

## Uso de imagens do sistema SAR-R99B para distinguir culturas agrícolas

Wagner Fernando da Silva<sup>1</sup>  
Antonio Roberto Formaggio<sup>1</sup>  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff<sup>1</sup>  
José Cláudio Mura<sup>2</sup>  
Waldir Renato Paradella<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
<sup>1</sup>{wagner, bernardo, formag, waldir}@dsr.inpe.br <sup>2</sup>mura@dpi.inpe.br

**Abstract:** Synthetic Aperture Radar – SAR images are an important alternative to obtain information on agricultural crops under cloudy conditions. The SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia) have three SAR-R99B airborne sensors that allow to acquire polarimetric images at X and L band. The objective this work is to evaluate the SAR-R99B images acquired in L band to discriminate among different crops. The multipolarized SAR images showed to be indicated to discriminate among analyzed crops. Best results were obtained with the VV-HV-HH and VV-HV polarizations. For single polarization the best result was obtained with the VV polarization.

**Palavras-chave:** SAR-R99, crop discrimination, cluster analysis, distinção de culturas, análise de agrupamento.

### 1. Introdução

Imagens orbitais adquiridas por sensores óticos sofrem limitações de aquisição por cobertura de nuvens. Essa limitação se agrava ainda mais em países tropicais que concentram a sua produção agrícola no verão, período no qual a incidência de nuvens é maior. Imagens de sensoriamento remoto têm sido cada vez mais utilizadas nas aplicações agrícolas, como exemplo pode-se citar os trabalhos de Ippoliti-Ramilo et al.(1999) e Rudorff et al. (2005). O mapeamento e distinção de culturas são informações essenciais para tais aplicações. Entretanto, muitas vezes imagens óticas livres de nuvens não estão disponíveis. Imagens de radar de abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar – SAR*) surgem como uma alternativa para contornar essa limitação, pois são obtidas por sensores ativos que atuam na faixa espectral de microondas e praticamente não sofrem influência por cobertura de nuvens.

A interação da radiação de microondas com os alvos agrícolas é determinada por fatores elétricos e geométricos e por esse motivo torna-se dependente da frequência de operação, da polarização e do ângulo de incidência em que o sensor opera (Brisco e Brown, 1998 e Paris, 1983). Segundo Stankiewicz (2006), imagens SAR adquiridas sobre regiões agrícolas contêm informações que permitem a distinção de culturas agrícolas. Utilizando imagens da banda L Ulaby (1980) e Riedel e Schimullius (2003) encontraram resultados satisfatórios para distinguir diferentes culturas. Entretanto, faltam estudos sobre a identificação e distinção de culturas comumente cultivadas no Brasil.

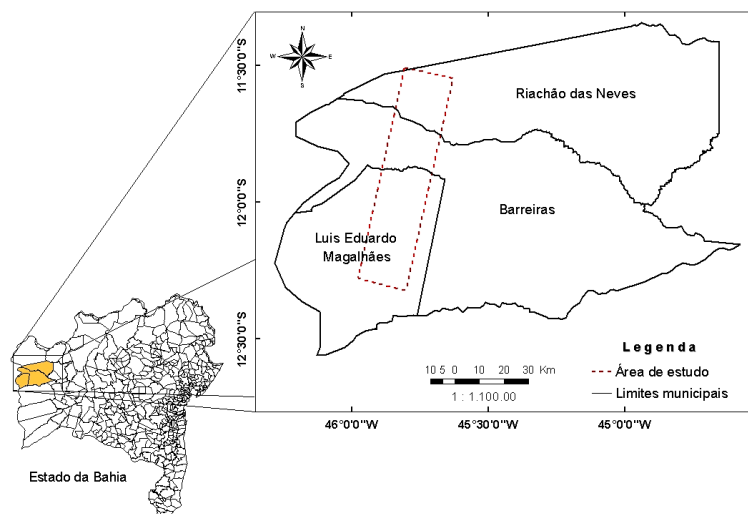
O Sistema de Vigilância da Amazônia – SIVAM possui três aeronaves EMB-145 equipadas com sistemas SAR-R99B. Esses sensores operam nas bandas X (9,3 GHz) e L (1,28 GHz). O subsistema da banda X opera na polarização HH e permite adquirir dados interferométricos. O subsistema da banda L tem a capacidade de adquirir dados polarimétricos, ou seja, imagens nas polarizações HH, HV, VH e VV e informações de fase da radiação retroespalhada (Defesanet, 2003). Os sistemas SAR-R99B suportam missões de vigilância e mapeamento e também missões híbridas.

