

Classificação de imagens de radar multipolarizadas na banda L (R99-B) para mapeamento de uso do solo em áreas urbanas e periurbanas de São José dos Campos-SP

Haron Abraham Magalhães Xaud^{1,2}
Gustavo Augusto Mascarenhas Goltz²

¹ Empresa Brasileira de Pesquisas Espaciais – Embrapa Roraima
BR- 174, km 8, Distrito Industrial, 69.301-970 – Boa Vista – RR, Brasil
haron@cpafrr.embrapa.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
haron@dsr.inpe.br; gustavo_goltz@yahoo.com.br

Abstract. This paper presents a study of multi-polarized SAR images to obtain maps of land use in the municipality of São José dos Campos-SP, Brazil. Radar data of high resolution may indicate good opportunity to explore remote sensing images in the spectrum of the microwaves, which can provide additional and useful information for studies of urban and periurban areas. The objective of this paper is to evaluate the use of SAR data (R99-B) in supervised classification for the discrimination land use in urban and periurban regions. The methodology included classification based on pixel to pixel (MLC-Maximum Likelihood Classification) and contextual approach (ICM- Iterated Conditional Modes). The input polarized images were HH, HV e VV (amplitude), including one texture image derived of HH polarization. The results indicated that, isolated, none of the images could distinguish enough the land use. These results generated a Kappa index below 0.4. When utilized in pairs the best results were VV + Texture-HH, with Kappa of 0.52. With three images the best results were the combination of VV + HV + Texture-HH, with Kappa 0.58. Utilizing all four images the results reached the same Kappa of 0.58. The ICM algorithm was superior to the MAXVER in all tested sets of images. The SAR images of the R99-B allowed mapping land use in the study area with good accuracy.

Palavras-chave: synthetic aperture radar, Maximum Likelihood Classification, Iterated Conditional Modes, texture, radar de abertura sintética, classificação MaxVer, classificação ICM, textura.

1. Introdução

Segundo Correia (1998) “a intensificação de estudos na área de Sensoriamento Remoto voltado para os radares imageadores de abertura sintética (Synthetic Aperture Radar - SAR) tem proporcionado, cada vez mais, o melhor entendimento dos mecanismos de dispersão dos alvos terrestres na faixa de microondas”.

Dados multipolarizados contêm grande quantidade de informação do terreno imageado, como a rugosidade de superfícies, espalhamento volumétrico da vegetação, *double bounce* entre outros, para cada polarização. Esse leque de dados disponibilizados auxilia as ferramentas de classificação de imagens na discriminação dos alvos de interesse, uma vez que cada polarização interage de diferentes maneiras com os alvos, gerando espalhamentos com mais riqueza de informações sobre os mesmos.

De uma forma geral no sensoriamento remoto, a classificação de imagens se constitui numa ferramenta básica para extração de informações temáticas a partir de imagens de satélites, tanto para aplicações relativas a mapeamentos e monitoramentos de paisagens naturais (recursos naturais, feições de relevo, mapeamento de solos e vegetação etc.), quanto de paisagens antrópicas ou artificiais (áreas urbanas, estradas, obras de infra-estrutura etc.).

Segundo Correia (1998) a classificação de imagens é um procedimento pelo qual é gerada uma imagem onde os valores em cada posição representam classes de temas de interesse, por exemplo, tipos de vegetação, tipos de cultura etc. Novo (2008) afirma que “... as técnicas de classificação visam atribuir a cada *pixel* um rótulo em função de suas propriedades espectrais e/ou espaciais”.

Classificações podem ser realizadas de forma automática (não-supervisionada), semi-automática (supervisionada com auxílio de algoritmos, programas e computadores), ou a partir de interpretação visual, quando o intérprete realiza a classificação.

Na classificação de imagens aplicada aos estudos de uso do solo para áreas urbanas, tem havido grande evolução de sensores ópticos de alta resolução, com pixel em torno de 1m^2 ou ainda menores. Porém, imagens de radar (SAR/R99-B) de alta resolução podem indicar boa oportunidade de se explorar imagens de sensoriamento remoto no espectro das microondas, que podem trazer informações adicionais úteis para o estudo de alvos urbanos e periurbanos.

