

Mapeamento da cobertura da terra na Floresta Nacional de Tapajós – PA utilizando imagem de coerência polarimétrica

Graziela Balda Scofield¹
Luciano Vieira Dutra¹
Daniel Luis Andrade Silva^{1,2}
Rogério Galante Negri¹
Sumaia Resegue Aboud Neta¹
Corina da Costa Freitas¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{graziela, rogerio, sumaia, dutra, corina}@dpi.inpe.br

² Diretoria de Serviço Geográfico - DSG
Quartel General do Exército – Bloco “F” - SMU - 70630-901 - Brasília - DF, Brasil
andrade@dsr.inpe.br

Palavras-chave: radar, polarimetric coherence, segmentation, classification, remote sensing, radar, coerência polarimétrica, segmentação, classificação, sensoriamento remoto.

Abstract. The assessment of the polarimetric coherence information with full polarimetric data was studied using the region classification. The pair of HH and VV bands showed the relevant information of the phase difference among every band pairs, so the HH and VV bands were used to generate the polarimetric coherence data (CoP_{HH-VV}). The *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) complex full polarimetric images were used to obtain the CoP_{HH-VV} and the intensity data. MultiSeg, a hierarchical segmentation algorithm, and the *Bhattacharyya* distance, a region classifier, were used to segment and classify these images, respectively. The Tapajós National Forest, in the Brazilian Amazon, in Pará State, Brasil, was the study area. Several combinations of the intensity and the polarimetric coherence data were classified. The statistic measures were estimated to compare among these classifications. The results showed the performance improvement of classification of the polarimetric coherence, HV and VV intensities in comparison with the HV and VV intensities classification. The incorporation of HH information in the CoP_{HH-VV} improved in the soya2, degraded forest and the bare soil discrimination, and the soya1 was classified. Therefore, the kappa value of the classification including the polarimetric coherence - CoP_{HH-VV} decreased in relation to the value of the classification using only HH and HV intensities.

1. Introdução

A coerência polarimétrica é a medida da correlação da informação correspondente ao sinal de duas imagens polarimétricas adquiridas com a mesma geometria de aquisição e com polarizações diferentes e no mesmo dia.

Em regiões de florestas densas são esperados baixos valores de coerência polarimétrica, devido ao espalhamento volumétrico enquanto altos valores são associados a regiões de pastagens, agriculturas e solo exposto, em virtude do espalhamento ser predominantemente superficial nessas regiões.

Neste contexto, este trabalho avalia o desempenho devido ao acréscimo da informação de coerência polarimétrica na classificação da cobertura da terra utilizando as medidas de acurácia. A imagem de coerência polarimétrica (CoP_{HH-VV}) e as imagens filtradas em intensidades (I_{HV} ; I_{HV} e I_{VV}) foram geradas a partir dos dados complexos polarimétricos do sensor de microondas “*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*” (PALSAR) do satélite “*Advanced Land Observing Satellite*” (ALOS), da data de 23 de abril de 2007. O segmentador MultiSeg e classificador por regiões baseado na distância de *Bhattacharyya* foram utilizados para várias combinações entre a imagem de coerência polarimétrica e imagens em intensidade.

2. Coerência Polarimétrica

Segundo Henderson e Lewis (1998), apenas o par de bandas HH e VV apresenta relevante informação de diferença de fase entre os pares polarimétricos, em virtude das copolarizações de HH e VV apresentarem mais fortes retroespalhamentos dos alvos do que as polarizações cruzadas (HV e VH). As diferenças de fase entre os sinais HV e HH; e VH e VV apresentam-se ruidosas devido aos retroespalhamentos irregulares decorrentes dos espalhamentos volumétricos, que são observados predominantemente em regiões de floresta.