A hipótese abordada é que há possibilidade de aplicação das imagens adquiridas por sensores SAR-R99B para a distinção e o mapeamento de culturas agrícolas. Dessa forma, o

objetivo do presente trabalho foi avaliar as imagens da banda L, adquiridas pelo sistema SAR-R99B, quanto à capacidade de distinguir diferentes culturas agrícolas.

## 2. Área de estudo

A área de estudo, cujas coordenadas geográficas centrais são 11°55'08" sul e 45°49'53" oeste, localiza-se no extremo oeste do estado da Bahia, inserida nos limites municipais de Barreiras, Luis Eduardo Magalhães e Riachão das Neves (**Figura 1**). A área total é de 1.463 km<sup>2</sup> e caracteriza-se por apresentar solos latossólicos e grandes campos de cultivo, principalmente com as culturas de algodão, café, soja, milho e pastagem. Entretanto, neste trabalho utilizaram-se apenas as culturas do algodão, café e pastagem, pois se encontravam em pleno vigor vegetativo na data de aquisição das imagens o que permite uma melhor avaliação com as imagens SAR. A topografia da região é suave, praticamente plana, apresentando algumas áreas de várzeas.



**Figura 1** – Representação da área de estudo inserida nos municípios de Riachão das Neves, Barreiras e Luis Eduardo Magalhães no oeste do estado da Bahia. O retângulo em linha tracejada representa a área coberta pelo sensor SAR-R99B.

## 3. Matérias e métodos

### 3.1. Obtenção dos dados e calibração radiométrica das imagens

O sobrevôo da aeronave para aquisição das imagens ocorreu no dia 05 de abril de 2005. Foi utilizado o modo de mapeamento A1 do SAR-R99B com resolução em alcance de 6 m. O ângulo de incidência das imagens variou de aproximadamente 54° a 71°. As imagens foram processadas com 10 *looks* e tamanho de pixel de 5 x 5 m.

A calibração radiométrica das imagens consistiu na correção do padrão da antena e transformação para coeficiente de retroespalhamento ou Sigma 0 ( $\sigma^0$ ). A correção do padrão da antena objetiva corrigir as imagens de acordo com o padrão de ganho do sensor utilizado e reduzir a influência da variação do ângulo de incidência no retroespalhamento dos alvos. Utilizou-se o modelo multiplicativo, por meio de uma função de ajuste obtida a partir de áreas homogêneas da imagem que se estendiam do alcance próximo ao alcance distante (Ulaby et al. 1982).

A conversão das imagens para  $\sigma^0$  foi auxiliada pelo retroespalhamento de refletores triédricos de canto (*corner reflector*). Esses refletores foram alocados em campo durante o

imageamento em outro experimento, com o mesmo sensor, no poliduto Urucu/Coari - Terminal Solimões, no estado do Amazonas. Foi possível utilizar as respostas desses refletores porque os parâmetros do sensor e modo de imageamento foram os mesmos nos dois experimentos. Assim, a resposta dos refletores é a mesma para as duas regiões em questão.

