

# IMAGENS ALOS/PALSAR NA CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA BRASILEIRA

*ALOS/PALSAR Images for Vegetation Cover Classification in the Brazilian Semi-Arid Region*

Fábio Fernandes da Silva<sup>1</sup>  
João Roberto dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Observação da Terra - Divisão de Sensoriamento Remoto  
Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 – São José dos Campos - Brasil  
fsilva@dsr.inpe.br  
jroberto@dsr.inpe.br

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso potencial de imagens ALOS/PALSAR, no modo dual de imageamento FDB (*Fine Beam Double Polarization*) nível 1.1 de correção (banda L), na caracterização e no mapeamento do uso e cobertura da terra no semi-árido brasileiro. Neste estudo foram utilizados algoritmos de classificação MAXVER-ICM e de Wishart, envolvendo pares e/ou o conjunto de componentes derivadas da matriz de covariância [ $A_{HH}$ ,  $A_{HV}$  e  $A_{HH*HV}$ ]. Obtidas as classificações por esses métodos acima mencionados, foram feitas avaliações do grau de exatidão de mapeamento através da estatística *Kappa*. Levantamentos fisionômico-estruturais das fâcies de caatinga e também pontos de observações das tipologias de uso e cobertura da terra, devidamente georreferenciados, serviram como amostras de treinamento e calibração temática, ficando definidas as seguintes classes de uso e cobertura da terra para área em estudo: caatinga arbórea, caatinga arbórea-arbustiva, caatinga arbustiva, agricultura e corpos d'água. O procedimento metodológico aplicado mostrou que o melhor resultado obtido foi no uso do conjunto de componentes [ $A_{HH}$ ,  $A_{HV}$  e  $A_{HH*HV}$ ], por meio da classificação MAXVER-ICM, apresentando uma exatidão global de 66% e índice *Kappa* 0.58.

**Palavras chaves:** Imagens Radar, ALOS/PALSAR, Caatinga, Uso e Cobertura da terra.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the potential use of ALOS/PALSAR images (mode dual FDB 1.1 (L-band)), to characterize and to map the vegetation cover in the Brazilian semi-arid region. The MAXVER-ICM and Wishart classifiers have been applied, involving pairs and/or three components of the co-variance matrix [ $A_{HH}$ ,  $A_{HV}$  and  $A_{HH*HV}$ ]. After the classification procedure the mapping accuracy was evaluated using the *Kappa* statistics. Field survey data, related to the physiognomic-structural parameters of the "Caatinga" (steppe savanna) vegetation types as well as observation points of land use/land cover classes, duly georeferenced, were used as training and test samples for the thematic classification. Best results have been found when used the three components of [ $A_{HH}$ ,  $A_{HV}$  and  $A_{HH*HV}$ ], classified have been applied by the MAXVER-ICM algorithm, presents and overall accuracy of 66% (*Kappa* = 0.58).

**Keywords:** Radar Image, ALOS/PALSAR, Steppe Savanna, Land Use, Land Cover.

## 1. INTRODUÇÃO

A caatinga é a vegetação típica da região tropical semi-árida brasileira, ocupando uma área de aproximadamente 845.000 km<sup>2</sup> do território brasileiro, cujo bioma vem sofrendo constante degradação ambiental, apresentando atualmente apenas 1% dos

remanescentes protegido por unidades de conservação ambiental (FRANCA-ROCHA, 2007). Dentre as iniciativas de mapeamento mais recentes desse bioma, com intuito de verificar os remanescentes e seu grau de conservação, citam-se o Zoneamento Agroecológico do Nordeste (SILVA *et al.*, 2000) e o Levantamento da Cobertura Vegetal e Uso da Terra do Bioma Caatinga

(MMA, 2005). Em ambos os casos, imagens orbitais, de sensores ópticos, serviram de base aos estudos citados. Contudo, é importante ressaltar que outros importantes estudos, mas sem uma ampla abrangência geográfica, também foram realizados, como os de Carvalho (1986), Sá (1991), Trodd e Dougill (1998), Accioly *et al.* (2001), Teotia *et al.* (2003), Maldonado (2004), Barros *et al.* (2005); Lopes *et al.* (2005).

Imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*) em nível orbital têm sido comumente disponibilizadas no mercado de usuários, tornando-se necessário desenvolver/aplicar procedimentos metodológicos de processamento digital de imagens, como também de entendimento de respostas polarimétricas dos alvos imageados, contribuindo assim, com o mapeamento e o monitoramento da paisagem, sobretudo em regiões com constante cobertura de nuvens. No caso específico de áreas do semi-árido, poucos são os trabalhos que fazem uso de dados SAR, podendo-se citar dentre outros: Maldonado *et al.* (2001); Paloscia *et al.* (2001); Bilbisi e Tateishi (2002); Qing *et al.* (2003); Zribi *et al.* (2003).