O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o uso dos dados SAR (R99-B) em classificação supervisionada pixel a pixel e contextual para a discriminação de alvos urbanos e periurbanos de uma região da cidade de São José dos Campos, SP.

2. Área de Estudo

A área de estudo está localizada em uma região que integra uma parte urbana e periurbana (franja urbana) da cidade de São José dos Campos, principal cidade da Região do Vale do Paraíba-SP (Figura 1). A região selecionada possui grande variedade de alvos, tais como: áreas residenciais diversificadas, corpos d'água, solo exposto, áreas rurais de pequenas e grandes propriedades, diversos tipos de vegetação, pavimentação etc., distribuídos num relevo local variando de plano a ondulado.



Figura 1 – Localização da área de estudo.

3. Metodologia de Trabalho

Foram utilizadas imagens SAR do sensor aerotransportado R99-B (SIPAM, 2008), nas polarizações HH, HV, VH e VV, banda L. O imageamento foi realizado em julho de 2006 sobre o perímetro urbano e periurbano (ou franja urbana) da cidade de São José dos Campos.

Apesar do R99-B gerar imagens polarimétricas nas quatro polarizações acrescidas da informação de fase, para este trabalho foram utilizados apenas os produtos gerados dentro do procedimento padrão do SIPAM (2008), quer sejam as quatro polarizações corrigidas geométrica e radiometricamente, gravadas em imagens de amplitude, sem sua parte complexa.

Após a análise preliminar das imagens, foi aplicado o princípio da simetria nas imagens de polarização cruzada HV e VH, tendo sido a polarização VH descartada por não haver

diferenças entre as mesmas. Assim, as polarizações das imagens SAR utilizadas foram HH, HV e VV (Figura 2).

Visando-se o enriquecimento da base de dados a ser utilizada e de acordo com trabalhos anteriores (Haralick, 1979; Rennó et al., 1998; Kuplich e Curran, 2003) que ressaltam a importância dos atributos de textura obtidos das imagens de radar, extraiu-se a textura da polarização HH baseada no coeficiente de variação (razão entre desvio padrão e média), utilizando uma máscara 7x7 (RAT, 2008).

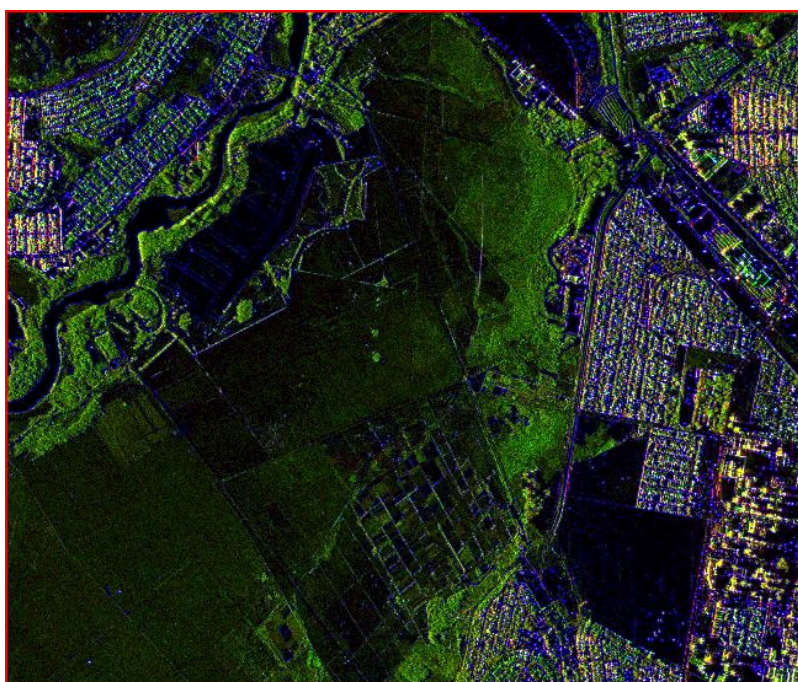


Figura 2 – Composição falsa-cor das imagens HH (R), HV-VV (G) e textura-HH (B), banda L, do sensor R99-B, da área de estudo, município de São José dos Campos-SP.