Para cada refletor, foi calculado o valor teórico máximo de retroespalhamento normalizado pela área do pixel, de acordo com a Equação 1 (Ulaby et al., 1982). Posteriormente, foi gerado um fator de correção médio ( $\bar{f}$ ) por meio da Equação 2. A partir do fator médio calculou-se um fator ( $f_i$ ) específico para cada pixel dentro das linhas da imagem (Equação 3), ou seja, esse fator variou de acordo com o ângulo de incidência. O fator  $f_i$  foi utilizado na Equação 4 para a conversão das imagens amplitude em  $\sigma^\circ$ .

$$\sigma_{\text{máx}(j)} = \frac{4\pi \cdot (\text{área efetiva do refletor})^2}{\lambda^2 \cdot (\text{área do pixel})} \quad (1)$$

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\sigma_{\text{máx}(j)}}{Acr_j} \quad (2)$$

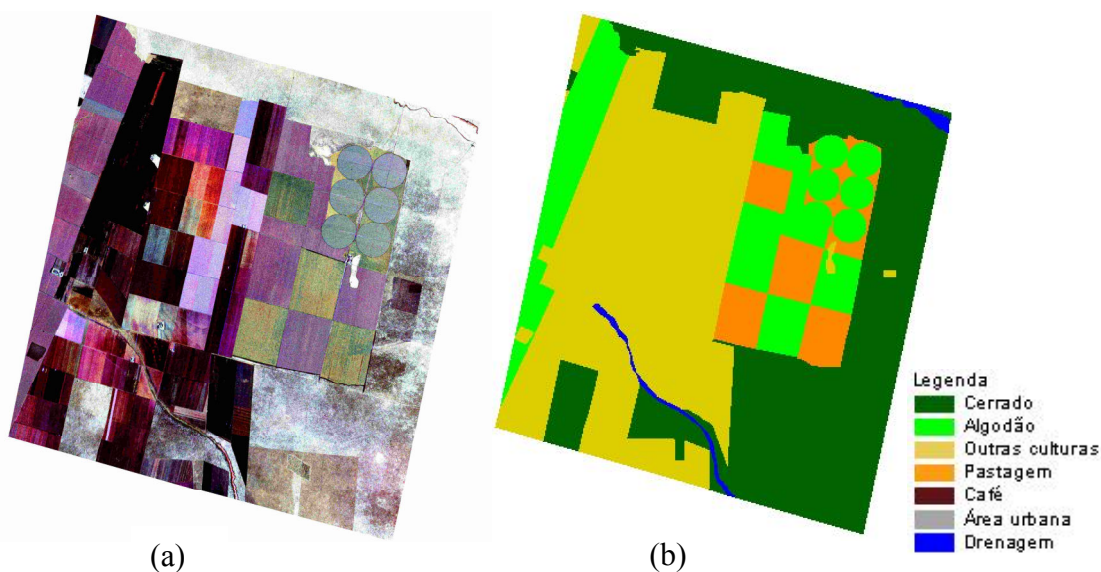
em que  $\sigma_{\text{máx}(j)}$  é o valor teórico máximo de retroespalhamento para o j-ésimo refletor de canto;  $\lambda$  é o comprimento de onda utilizado;  $\bar{f}$  é o fator de correção médio e  $Acr_j$  é o valor de amplitude medido na imagem para o j-ésimo refletor de canto.

$$f_i = \bar{f} \times \text{sen } \theta_i \quad (3)$$

em que  $f_i$  é o fator de correção aplicado ao i-ésimo pixel da linha,  $\bar{f}$  é o fator de correção médio e  $\theta_i$  é o ângulo de incidência para o i-ésimo pixel na linha.

$$\sigma_i^\circ = (20 \log_{10} A_i) \times f_i \quad (4)$$

em que  $\sigma_i^\circ$  e  $A_i$  são, respectivamente, o coeficiente de retroespalhamento em dB e o valor de retroespalhamento em amplitude para cada pixel da imagem e  $f_i$  é o fator de correção para cada pixel.



**Figura 2** – (a) Parte da imagem SAR na composição VV(R)HV(G)HH(B). (b) Mapa de referência das culturas, obtido por interpretação de imagem TM/Landsat-5 de 11/04/2005.