Neste contexto, o objetivo desse trabalho é mostrar a potencialidade das imagens dual do sistema sensor ALOS/PALSAR (banda L), para o mapeamento da cobertura vegetal da região semi-árida brasileira, fazendo uso dos classificadores SAR polarimétricos MAXVER-ICM e de Wishart, verificando o comportamento para a discriminação temática desse ecossistema.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A interação das microondas com os alvos tem relação direta com a polarização incidente. Caso os alvos na superfície terrestre tenham, por exemplo, uma orientação vertical, a interação com as microondas verticalmente polarizadas será maior, assim como o eco gerado. Através das diferentes polarizações (HH, HV, VV, VH) do radar-imageador pode-se ter a resposta polarimétrica dos alvos e inclusive o tipo de mecanismo dominante que controla tal interação. O estado da polarização é descrito como um conjunto arbitrário de eixos utilizados para descrever ondas polarizadas horizontalmente na direção x (polarização H) e na direção y (polarização V) ao longo do plano de propagação da onda (z), o qual corresponde à direção de apontamento da antena que constitui o conjunto-sensor. Essas questões conceituais SAR estão devidamente discutidas em Ulaby e Elachi (1990), van der Sanden (1997), Hendersen e Lewis (1998), Woodhouse (2006). A aplicabilidade de dados-radar em estudos da cobertura vegetal tem um campo muito amplo: desde a questão científica de caracterização e mapeamento (SMARA *et al.*, 1998; VAN DER SANDEN e HOEKMAN, 1999; SANTOS *et al.*, 2008) de análise de respostas polarimétricas de alvos florestais (MC NAIRN *et al.*, 2002; SANTOS *et al.*, 2009) até aqueles que envolvem o estudo de modelagem da biomassa florestal a partir da relação de atributos SAR e variáveis

biofísicas (SANTOS *et al.*, 2002; NEEFF *et al.*, 2005; SAATCHI *et al.*, 2007; Treuhaft *et al.*, 2010). No escopo do presente trabalho, que envolve uso de classificadores SAR, pode-se citar Freitas *et al.* (2008) que fez uso do *Iterated Conditional Mode* - ICM, de característica contextual, para tratar dados de amplitude, intensidade e alguns atributos polarimétricos (entropia, ângulo alfa) para gerar um mapeamento de uso e cobertura da terra. Lee *et al.* (2001) discutem a capacidade de classificação de uso da terra a partir de uma comparação entre dados *full*, *dual* e *single* SAR polarimétricos, fazendo uso de classificadores baseado na distribuição de Wishart e de Máxima Verossimilhança. Prado (2009) utilizou imagens dual do ALOS/PALSAR e os classificadores Bhattacharyya e MAXVER-ICM para mapear tipos de cobertura da terra na Amazônia. O autor destacou que houve discriminação satisfatória da classe agricultura e confusão na discriminação das classes florestais, independentemente dos dados ou algoritmo empregado, o que confere uma limitação aos dados ALOS/PALSAR (modo FBD) para a identificação das classes de cobertura da terra definidas.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada no sertão pernambucano, entre os municípios de Carnaubeira da Penha, Floresta, Mirandiba, São José do Belmonte e Serra Talhada. Com uma área total de 1.560 km<sup>2</sup>, situa-se entre as latitudes S 08° 03'' a S 08° 19'' e longitudes W 38° 21'' a W 38° 47'' (Figura 1).

O clima da região é tropical semi-árido quente e seco, com chuvas de verão, de acordo com a classificação de Köppen, apresentando temperatura média anual acima dos 25° C e pluviosidade de 650 mm no ano. O relevo é suave ondulado, cortada por alguns vales estreitos, com vertentes dissecadas. O tipo de vegetação predominante é a caatinga, com ocorrência de pecuária extensiva (com destaque para criação de caprinos) e de agricultura de subsistência com os plantios de milho, feijão, mandioca, algodão, sobretudo em áreas próximas aos cursos d'água e reservatórios.

Neste trabalho foi utilizada a imagem ALOS/PALSAR (banda L), no modo *Fine Beam Dual* (FDB), no formato *Single Look Complex* (SLC), com data de imageamento em 30/05/2008 e passagem ascendente. Dentre as características dessa imagem SAR trabalhada tem-se: polarizações HH e HV, com resolução espacial de 20 m (alcance - 1 *look*) e 10 m (azimute - 2 *looks*), ângulo de incidência de 38.798° e *off-nadir* de 34.3°.

A Figura 2 mostra o fluxograma com os métodos seguidos para o processamento da imagem dual ALOS/PALSAR.