Os softwares utilizados para o pré-processamento das imagens, classificação e visualização dos resultados foram: RAT – Radar Tools – v. 0.20; ENVI v. 4.5; Classificador Polarimétrico v. 0.7; e IDL 7.0.

O classificador polarimétrico (Correia, 1998) produz duas classificações possíveis, uma baseada no algoritmo da Máxima Verossimilhança (MaxVer ou MLC) e outra através do algoritmo *Iterated Conditional Modes* (ICM).

O método MaxVer é executado através dos passos abaixo:

- 1) Decidir, dentre os possíveis conjuntos de classes da cobertura terrestre, aqueles que serão utilizados para particionar a imagem a ser classificada;
- 2) associar uma distribuição a cada classe;
- 3) selecionar e retirar amostras de regiões representativas de cada classe;
- 4) estimar os parâmetros das distribuições associadas a cada classe;
- 5) opcionalmente, pode-se testar o ajuste das distribuições associadas a cada classe e, eventualmente, modificar alguma das escolhas realizadas na segunda etapa;
- 6) classificar a imagem, atribuindo cada pixel da imagem à classe com maior verossimilhança.

O algoritmo ICM utiliza a saída gerada pelo MaxVer e iterativamente refina a classificação inicial analisando a vizinhança oito de cada pixel. Este pode sofrer alteração de sua classe através de um limiar. Segundo Correia (1998) “a influência das classes vizinhas é quantificada por um parâmetro real, que é estimado iterativamente supondo um modelo para a distribuição espacial das classes”.

Foi ainda realizada uma verificação de campo para complementar e auxiliar o reconhecimento de alvos e padrões das imagens SAR. Através do levantamento, alguns alvos foram conferidos visando melhorar a coleta de amostras nas imagens para a realização das classificações. Observando-se a área (Fig. 1) definiram-se as seguintes classes para serem extraídas através das classificações pixel a pixel: 1 - vegetação gramínea; 2 - vegetação arbórea; 3 - área urbana – edifícios; 4 - área urbana - construções baixas (casas); 5 – rio; 6 - área agrícola; e 7 - solo exposto.

Com base nestas classes, as regiões de interesse foram geradas utilizando o software ENVI. Cada classe foi representada por 15 amostras, distribuídas homogeneamente pela imagem. Todas as classificações utilizaram o mesmo conjunto de amostras. De posse das amplitudes das polarizações HH, HV e VV, da textura extraída da polarização HH e das regiões de interesse para cada classe, fizeram-se 12 classificações, variando-se as imagens utilizadas, através do Classificador Polarimétrico (Tabela 1).

Tabela 1: Imagens utilizadas nas classificações MAXVER e ICM realizadas.

Classificação	Imagens utilizadas
1	Polarização HH
2	Polarização HV
3	Polarização VV
4	Textura da polarização HH
5	Polarizações HH e VV
6	Polarizações HH e VH
7	Polarização VV e textura da polarização HH
8	Polarização HV e textura da polarização HH
9	Polarização HH e textura da polarização HH
10	Polarizações VV, HV e HH
11	Polarizações VV, HV e textura da polarização HH
12	Polarizações VV, HV, HH e textura da polarização HH

4. Resultados e Discussão

A Tabela 2 contém os índices Kappa e os índices de acerto global obtidos para as classificações baseadas nos algoritmos MaxVer e ICM, levando-se em consideração todas as 7 classes definidas: 1 - vegetação gramínea; 2 - vegetação arbórea; 3 - área urbana – edifícios; 4 - área urbana - construções baixas (casas); 5 – rio; 6 - área agrícola; e 7 - solo exposto.

Tabela 2 - Índices Kappa e Acertos Globais das classificações MaxVer e ICM.