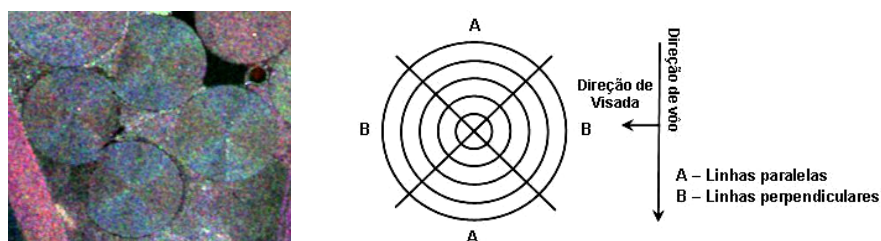
Um trabalho de campo foi realizado no mesmo dia da aquisição das imagens SAR. Adquiriram-se informações de alguns campos como tipo, altura e estágio da cultura, direção de plantio, presença de ervas daninhas. Um mapa de referência foi confeccionado com a utilização de imagens do sensor TM do Landsat-5 datada de 11 de abril de 2005. Devido à proximidade das datas, no que tange ao desenvolvimento das culturas, considera-se não haver diferenças significativas nos alvos entre as aquisições das imagens SAR e TM.

Para o registro das imagens utilizou-se o aplicativo específico do ENVI 4.1 e tomou-se como base os mosaicos do sensor ETM+ do Landsat-7 ortorretificados da NASA (GeoCover). A **Figura 2** ilustra uma parte da imagem SAR e o mapa de referência correspondente.

### 3.2 Metodologia

O cultivo do café, na região de estudo, é realizado tipicamente em áreas irrigadas por pivô central, com linhas de plantio em círculos concêntricos (**Figura 3**). Dessa forma, têm-se linhas que são predominantemente paralelas à direção de visada do sensor (café paralelo) e linhas que são predominantemente perpendiculares à direção de visada (café perpendicular).

Como discutido por Formaggio et al. (2001), a direção das linhas de plantio é um fator importante a influenciar o retroespalhamento. Nesse contexto, realizou-se o teste *t* para amostras coletadas considerando as duas direções. Verificou-se que, ao nível de significância de 5%, o retroespalhamento médio dos campos difere em função da direção de plantio. Dessa forma, para as análises posteriores a cultura do café foi dividida em duas classes: café perpendicular e café paralelo.



**Figura 3** – Imagem SAR, composição VV(R)HV(G)HH(B), com campos de café e ilustração esquemática da influência das linhas de plantio na direção de visada.

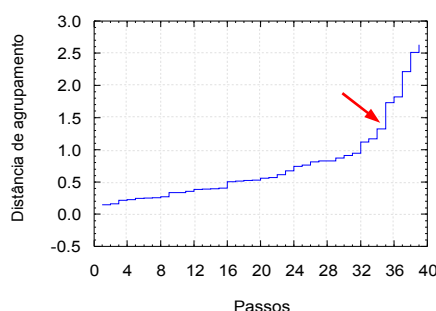
Campos representativos das culturas de interesse foram selecionados, sendo 19 campos de algodão, 9 de pastagem, 6 de café perpendicular e 6 de café paralelo. A partir desses campos coletaram-se amostras (valores de pixels) de forma a garantir a condição de aleatoriedade e não correlação espacial entre os pixels.

Geralmente, os dados de imagens SAR não possuem distribuição normal (Oliver e Quegan, 1998). Entretanto, gráficos do tipo *box-plot* e testes estatísticos garantiram a normalidade dos dados ao nível de 5% de significância. Acredita-se que a normalidade foi ocasionada pelo aumento do número de *looks* (Oliver e Quegan, 1998). Assim, assumiu-se que os dados apresentam distribuição normal e adotou-se a média amostral como um estimador para as análises posteriores.