O aplicativo PolSARpro 4.0 (<http://earth.esa.int/polsarpro/install.html>) foi utilizado

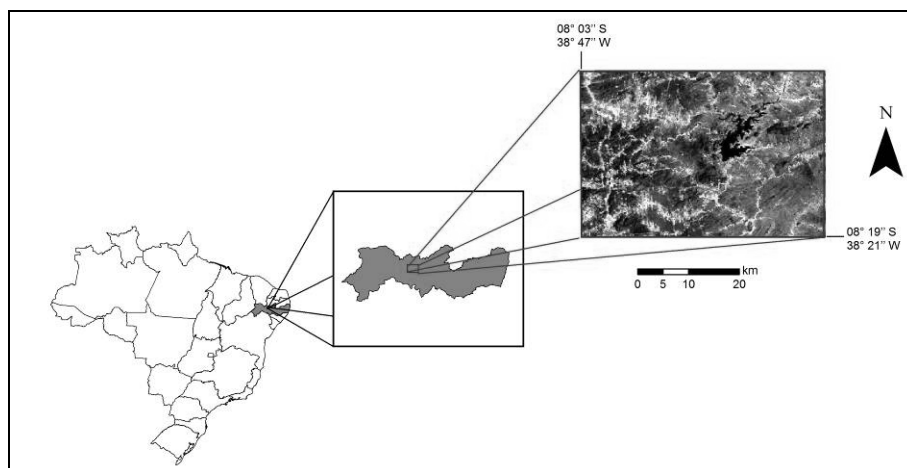


Fig. 1 - Localização geográfica da área de estudo, imagem TM/LandSat 5 (composição colorida RGB543, de 01/11/2008).

para a geração da matriz de covariância [C] com uma reamostragem por média espacial (*multilook*) e para a classificação pelo método de Wishart.

O aplicativo Envi 4.7 foi utilizado para a realização da filtragem das imagens (no caso, o filtro *Gamma* 5x5) e geração das imagens-amplitude, decorrentes do elemento complexo da matriz de covariância, que foi transformado para amplitude através da raiz quadrada da soma dos quadrados das partes real e imaginária. O aplicativo Classificador Polarimétrico 0.7 foi utilizado para a geração das classificações MAXVER-ICM.

É importante destacar que o algoritmo de classificação MAXVER-ICM está fundamentado na formulação Bayesiana, tendo como diferencial a adoção de funções de densidades de probabilidade mais apropriadas para modelar a natureza dos dados de radar, e a incorporação da informação contextual, considerando distribuição espacial para as classes, adotando conceitos de campos aleatórios markovianos (CORREIA, 1998). No presente estudo, a partir de amostras de treinamento pré-selecionadas, foi definido o critério de 5% para a quantidade máxima de troca de pixels entre classes ou 8 iterações, com o classificador MAXVER-ICM aplicado nas seguintes imagens filtradas:

- a) Pares de imagens-amplitude: [HH,HV], [HV, HH\*HV], [HH, HH\*HV];
- b) Triplete de imagens-amplitude: [HH, HV, HH\*HV].

A abordagem de Wishart utiliza um classificador supervisionado de máxima verossimilhança, baseado na distribuição complexa de Wishart derivado da matriz de covariância (LEE *et al.*, 1994);( LEE *et al.*,1999).

As amostras utilizadas para o treinamento dos processos de classificação e de validação, este último através do índice *Kappa* e da exatidão global (LANDIS e KOCH, 1977), foram selecionadas a partir dos dados levantados em campo. Na etapa de campo foram realizados 57 transectos em linha, numa extensão de 50m/transecto, com mensuração de parâmetros biofísicos para caracterização das fácies de caatinga. Além disso, foram estabelecidos 192 pontos de observação, devidamente descritos e georreferenciados, para elaborar a legenda temática, contendo ao todo 5 classes temáticas de uso e cobertura da terra, conforme citadas na Tabela 1. A partir dos valores de *Kappa* encontrados para cada classificação decorrente da abordagem MAXVER-ICM e WISHART, num total de 5 valores. O teste estatístico Z foi realizado para verificar, numa combinação dois a dois, se havia diferença significativa entre os resultados contidos nas

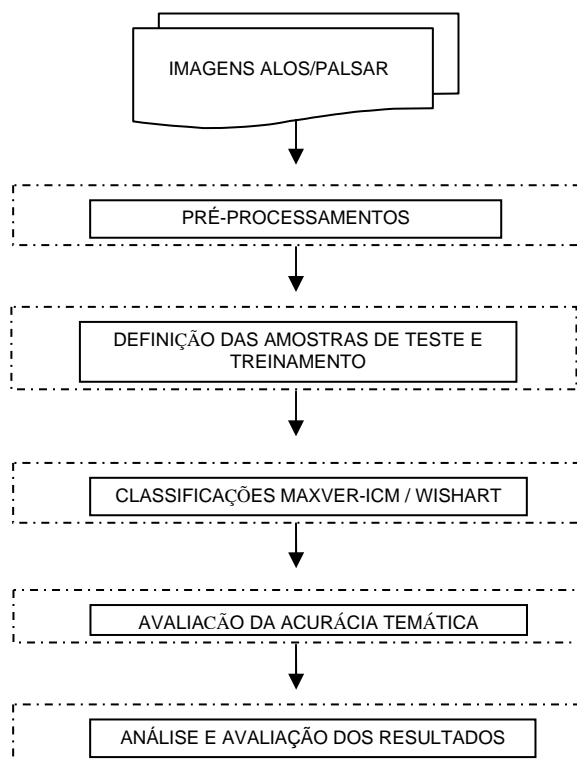


Fig. 2 – Fluxograma metodológico do tratamento da imagem ALOS/PALSAR.

matrizes de confusão.