Polarizações	MaxVer		ICM	
	Índice kappa	Acerto Global - %	Índice kappa	Acerto Global - %
HH	0.328285	43.2396	0.389876	48.5908
HV	0.258383	38.6645	0.274157	39.8453
VV	0.330962	43.3245	0.397135	48.9196
Textura HH	0.136441	24.4598	0.154257	25.8545
HV – HH	0.349440	45.0607	0.395806	49.1220
HV – Textura HH	0.449262	53.8047	0.494981	57.8100
VV – HH	0.404149	49.6893	0.461671	54.6502
VV – Textura HH	0.488463	57.0892	0.572145	64.2597
HH – Textura HH	0.461073	54.8363	0.519544	59.8551
VV – HV – HH	0.410730	50.3324	0.455261	54.1606
VV – HV – Textura HH	0.523198	60.1568	0.576052	64.6752
VV – HV – HH – Textura HH	0.527758	60.5109	0.582168	65.1485

Conforme pode-se extrair dos resultados tabelados, o algoritmo ICM foi superior ao MaxVer em todos os resultados de classificação obtidos através do classificador polarimétrico (Correia, 2008).

Das classificações univariadas (uso de apenas uma banda-imagem), a que revelou-se como melhor resultado em Kappa e Índice de acerto global, tanto pela classificação MaxVer quanto por ICM, foi a que utilizou a polarização VV.

Para as classificações bivariadas, o melhor resultado foi obtido utilizando-se a polarização VV + textura HH (Coef. de Variação). Este conjunto através da classificação pelo algoritmo ICM, alcançou um Kappa de 0,57 e um índice de acerto global de 64%.

Para as classificações trivariadas testadas, o melhor resultado foi obtido utilizando-se o conjunto VV + HV + textura HH (Coef. de Variação). Este conjunto através da classificação pelo algoritmo ICM, alcançou um Kappa de cerca de 0,58 e um índice de acerto global de 65%. Este resultado é praticamente o mesmo quando se utiliza todas as 3 polarizações + textura HH (Coef. Variação).

Abaixo na Figura 3, estão expostos os resultados (mapas temáticos) de algumas das classificações geradas.