A análise do retroespalhamento médio dos campos foi realizada por meio de análises gráficas e análise de agrupamento para uma polarização e para a combinação de duas e três polarizações. Essa última análise permite particionar um conjunto de dados em grupos relativamente homogêneos, mas com grande variação entre os grupos formados (Hair Jr. et al., 1998). A análise baseia-se em coeficientes de similaridade entre os objetos para posteriormente agrupá-los com o uso de um algoritmo ou método de agrupamento. Os agrupamentos foram realizados no software Statistica 6.0 e como coeficiente de similaridade utilizou-se a distância métrica de Chebychev, que adota como medida a máxima distância

entre dois objetos encontrada em uma das dimensões. O agrupamento pareado proporcionalmente ponderado (*weighted pair-group method*, WPGM) foi o algoritmo utilizado, cuja distância entre dois grupos é calculada como a distância média entre todos os pares de objetos e o número de componentes é utilizado como peso.

Segundo Hair Jr et al. (1998) uma questão importante das técnicas de agrupamento é a definição da distância ótima de corte para a formação dos grupos. Essa decisão envolve além de outros critérios, o conhecimento adquirido a priori pelo usuário. O critério adotado fundamentou-se na identificação de um platô no sentido vertical. Esse platô indica que muitos objetos foram agrupados e que grupos com características diferentes foram agrupados no passo seguinte (**Figura 4**).



**Figura 4** – Critério para estabelecimento do ponto ótimo de corte. Identificação de um platô vertical. Polarizações VV, HV e HH.

Os grupos formados foram nomeados de acordo com a predominância de culturas, sendo que, dessa forma, campos de outras culturas podiam encontrar-se erroneamente no referido grupo. Quando mais de um grupo de uma mesma cultura foi gerado, todos foram agrupados, posteriormente, em um único grupo, atingindo novamente as quatro classes iniciais, semelhante a um critério de classificação não supervisionada. Em seguida, os resultados foram avaliados por meio de matriz de confusão e dos índices de Exatidão Global e Kappa.

#### 4. Resultados e discussões

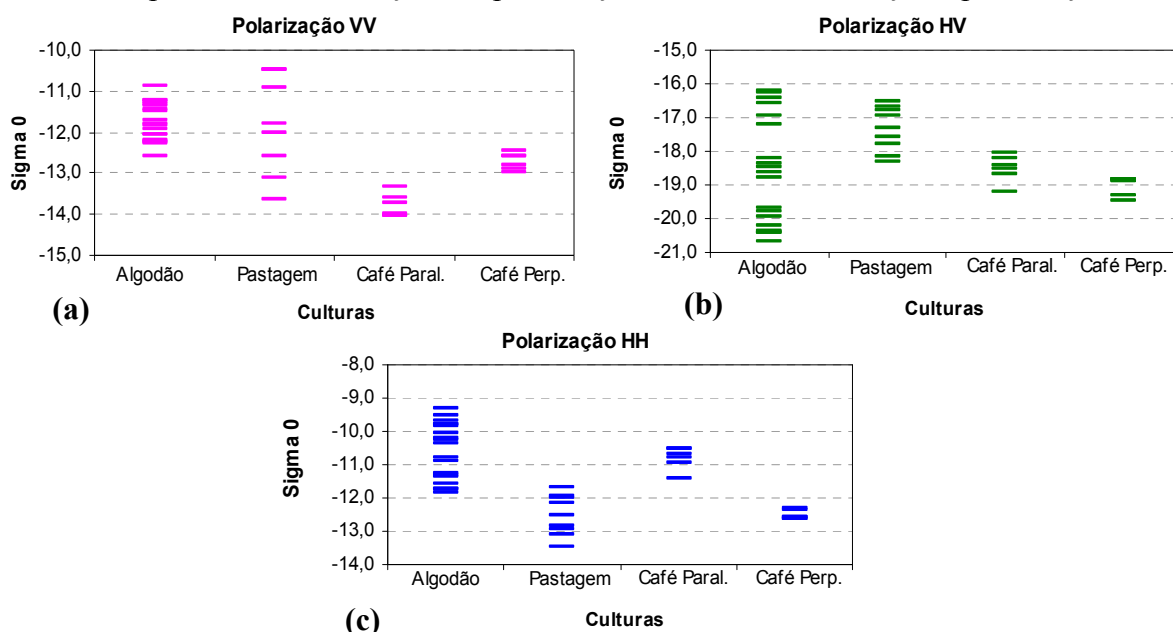
A **Figura 5** ilustra os gráficos com a variação total de  $\sigma^\circ$  médio dos campos para as polarizações individuais HH, HV e HH. Houve sobreposição de valores entre algumas culturas. Para a polarização VV os campos de pastagem apresentaram maior variação, sobrepondo as outras culturas. Entretanto, não houve sobreposição de valores entre algodão e café paralelo e entre café perpendicular e café paralelo.