Para a geração de uma imagem de coerência polarimétrica é necessário definir um filtro de janela quadrada (*Boxcar*) de tamanho $n \times m$, que permite calcular o módulo do coeficiente de correlação complexa com base na média espacial de $n \times m$ pixels (Papathanassiou, 1999). A Equação 1 define o cálculo deste coeficiente:

$$\gamma = \frac{E[p_1 p_2^*]}{\sqrt{E[|p_1|^2] E[|p_2|^2]}} \quad (1)$$

onde $E[.]$ é o valor esperado e, p_1 e p_2 são os pixels complexos de dois canais polarimétricos. O módulo da coerência polarimétrica ($|\gamma|$) é denominado de coerência polarimétrica.

Na prática, o estimador do coeficiente de correlação complexa é definido pela Equação 2:

$$\hat{\gamma} = \frac{\langle p_1 p_2^* \rangle}{\sqrt{\langle |p_1|^2 \rangle \langle |p_2|^2 \rangle}} \quad (2)$$

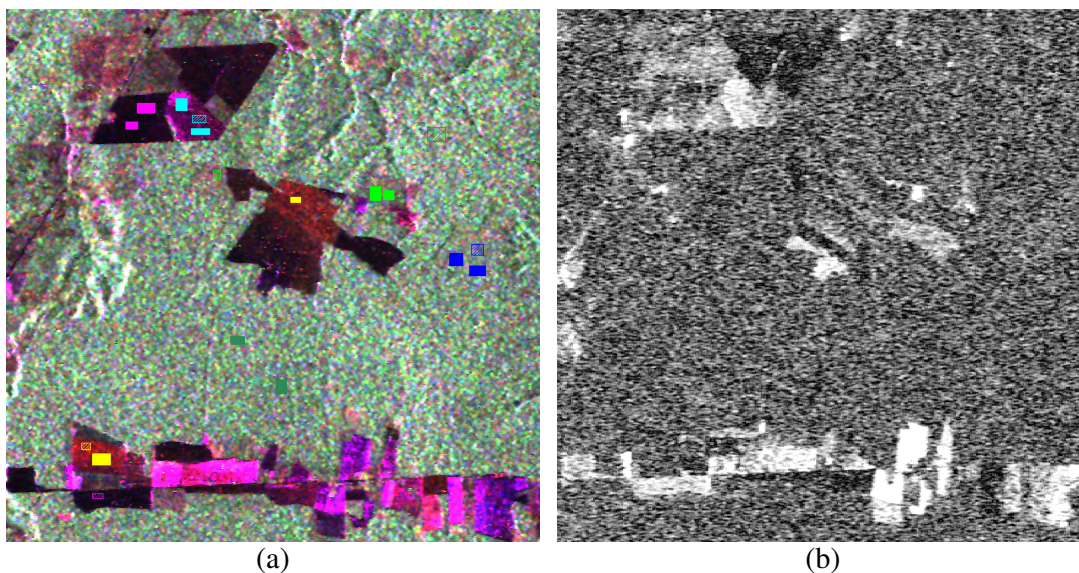
onde: $\langle . \rangle$ indica um operador de média espacial das componentes complexas do sinal e $|\hat{\gamma}|$ é o estimador da coerência polarimétrica ($0 \leq |\hat{\gamma}| \leq 1$).

3. Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho é a Floresta Nacional de Tapajós localizada ao sul de Santarém, no estado do Pará. Esta área é monitorada pelos pesquisadores do INPE há mais de 10 anos e periodicamente são feitos trabalhos de campo para determinar a variação da cobertura da terra.

A imagem de coerência polarimétrica HH-VV ($\text{CoP}_{\text{HH-VV}}$) e a localização das amostras de classes de treinamento e teste na composição colorida (HV)R, (HV)G, (VV)B do sensor PALSAR do satélite ALOS são mostradas na Figura 1. A imagem complexa polarimétrica utilizada foi do dia 23 de abril de 2007, referente à órbita-ponto7130.

As amostras das classes foram selecionadas com o auxílio do trabalho de campo realizado em 2005, com atualizações feitas a partir de consultas de imagens TM de datas próximas à passagem do ALOS. Na figura 1(a), as áreas sólidas representam as áreas de treinamento enquanto que as áreas hachuradas são as de teste.