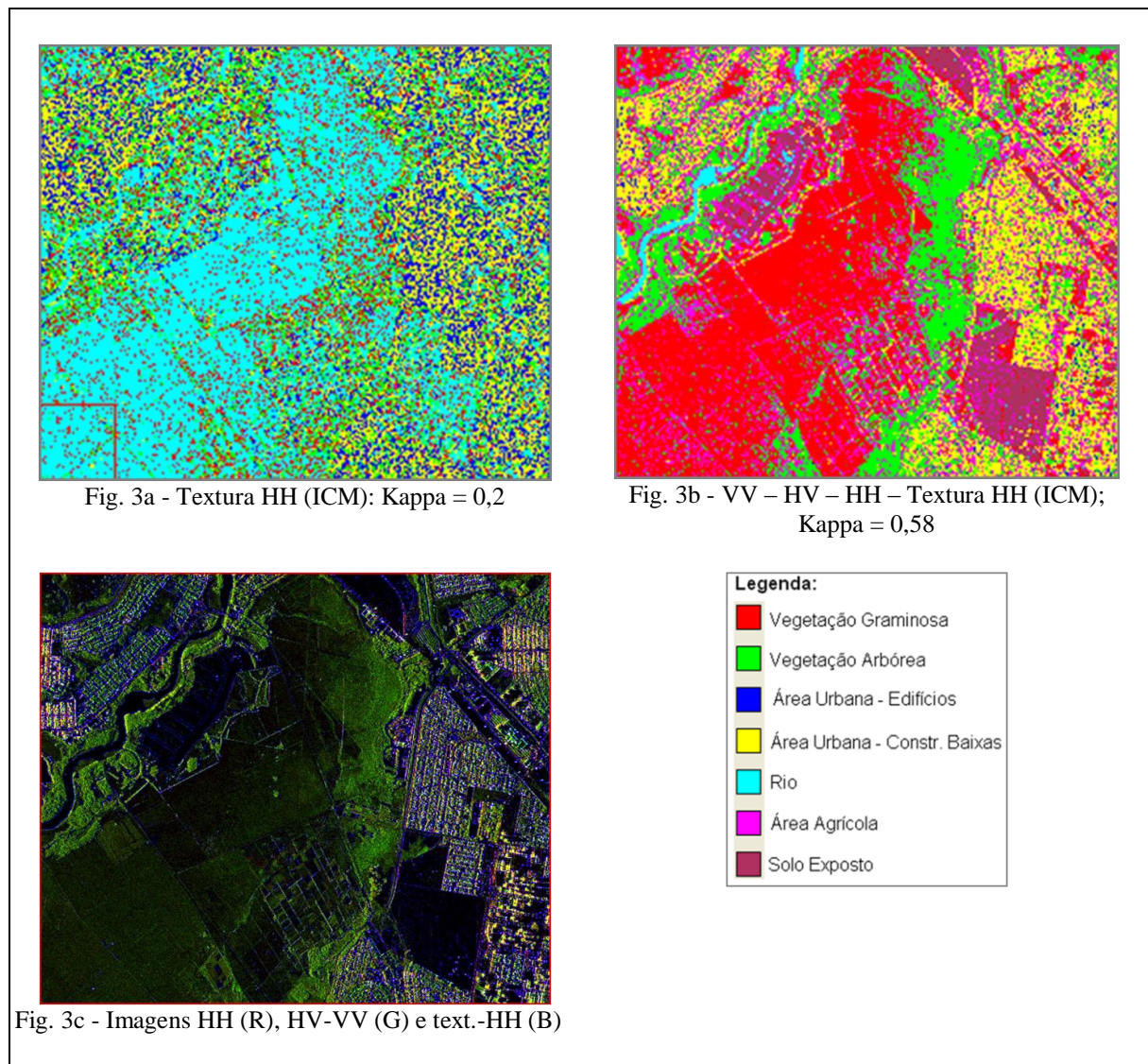


Figura 3 – Resultados de algumas classificações: a pior (Fig. 3a), a melhor (Fig. 3b) e composição colorida falsa-cor com imagens SAR-R99-B (Fig. 3c).

5. Conclusões

Todos os conjuntos de imagens testados que utilizaram a textura (Coeficiente de Variação) da polarização HH obtiveram melhores resultados nas classificações.

O algoritmo ICM foi superior ao MaxVer também em todos os conjuntos de imagens testados.

As imagens SAR do R99-B, devidamente processadas foram capazes de gerar classificações de alvos da franja urbana da cidade de São José dos Campos-SP, com exatidão (Kappa) de cerca de 0,58.

Recomenda-se: a) que estas imagens sejam avaliadas em complemento a imagens ópticas multiespectrais de alta resolução, utilizando a mesma área de estudo e outras ferramentas de classificação, como por exemplo classificadores orientados a objetos; b) que sejam testadas outras imagens-texturas geradas a partir das outras polarizações.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa e ao INPE pelo apoio disponibilizado para o desenvolvimento deste trabalho; ao IEAv - Instituto de Estudos Avançados, pela disponibilização das imagens SAR R99-B.

Referências Bibliográficas

CORREIA, A.H. **Projeto, Desenvolvimento e Avaliação de Classificadores Estatísticos Pontuais e Contextuais para Imagens SAR Polarimétricas**. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: INPE, 1998.

HARALICK, R.M. Statistical and structural approaches to texture. **Proceedings of the IEEE**. v. 67, n. 5, p. 786-804. May 1979.

KUPLICH, T.M.; CURRAN, P.J., Estimating texture independently of tone in simulated images of forest canopies. 2003. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 2209 - 2216. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17- 00017-X. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.19.09.53/doc/16_473.pdf>. Acesso em: 03. dez.2008.

NOVO, E.M.L.M. . **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 363 p.

RAT. **Radar Tools**. v.0.20. Software. 2008.

RENNÓ, C.D.; FREITAS, C.C.; SANT'ANNA, S.J.S. A system for region image classification based on textural measures. In: In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 9, 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. Artigos, p. 1195-1202. CD-ROM. On-line. ISBN 85-17-00015-3. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.14.26/doc/10_211o.pdf>. Acesso em: 03.dez.2008.

SANTOS, J. C. **Extração de atributos de forma e seleção de atributos usando algoritmos genéticos para classificação de regiões**. Dissertação de mestrado. São José dos Campos: INPE, 2007. 99p. ; (INPE-14671-TDI/1224)

SIPAM. Sistema de Proteção da Amazônia. **Portal SIPAM**. Disponível em : < <http://www.sipam.gov.br>>. Acesso em : 03.dez.2008.