TABELA 1 - NÚMERO DE *PIXELS* UTILIZADOS NAS FASES DE TREINAMENTO E DE TESTE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS CLASSIFICAÇÕES.

Classes	Treino	Teste
	<i>Pixels</i>	<i>Pixels</i>
Caatinga Arbórea	1021	1140
Caatinga Arbórea-Arbustiva	1112	1035
Caatinga Arbustiva	1032	1033
Agricultura/Pecuária	1070	933
Corpos d'água	932	939
<b>Total</b>	<b>5167</b>	<b>5080</b>

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série realizada de 57 transectos em linha foi fundamental para a caracterização das fácies de caatinga encontradas na área de estudo (caatinga arbórea, caatinga arbórea-arbustiva e caatinga arbustiva). Estes transectos permitiram uma análise exploratória de suas respostas dual-polarimétricas nas imagens SAR e o entendimento do possível nível de separabilidade temática através dos classificadores estatísticos utilizados. Visando ilustrar o detalhamento do inventário florestal realizado, são mostrados na Figura 3, exemplos de perfis fisionômico-estruturais de cada tipo de caatinga, cujas informações biofísicas são básicas ao entendimento da interação das microondas na frequência L com essa tipologia vegetal em estudo e conseqüentemente o nível de discriminação temática alcançado com a imagem ALOS/PALSAR.

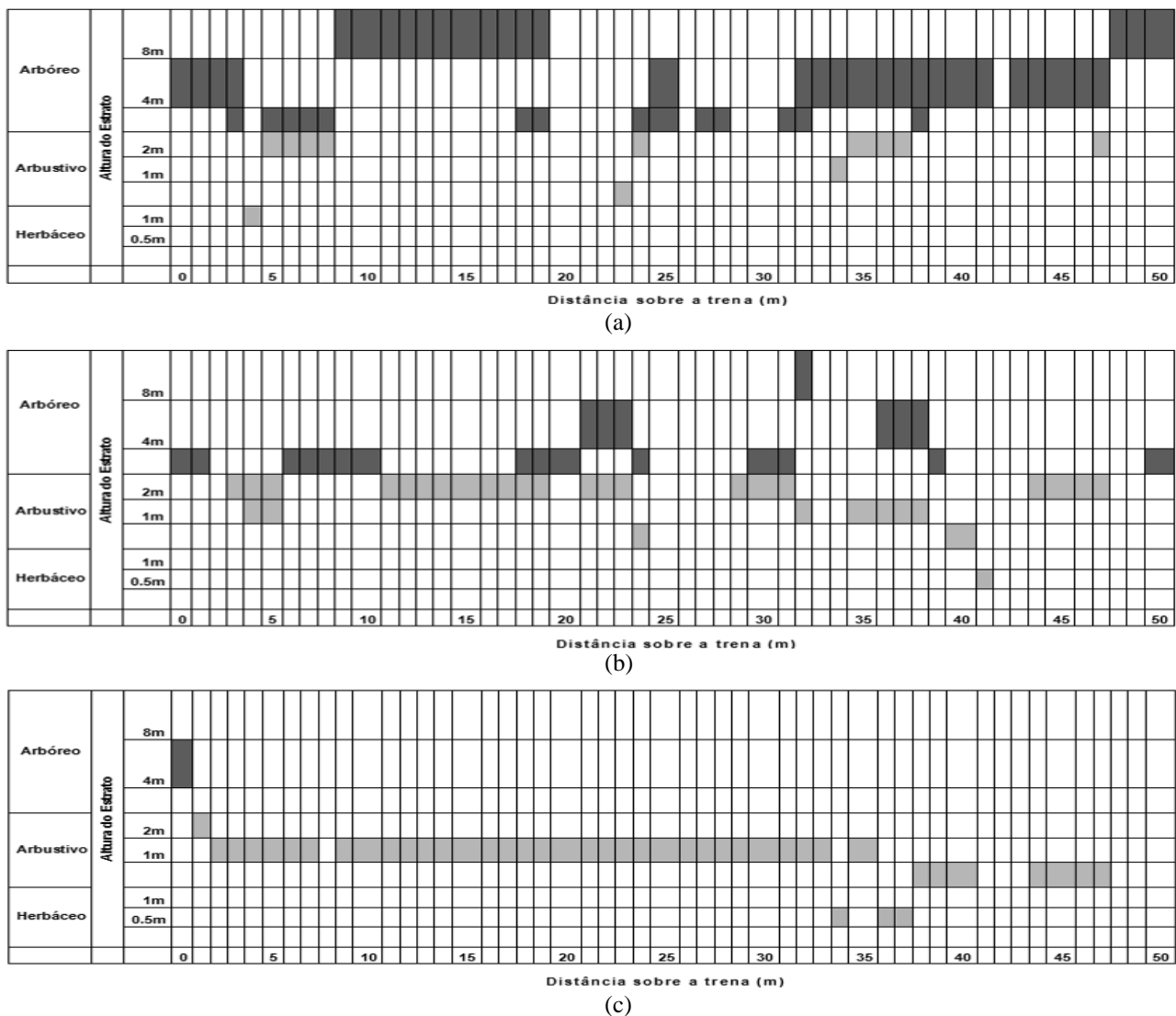


Fig. 3 – Perfis fisionômico-estruturais da vegetação encontrada na região de Serra Talhada (PE).  
Fácies: a) caatinga arbórea, b) caatinga arbórea-arbustiva e c) caatinga arbustiva.