Legenda:

	Floresta Primária		Soja 1		Solo exposto
	Floresta degradada		Soja 2		Floresta secundária

Figura.1. Área de estudo na composição colorida (HV)R, (HV)G, (VV)B do sensor PALSAR do satélite ALOS de 23 de abril de 2007 (a); e imagem de coerência polarimétrica (CoP_{HH-VV}) (b).

4. Métodos

Primeiramente, as imagens complexas foram importadas para o pacote *SARscape* (para gerar a imagem do módulo da coerência polarimétrica - CoP_{HH-VV}). O tamanho do filtro *Boxcar* utilizado foi de 3 x 3. Após gerada a imagem de coerência, esta foi convertida de *slant* para *ground range*.

As imagens em intensidade foram geradas com o mesmo espaçamento entre pixels e número de *looks* da imagem de coerência, sendo posteriormente processadas com o filtro *Gamma* de tamanho 5 x 5 para reduzir o ruído *speckle*.

A imagem de CoP_{HH-VV} e as imagens em intensidade filtradas (I_{HH} , I_{HV} e I_{VV}) foram segmentadas no MultiSeg (Sousa Jr, 2005). O MultiSeg é um segmentador híbrido, pois utiliza técnicas de crescimento de regiões, agrupamento de regiões, ajuste de bordas e separação de regiões não homogêneas. É multi-níveis, pois utiliza o critério hierárquico de pirâmide; multi-bandas e tanto pode ser aplicado para imagens radar como óticas. O MultiSeg foi implementado em linguagem IDL - *Iterative Data Language*, na plataforma ENVI - *The Environment for Visualizing Images*.

Os parâmetros de entrada do MultiSeg definidos foram: a) modelo de representação dos dados: textura, b) tipo de imagem: óptica, c) número de níveis de compressão: 5, d) área mínima: 40, e e) nível de significância : 5%. Foi definida a óptica como tipo de imagem em virtude da imagem de coerência não apresentar uma distribuição estatística semelhante às dos dados SAR.

Após a segmentação, estas imagens foram classificadas pelo classificador do Sistema de Informação Geográfica *Spring* (Câmara et al., 1996) que utiliza a mínima distância de *Bhattacharyya*. Esta distância mede a similaridade entre duas distribuições de probabilidade

(Richards, 1986). Para duas classes i, j normalmente distribuídas com médias e covariâncias dadas por m_i, m_j, \sum_i e \sum_j , a distância de *Bhattacharyya* é dada por:

$$BD(m_i, m_j) = \frac{1}{8} (m_i - m_j)^t \left\{ \frac{\sum_i + \sum_j}{2} \right\}^{-1} (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{|\sum_i + \sum_j|}{2|\sum_i|^{1/2} + |\sum_j|^{1/2}} \right\}^{-1} \quad (3)$$

5. Resultados e Discussões

Para avaliar a contribuição da informação do módulo da coerência polarimétrica - CoP_{HH-VV} , as imagens segmentadas pelo MultiSeg foram classificadas pela mínima distância de *Bhattacharyya*. A Tabela 1 apresenta os resultados das medidas de acurácia global, *kappa* e variância de *kappa* para todas as classificações realizadas.

Tabela 1. Acurácia das classificações pela mínima distância *Bhattacharyya*, a partir de imagens segmentadas pelo MultiSeg.

Canais	Acurácia Global (%)	Kappa	σ_k^2 (10^{-4})
$I_{HV}, I_{VV}, CoP_{HH-VV}$	86,42	0,8160	1,41
I_{HH}, I_{HV}, I_{VV}	74,48	0,6627	2,05
I_{HH}, I_{HV}	70,02	0,6090	2,19
I_{HV}, I_{VV}	64,43	0,5234	1,94
$I_{HH}, I_{HV}, CoP_{HH-VV}$	63,82	0,5070	2,08

Analisando os resultados das classificações apenas com as imagens intensidade ($I_{HH}, I_{HV}, I_{VV}; I_{HH}, I_{HV};$ e I_{HV}, I_{VV}), a I_{HV}, I_{VV} apresentou menor desempenho estatístico. Porém, a classificação que apresentou melhor desempenho foi a I_{HV}, I_{VV} e CoP_{HH-VV} , mostrando a contribuição do CoP_{HH-VV} no resultado comparando-se com a classificação de I_{HV} e I_{VV} . Esta melhora no desempenho ocorreu devido à contribuição do canal HH na informação de coerência CoP_{HH-VV} . Já a CoP_{HH-VV} não acrescentou informação na classificação de $I_{HH}, I_{HV}, CoP_{HH-VV}$, diminuindo o valor de *kappa*, em relação à classificação de I_{HH} e I_{HV} .

