evolução do uso da terra em porção da Amazônia ocidental (Acre), com uso de técnicas de detecção de mudanças. 2001. 116 p. (INPE-9650-TDI/846). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/04.22.14.15>>. Acesso em: 16 fev. 2010.
- LIM, H.S.; MATJAFRI, M; ABDULLAH, Z. K; SIM, C. K. **Study on the land cover/use features by using ALOS-PALSAR data**. In: Proc. of 'ALOS PI 2008 Symposium', Island of Rhodes, Greece, 2008. Em CD-ROM.
- NEGRI, R.G.; DUTRA, L.V.; FREITAS, C.C.; SCOFIELD, G.B.; SILVA, D.L.A.; ABOUD-NETA, S.R. Classificação da cobertura da terra na Amazônia utilizando imagens polarimétricas em Banda L e Máquina de Vetores Suporte. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. Anais, 2009. p. 7863-7869.
- RADAMBRASIL. Folhas SC.19 Rio Branco: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Levantamento de Recursos Naturais, Rio de Janeiro, v. 17, 1978, 554 p.
- RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis - an introduction**. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin. 1993. p. 340.
- SANTOS, J.R.; NARVAES, I.S.; GRAÇA, P.M.L.A.; GONÇALVES, F.G. Polarimetric responses and scattering mechanisms of tropical forests in the Brazilian Amazon.. In: Gary Jedlovec (NASA/MSFC-USA). (Org.). *Advances on Geoscience and Remote Sensing*. 1a. ed. Vukovar, Croatia: IN-TECH, 2009, v. 8, p. 183-206.
- TANASE, M.; SANTORO, M.; RIVA, J.D.L.; PEREZ-CABELLO, F. Backscatter properties of multi-temporal TerraSAR-X data and the effects of influencing factors on burn severity evaluation, in a Mediterranean pine forest. In IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, Igarss 2009.Cape Town, Africa. p. 593-596.

ULABY, F.T.; ELACHI, C. Radar polarimetry for geoscience applications. London: Artech House, 1990. 364 p.

WOODHOUSE, I.H. Introduction to microwave remote sensing. Boca Raton. CRC Press. Taylor & Francis Group. 370p.