A Figura 3a, apresenta uma típica faciação de caatinga arbórea encontrada na área de estudo. Nessa faciação da caatinga mais densa, a cobertura do dossel “acumulada” foi de 108%, discriminada em 84% para o estrato arbóreo, 22% para o estrato arbustivo, 2% para o estrato herbáceo. No substrato dessa tipologia, entremeando-se com as espécies herbáceas, há ainda 14% de exposição de solo, com presença de matações, blocos, seixos ou cascalhos. Nesse percentual de cobertura do dossel, os valores são cumulativos quando há superposição de copas dos vários estratos. Um transecto representativo de caatinga arbórea-arbustivo pode ser visto na Figura 3b, cujo grau de cobertura do dossel apresenta 44% no estrato arbóreo, 58% para o estrato arbustivo, 2% no estrato herbáceo, numa cobertura de dossel acumulada de 104%. No substrato, intercalando-se com as espécies herbáceas, há ainda 22% de exposição de solo, definidos por matações, blocos, seixos ou cascalhos, dependendo das condições edáficas, derivadas da rocha matriz. A fácies de caatinga arbustiva pode ser vista na Figura 3c, com cobertura acumulada de dossel da ordem de 86%, sendo 2% no estrato arbóreo, 78% no estrato arbustivo adensado e de apenas 6% no estrato herbáceo. Nesse tipo de caatinga que o substrato apresenta elevada exposição do solo, com valores em torno de 14%.

Fundamentado-se no detalhado trabalho de campo e considerando o conjunto de possibilidades de se obter através dessa comparabilidade de classificadores, 5 imagens-temáticas, a Figura 3 mostra um exemplo da abordagem de melhor desempenho com valor de *Kappa* igual a 0.58. O bom desempenho da estratificação de uso e cobertura da terra, considerando a categorização de Landis e Koch (1977) para a valoração do índice *Kappa*, foi alcançado a partir do critério de entrada de dados no processo de classificação MAVVER-ICM, decorrente do conjunto de dados em amplitude [ $A_{HH}$ ,  $A_{HV}$ ,  $A_{HH*HV}$ ], derivado da matriz de covariância. É apresentado na Tabela 2 as matrizes de confusão obtidas, com os percentuais de exatidão global das abordagens classificatórias MAXVER-ICM e Wishart adotadas.

Nas classificações MAXVER-ICM utilizando o par de imagens amplitude, representadas por [ $A_{HH}$ ,  $A_{HV}$ ], [ $A_{HV}$ ,  $A_{HH*HV}$ ] e [ $A_{HH}$ ,  $A_{HH*HV}$ ], os resultados encontrados não foram satisfatórios na discriminação exclusiva das fácies de caatinga. A inclusão da componente [ $A_{HH*HV}$ ], derivada também da matriz de covariância na classificação não apresentou um aumento na valoração do índice de concordância *Kappa*, mantendo inclusive os níveis de erro de inclusão em valores acima dos 50%. Na estratificação geral das 5 classes temáticas para o par imagem-amplitude [ $A_{HH}$ ,  $A_{HV}$ ], com índice *Kappa* de 0.51 (Tabela 2c). Contudo, a matriz correspondente desse par foi considerada estatisticamente igual à matriz decorrente do par [ $A_{HV}$ ,  $A_{HH*HV}$ ], em um nível de significância de 5% pelo teste Z.

Ao se utilizar o classificador MAXVER-ICM

com o conjunto das três componentes [ $A_{HH}$ ,  $A_{HV}$ ,  $A_{HH*HV}$ ], alcançou-se o maior valor de *Kappa* (0.58). Numa análise comparativa entre essa matriz de confusão com aquelas matrizes tidas com as outras componentes aos pares, constatou-se ser estatisticamente diferente das demais, a um nível de 5% de significância. Contudo, para a diferenciação entre as fácies de caatinga, não foi observada em tal classificação uma relativa diminuição nos erros de inclusão entre essas classes vegetacionais, mantendo-se acima do patamar de 45%.