Pelos testes de igualdade de *kappa*, todas as classificações podem ser consideradas diferentes entre si com nível de significância de 5 %.

A Figura 2 apresenta as imagens classificadas pela mínima distância de *Bhattacharyya*. Comparando as imagens (c) e (e) da Figura 2, verifica-se que soja 2, floresta degradada e floresta primária foram bem determinadas, entretanto as áreas de floresta secundária, soja1 e solo exposto decresceram na classificação de $I_{HH}, I_{HV}, CoP_{HH-VV}$. Na análise das imagens (a) e (d), a soja 1 não aparece na classificação de I_{HV}, I_{VV} mas foi bem discriminada na classificação de $I_{HV}, I_{VV}, CoP_{HH-VV}$ devido a informação da coerência CoP_{HH-VV} , ou seja, devido à contribuição da banda HH. Além disso, esta contribuição também foi vista na boa classificação do solo exposto que não foi classificado corretamente em (d). Observa-se também que ambas as imagens apresentam boa classificação das classes florestas degradada e primária e soja 2, não ocorrendo o mesmo para a floresta secundária. As melhores medidas de desempenho foram para (a) e (b), entretanto ambas não classificaram corretamente a floresta secundária, mas a floresta degradada e a soja 2 foram bem discriminadas com na classificação com as imagens $I_{HV}, I_{VV}, CoP_{HH-VV}$.