Para a polarização HV, valores dos campos de pastagem e de café perpendicular não se sobrepuseram. Porém, os campos de algodão apresentaram grande variação, sobrepondo-se em relação a todas as outras classes. Para a polarização HH não houve sobreposição entre os campos de algodão e café perpendicular, entre os campos de pastagem e café paralelo e entre os campos de café paralelo e café perpendicular. A maior dispersão de valores, para essa polarização, foi atribuída à cultura do algodão.

Na polarização VV os campos de café perpendicular apresentaram valores de  $\sigma^\circ$  maiores que os de café paralelo; entretanto, para as polarizações HV e HH esse efeito foi inverso. A cultura do café encontrava-se totalmente desenvolvida com altura entre 2,2 e 2,3 m. O espaçamento entre as linhas de plantio era de aproximadamente 1,3 m, entretanto nas linhas de plantio formou-se um contínuo sem exposição do solo. Como discutido por Simões (2000) e Formaggio et al. (2001), a direção das linhas de plantio dentro do dossel exerce influência na rugosidade do dossel e na interação da radiação de microondas com as culturas. As linhas de plantio perpendiculares expõem maior número de plantas à interação com a radiação além

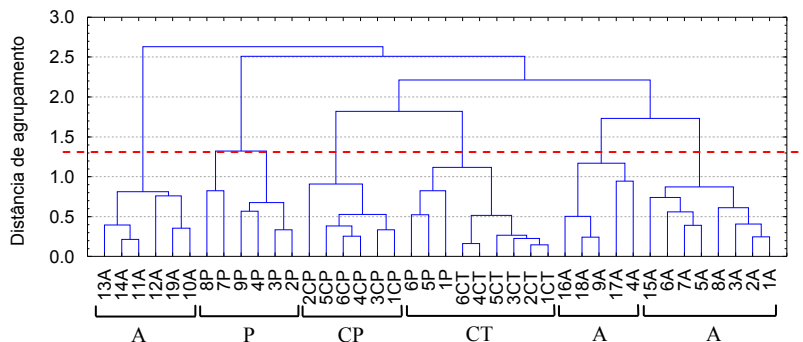
de aumentar a rugosidade do dossel. As plantas de café caracterizam-se por apresentar um caule principal com predominância vertical e galhos com ligeira inclinação. Acredita-se que a baixa frequência da banda L permitiu a penetração da radiação no dossel, ocorrendo a interação diretamente com o caule. Como afirmado por Brisco e Brown (1998), as polarizações paralelas são dominadas pela interação direta com os alvos com predominância vertical, no caso da VV, e predominância horizontal, no caso da HH. Dessa forma, para a polarização VV o café perpendicular permitiu maior interação com a radiação de microondas.

No espaço entre as linhas de plantio houve o desenvolvimento de ervas daninhas de baixo porte cobrindo o solo. Para o plantio paralelo à direção de visada a exposição de caules no sentido vertical é menor, além disso, há exposição das ervas daninhas, o que pode ter contribuído para a maior interação das polarizações HV e HH em relação à polarização VV.