Por sua vez, o processo de classificação de Wishart que utilizou a matriz de covariância, obteve um valor de índice *Kappa* de 0.50, sendo assim considerada como boa acurácia na estratificação de Landis e Koch (1977). No entanto, na particularização das classes de caatinga este classificador não apresentou bom desempenho, conforme os altos erros de inclusão observados na Tabela 2e.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As abordagens de classificação digital adotadas no tratamento dos dados ALOS/PALSAR asseguram informações necessárias ao mapeamento e monitoramento da paisagem do ambiente semi-árido, mostrando potencial discriminatório na caracterização de fácies de caatinga e demais classes de uso da terra presentes nessa região de abrangência de Serra Talhada (PE). Contudo, deve-se ressaltar que uma melhor estratificação temática, sobretudo das faciações de caatinga, pode ser alcançada, não tanto pelos tipos de classificadores empregados, mas sim, com a integração de informações SAR multi-sazonais e/ou com a integração de dados multi-frequência advindos de outros sistemas SAR orbitais.

A sensibilidade dos dados-radar nessa frequência L e em polarização dual (HH e HV), particularmente perante a estrutura da vegetação de caatinga, mostra o quanto é complexa tal interação, e conseqüente interpretação de resultados. Como são sutis as variações estruturais no contato entre as várias fácies dessa vegetação do semi-árido, as abordagens classificatórias MAXVER-ICM e Wishart utilizadas mostraram-se eficientes, dentro das limitações impostas pelas componentes disponíveis de base dual. Isso reporta, numa perspectiva de prosseguimento de futuros trabalhos, no uso de dados *full* polarimétrico, o que permitira explorar com muito mais propriedade, diversas variáveis coerentes e incoerentes dos atributos do ALOS/PALSAR.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pela concessão das respectivas bolsas de pesquisa aos autores; ao IBGE pela cessão de imagens ALOS/PALSAR dentro da cooperação acordada com o INPE/MCT; ao CPATSA/EMBRAPA pelo importante



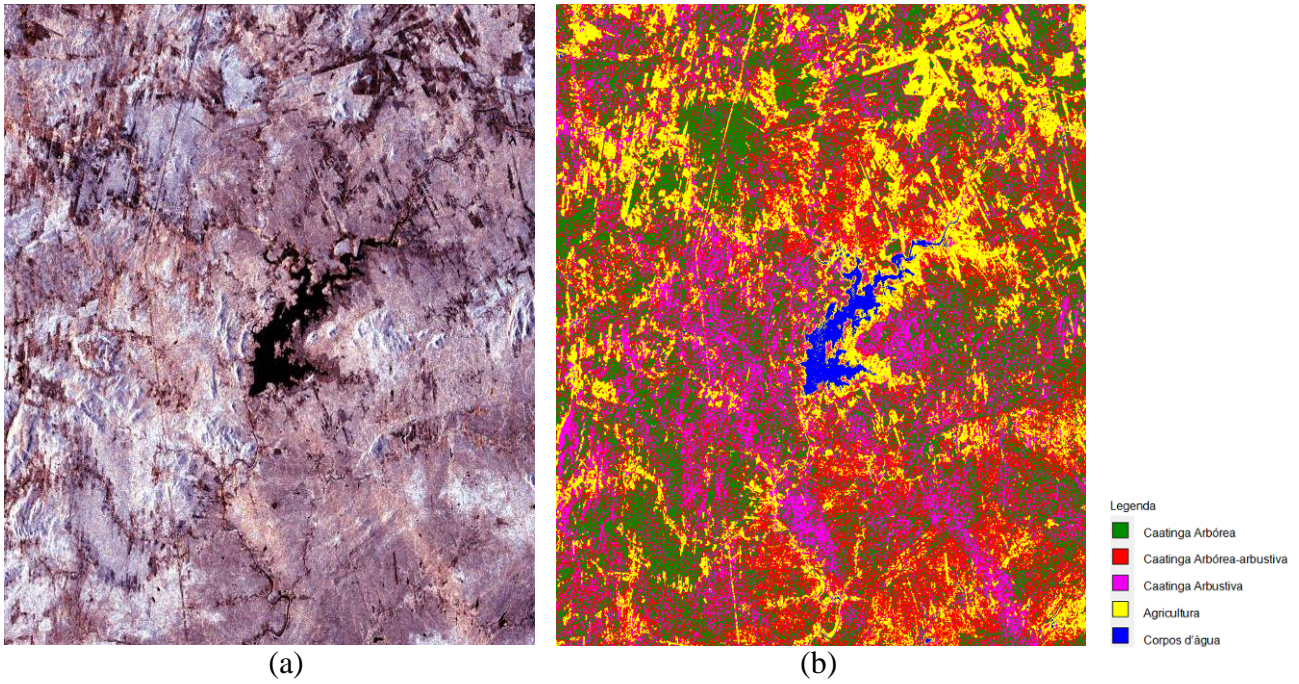


Figura 4. Imagem ALOS/PALSAR (a) em composição colorida (R ( $A_{HH}$ ) G ( $A_{HH*H_V}$ ) B ( $A_{H_V}$ )) da região de Serra Talhada (PE) e respectivo delineamento temático derivado da classificação MAXVER-ICM [ $A_{HH}$ ,  $A_{H_V}$ ,  $A_{HH*H_V}$ ] (b).