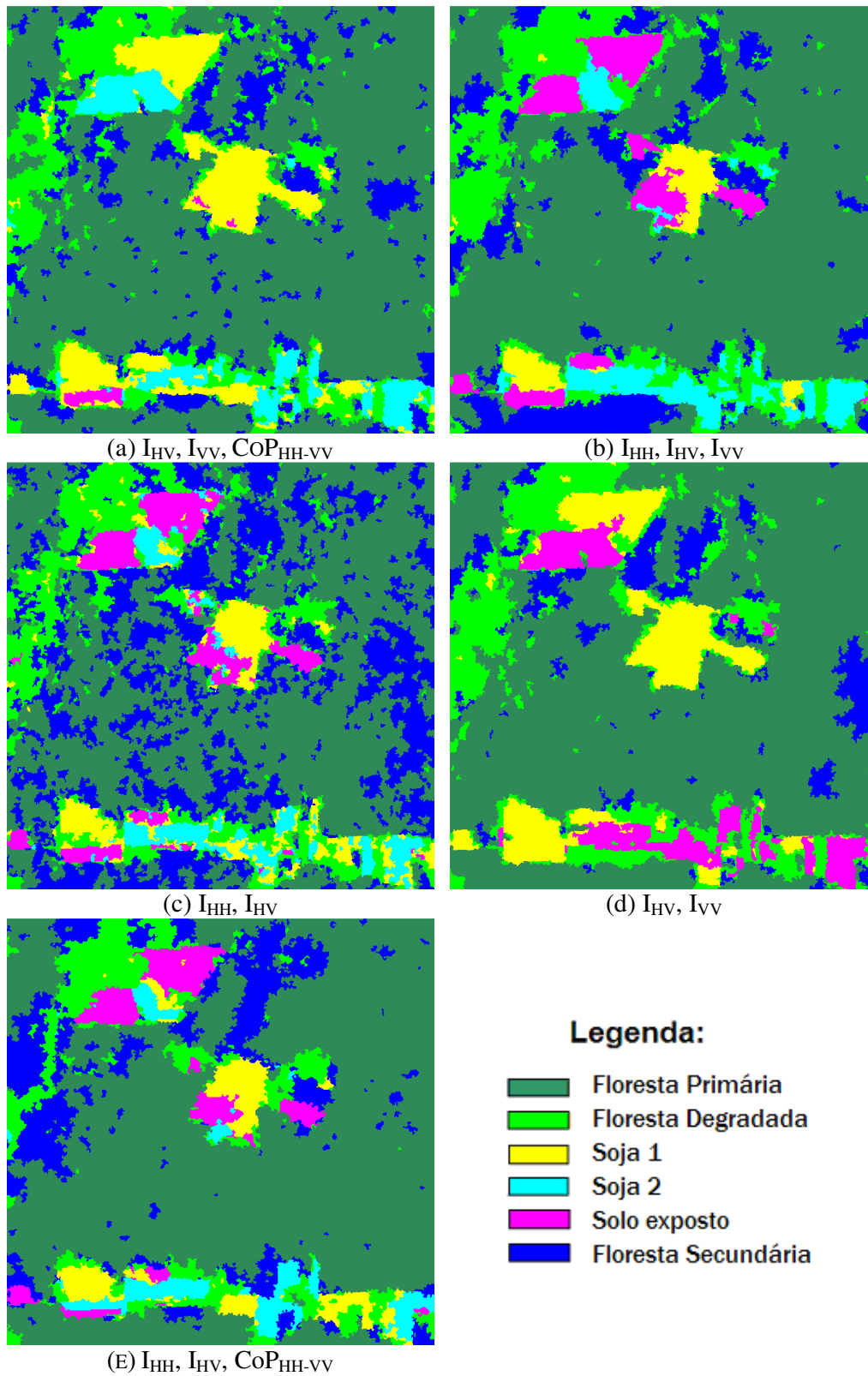


Figura 2. Classificações pela mínima distância de *Bhattacharyya*: (a) $I_{HV}, I_{VV}, CoP_{HH-VV}$, (b) I_{HH}, I_{HV}, I_{VV} , (c) I_{HH}, I_{HV} , (d) I_{HV}, I_{VV} e (e) $I_{HH}, I_{HV}, CoP_{HH-VV}$.

6. Conclusões

Várias combinações de imagens em intensidade (I_{HH} , I_{HV} , I_{VV}) e em módulo da coerência polarimétrica - CoP_{HH-VV} foram classificadas com a mínima distância de *Bhattacharyya*, a partir de imagens segmentadas pelo MultiSeg. A contribuição da CoP_{HH-VV} foi verificada pelo melhor desempenho da classificação de I_{HV} , I_{VV} , CoP_{HH-VV} em relação as classificações feitas apenas com imagens em intensidade. Esta melhora no desempenho ocorreu devido à contribuição do canal HH na informação de coerência CoP_{HH-VV} , discriminado as classes solo exposto e soja1 que na classificação de I_{HV} , I_{VV} não eram classificadas corretamente.

Testes com novas combinações de bandas e/ou utilização de outros classificadores devem ser feitos para comprovar o acréscimo de informação da imagem de coerência polarimétrica - CoP_{HH-VV} .

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro do CNPq (3284469/2006-0, 304274/2005-4 e 305546/2003-1), CAPES, FAPESP (2007/02139-5), e JAXA (JAXA-PI 108).

Referências Bibliográficas

Camara, G., Souza, R. C. M., Freitas, U. M., Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling", **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996

Henderson, F. M.; Lewis, A. J. **Manual of remote sensing: principles and applications of imaging radar**, 3rd edition, John Wiley Sons, USA, v. 2, 896p,1998

Papathanassiou, K. P. Polarimetric SAR interferometry. **Doctoral Thesis**. Technische Universität Graz, Oberpfaffenhofen,131 p. 1999

Richards, J. A., Remote Sensing Digital Image Analysis: a introduction, 2 ed., Springer-Verlag, Germany, 1993

Sousa Jr, M. A. Segmentação multi-níveis e multi-modelos para imagens de radar e ópticas. 133p. **Tese de Doutorado em Computação Aplicada**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2005