**Figura 5** - Retroespalhamento médio em Sigma 0 ( $\sigma^\circ$ ) dos campos de algodão, café perpendicular, café paralelo e pastagem para as três polarizações (a) VV (b) HV (c) HH.

As análises de agrupamento foram expressas por meio de dendogramas. A combinação das polarizações VV, HV e HH produziu o melhor resultado (**Figura 6**). A distância de agrupamento está representada em valores de  $\sigma^\circ$ , dados em dB. A linha tracejada indica a distância ótima de corte. Grupos homogêneos de cada cultura foram gerados, o que evidencia a capacidade dessa combinação de polarizações em distinguir as culturas estudadas.



**Figura 6** – Dendograma resultante da análise de agrupamento ao utilizar a combinação das polarizações VV, HV e HH. Grupos formados: algodão (A), café perpendicular (CT), café paralelo (CP) e pastagem (P). A linha tracejada indica a distância de corte.

A matriz de confusão gerada após definir os grupos, para a combinação de polarizações VV, HV e HH está ilustrada no **Quadro 1**. As colunas indicam os erros de inclusão e as linhas os erros de omissão. Houve pouca confusão, sendo que apenas três campos de pastagem foram incluídos na classe café perpendicular. As outras culturas foram separadas sem confusão.

**Quadro 1** – Matriz de confusão da análise de agrupamento ao utilizar as polarizações VV, HV e HH. Precisão do Produtor (P.P.), Precisão do Usuário (P.U.) e Exatidão Global (E.G.).

Culturas	A	P	CT	CP	Total	P. P.
A	19	-	-	-	19	1,00
P	-	6	3	-	9	0,67
CT	-	-	6	-	6	1,00
CP	-	-	-	6	6	1,00
Total	19	6	9	6	40	
P. U.	1,00	1,00	0,67	1,00	E. G.	0,925

A **Tabela 1** resume os resultados em ordem decrescente de índice Kappa e Exatidão Global obtidos na análise de agrupamento. O conceito do índice Kappa foi estabelecido segundo Landis e Koch (1977). A combinação das três polarizações e a combinação das polarizações VV e HH receberam o conceito excelente, com índices Kappa 0,890 e 0,853 respectivamente. A única diferença entre as matrizes de confusão dessas duas combinações é que para a combinação de duas polarizações houve um erro de inclusão a mais (incluindo um campo de pastagem como algodão) que a combinação de três polarizações. Ao analisar os dois índices Kappa, segundo o critério estabelecido por Congalton e Green (1999), os dois índices foram considerados estatisticamente iguais ao nível de confiança de 95%, ou seja, não houve diferença estatística entre esses dois resultados.

**Tabela 1** – Resultados em ordem decrescente das análises de agrupamento.

Polarizações	Ex. Global	Kappa	Conceito
HH-HV-HH	0,925	0,890	Excelente
VV-HH	0,900	0,853	Excelente
HH-HV	0,850	0,789	Muito bom
VV	0,825	0,745	Muito bom
VV-HV	0,800	0,712	Muito bom
HH	0,700	0,580	Bom
HV	0,625	0,449	Bom

Entre as polarizações individuais o melhor resultado foi obtido para a polarização VV, com conceito muito bom. Essa polarização distinguiu corretamente os seis campos de café perpendicular, os seis de café paralelo e também 17 campos de algodão com baixo erro de inclusão. Esse resultado, levando em conta os dois índices, foi melhor que a combinação das polarizações VV e HV, que apresentou muita confusão entre as classes pastagem e algodão.

## 5. Considerações finais

O estudo demonstrou que as imagens da banda L adquiridas pelo sensor SAR-R99B do SIVAM possuem capacidade para distinguir entre as culturas do algodão, café e pastagem. Os melhores resultados foram encontrados com as combinações de polarizações VV, HV e HH e também VV e HH. Os índices Kappa dessas combinações de polarizações foram considerados excelentes e estatisticamente iguais. Para as polarizações individuais o melhor resultado foi obtido com a polarização VV.