TABELA 2 - MATRIZ DE CONFUSÃO COM VALORES KAPPA E EXATIDÃO DAS CLASSIFICAÇÕES MAXVER-ICM (a) [ $A_{HH}$ ,  $A_{H_V}$ ], b) [ $A_{H_V}$ ,  $A_{HH*H_V}$ ], c) [ $A_{HH}$ ,  $A_{HH*H_V}$ ] E d) [ $A_{HH}$ ,  $A_{H_V}$ ,  $A_{HH*H_V}$ ] E WISHART (e).

		Referência						
Classes		Arbo	ArboArbu	Arbu	Agr	Água	Total	E.I. (%)
Classificação	Arbo	<b>678</b>	430	527	0	0	1635	58.53
	ArboArbu	247	<b>335</b>	210	51	0	843	60.26
	Arbu	178	164	<b>247</b>	4	0	593	58.35
	Agr	37	106	49	<b>877</b>	45	1114	21.27
	Água	0	0	0	1	<b>894</b>	895	0.11
Total	1140	1035	1033	933	939	<b>5080</b>		
E.O. (%)	40.53	67.63	76.09	6.00	4.79			
A.G. (%)	59.67							
Kappa	0.49	Var(K)					7.4E-05	

(a)

		Referência						
Classes		Arbo	ArboArbu	Arbu	Agr	Água	Total	E.I. (%)
Classificação	Arbo	<b>430</b>	273	380	0	0	1083	60.30
	ArboArbu	456	<b>598</b>	322	17	0	1393	57.07
	Arbu	244	138	<b>299</b>	18	0	699	57.22
	Agr	10	26	32	<b>898</b>	75	1041	13.74
	Água	0	0	0	0	<b>864</b>	864	0.00
Total	1140	1035	1033	933	939	<b>5080</b>		
E.O. (%)	62.28	42.22	71.06	3.75	7.99			
A.G. (%)	60.81							
Kappa	0.51	Var(K)					7.4E-05	

(b)

		Referência						
Classes		Arbo	ArboArbu	Arbu	Agr	Água	Total	E.I. (%)
Classificação	Arbo	<b>252</b>	219	292	1	0	764	67.02
	ArboArbu	708	<b>676</b>	439	8	0	1831	83.08
	Arbu	170	96	<b>261</b>	20	0	547	52.29
	Agr	10	44	41	<b>904</b>	48	1047	13.66
	Água	0	0	0	48	<b>891</b>	939	5.11
Total	1140	1035	1033	981	939	<b>6128</b>		
E.O. (%)	77.89	34.89	74.73	7.85	5.11			
A.G. (%)	58.19							
Kappa	0.48	Var(K)					7.2E-05	

(c)

		Referência						
Classes		Arbo	ArboArbu	Arbu	Agr	Água	Total	E.I. (%)
Classificação	Arbo	<b>324</b>	203	313	1	0	841	61.47
	ArboArbu	97	<b>636</b>	412	15	0	1160	45.17
	Arbu	208	134	<b>274</b>	25	0	641	57.25
	Agr	11	62	34	<b>892</b>	34	1033	13.65
	Água	0	0	0	0	<b>905</b>	905	0.00
Total	640	1035	1033	933	939	<b>4580</b>		
E.O. (%)	49.38	38.55	73.48	4.39	3.62			
A.G. (%)	66.18							
Kappa	0.58	Var(K)					7.4E-05	

(d)

		Referência						
Classes		Arbo	ArboArbu	Arbu	Agr	Água	Total	E.I. (%)
Classificação	Arbo	<b>379</b>	0	349	0	0	728	47.94
	ArboArbu	342	<b>385</b>	191	21	0	939	59.00
	Arbu	418	345	<b>461</b>	34	0	1258	63.35
	Agr	1	300	32	<b>878</b>	8	1219	27.97
	Água	0	5	0	0	<b>931</b>	936	0.53
Total	1140	1035	1033	933	939	<b>5080</b>		
E.O. (%)	66.75	62.80	55.37	5.89	0.85			
A.G. (%)	59.72							
Kappa	0.50	Var(K)					7.3E-05	

(e)

Legenda das Classes: Arbo – Caatinga Arbórea; ArboArbu – Caatinga Arbórea-Arbustiva; Arbu – Caatinga Arbustiva; Agr – Agricultura; Água – Corpos d'água.