A característica de multipolarização do sensor mostrou-se essencial para a distinção das culturas estudadas. Entretanto, o potencial das imagens não pôde ser completamente explorado nesse trabalho e sugere-se o uso de imagens multitemporais adquiridas ao longo do ciclo das culturas. Um trabalho de campo mais rigoroso, coletando maior número de informações é importante para relacionar e entender mais detalhadamente a interação da radiação de microondas com os alvos agrícolas e a relação existente entre as diferentes lavouras.

## Agradecimentos

Ao Dr. Camilo Daleles Rennó pela contribuição e auxílio referentes às análises estatísticas.

## Referências Bibliográficas

- Brisco, B.; Brown, R.J. Agricultural applications with Radar. In: Henderson, F. M.; Lewis, A. J. **Principles and applications of imaging radar: manual of remote sensing**. (3 ed.). New York: John Wiley & Sons, 1998. cap. 7, p. 381- 406.
- Congalton, R.G.; Green, K. G. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1999. 137 p.
- Defesanet: defesa, estratégia e inteligência. **Sistemas do R99B**. 23 set. 2003. Disponível em: <<http://www.defesanet.com.br/rv/sivam/r99b/>>. Acesso em: 30 out. 2006.
- Formaggio, A. R.; Epiphanyo, J. C. N.; Simões, M. S. Radarsat backscattering from an agricultural scene. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 823 – 830, maio 2001.
- Hair Jr, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C. **Multivariate data analysis**. Upper Sanddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1998. 742 p.
- Ippoliti-Ramilo, G. A.; Epiphanyo, J.C.N.; Shimabukuro, Y.E.; Formaggio, A. R. Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. **Agricultura em São Paulo**, v. 46, n. 1, p. 89-101, jan. 1999.
- Landis, J. R.; Koch, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.
- Oliver, C.; Quegan, S. **Understanding synthetic aperture radar images**. Norwood, MA: Artech House, 1998. 478 p.
- Paris, J. F. Radar backscattering properties of corn and soybeans at frequencies of 1.6, 4.75 and 13.3 GHz. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. GE-21, n. 3, p. 392 – 400, July 1983.
- Riedel, T.; Schmullius, C. C. Potencial of future TerraSAR data for crop recognition in agricultural areas. In: Dech et al. (Hrsg.): Tagungsband 20. DFD-Nutzerseminar, 6 – 8 Oktober, 2003. **Proceedings**.....
- Rudorff, B. F. T.; Berka, L. M. S.; Moreira, M. A.; Duarte, V.; Xavier, A. C.; ROSA, V. G. C.; Shimabukuro, Y. E. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/04. **Agricultura em São Paulo**, v. 52, n. 1, p. 21-39, jan./jun. 2005.
- Simões, M. S. **Análise de dados multitemporais Radarsat-1 para o sensoriamento remoto de culturas agrícolas**.1999. 147 p. (INPE-7299-TDI/711). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.
- Stankiewicz, K. A. The efficiency of crop recognition on ENVISAT ASAR images in two growing seasons. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, n. 4, p. 806 – 814, April 2006.
- Tukey, J. W. **Exploratory data analysis**. Reading, MA: Addison Wesley , 1977, 506 p.
- Ulaby, F. T.; Batlivala, P. P.; Janet, E. B. Crop identification with L-band radar. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 46, n. 1, p. 101 – 105, Jan. 1980.
- Ulaby, F.T.; Moore, R.K.; Fung, A. K. **Microwave remote sensing: active e passive: Radar remote sensing and surface scattering and emission theory**. 2 ed. v. 2. Norwood, MA: Artech House, 1982. 1064 p.
- Ulaby, F. T.; Moore, R. K.; Fung, A. K. **Microwave Remote Sensing: active and passive: From theory to application**. 2 ed. v. 3. Norwood, MA. Artech House, 1986. 2162 p.