apoio na fase de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, L. J. O. ; OLIVEIRA, M. A. J.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N. Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 549-556. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.07.46/doc/0549.556.069.pdf>>. Acessado em: 10 jan 2009.
- BARROS, M. M.; ACCIOLY, L. J. O.; CANDEIAS, A. L. B.; PACHECO, A.; COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J. Avaliação da mudança do uso do solo na região do Seridó - RN/PB. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 4., 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2005.
- BILBISI, H.; TATEISHI, R. A study on land use/cover classification with textural analysis using Multi-Temporal JERS-1 (SAR) L- band in arid and semi-arid areas.(A case study in Northeastren Jordan). In: ASIAN COFERENCE ON REMOTE SENSING, 23., 2002, Kathmandu, Nepal. **Proceedings...** Kathmandu: 2002. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/luc/luc015pf.htm>>. Acesso em: 16/01/2009.
- CARVALHO, V.C. **Structure et dynamique de la vegetation en milieu tropical semi-aride. La Caatinga de Quixabá (Pernambouc, Brésil) du terrain a l'analyse des données MSS/Landsat.** 1986. 332 p. (INPE-4049-RPE/524). Tese (Doutorado) - Université de Toulouse-Le Mirail.
- CORREIA, A. H. **Projeto, desenvolvimento e avaliação de classificadores estatísticos pontuais e contextuais para imagens SAR polarimétricas.** 1998. 271 p. (INPE-7178- DI/679). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1998. Disponível em: <[http://www.obt.inpe.br/pgsere/1998-Correia\\_A\\_H/tese\\_mestre\\_final.PDF](http://www.obt.inpe.br/pgsere/1998-Correia_A_H/tese_mestre_final.PDF)>. Acessado em: 01 dez 2008.
- FRANCA-ROCHA, W.; SILVA, A. B.; NOLASCO, M. C.; LOBÃO, J.; BRITO, D.; CHAVES, J. M.; ROCHA, C. C. Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do Bioma Caatinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2629 - 2636. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.02.49/doc/2629-2636.pdf>>. Acessado em: 15 fev 2009.
- Hendersen, F.M.; Lewis, A.J., 1998. Radar Fundamentals: The Geoscience Perspective. In: Ryerson, R.A. (Ed.). **Principles & Applications of Imaging Radar. Manual of Remote Sensing.** 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., v.2, cap.3, p.131-181.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.
- LEE, J. S.; GRUNES, M. R.; DE GRANDI, G. Polarimetric SAR speckle filtering and its implication for classification. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 37, n. 5, 1999.
- LEE, J.S.; GRUNES, M. R.; KWOK, R. Classification of multi-look polarimetric SAR imagery based on complex Wishart distribution. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n.11, p. 2299-2311, 1994.
- LEE, J-S.; GRUNES, M.R.; POTTIER, E. Quantitative comparison of classification capability: fully polarimetric versus dual and single polarization SAR. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, n. 11, p. 2343-2351, 2001.
- LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. L.; ACCIOLY, L. J. O.; TAVARES JUNIOR, J. R. Utilização dos parâmetros físicos albedo e temperatura na identificação de áreas degradadas na bacia do Rio Brígida - PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3119-3127. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.18.11/doc/3119.pdf>>. Acessado em: 20 jan 2008.
- MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido.** 2004. 311 p. (INPE-12679-TDI/1007). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/11.24.09.33/doc/publicacao.pdf>>. Acessado em: 10 out 2008.
- MALDONADO, F. D.; SALMUNI, G. S.; GRAFFIGNA, E. D. Identificação e caracterização da degradação na planície aluvial do semi-árido utilizando a combinação de imagens de interferometria ERS com imagens ópticas do Landsat TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1-9. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2001/poster/048.pdf>>. Acessado em: 10 jan 2009.

MCNAIRN, H.; DUGUAY, C.; BRISCO, B.; PULTZ, T. Z. The effect of soil and crop residue characteristics on polarimetric radar response. **Remote Sensing of Environment**, 80(2), p. 308-320, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO-AMBIENTE (MMA). Programa da Conservação da Biodiversidade e Utilização Sustentável da Biodiversidade Brasileira (PROBIO) - Mapas de vegetação do Bioma Caatinga. 2005. Disponível em: <[http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/caatinga/documentos/relatorio\\_final.pdf](http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/caatinga/documentos/relatorio_final.pdf)>. Acesso em: 20 jan 2009.

NEEFF, T.; DUTRA, L. V.; SANTOS, J. R.; FREITAS, C. C.; ARAUJO, L.S. Power spectrum analysis of SAR data for spatial forest characterization in Amazonia, **International Journal of Remote Sensing**, v.26, n.13, p. 2851-2865, 2005.

PALOSCIA, S.; BIANCHINI, M.; MACELLONI, G.; PAMPALONI, P.; SANTI, E.; AQID, N.; OUAZAR, D.; ZRIBI, M. Estimating vegetation cover and soil roughness in semi-arid regions from multitemporal dual-frequency SAR data. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2001, Sydney. **Proceedings...** IEEE XPLORE: v. 3, 2001. p. 994-996.

PRADO, B. R. **Análise dos dados ALOS/PALSAR (modo de imageamento FBD) para identificação dos tipos de cobertura da terra na região norte do estado do Mato Grosso**. 2009. 175 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2009/11.25.12.50>>. Acessado em: 02 nov 2010.

QING, D.; HUADONG, G.; ZHEN, L.; CHANGLIN, W. Targets classification of semi-arid region using polarimetric SAR data - An example in Xinjiang, China. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2003, Toulouse. **Proceedings...** IEEE XPLORE: Vol. 7, 2003. p. 4453 - 4455.

SÁ, I. B. **Aplicações da abordagem multiestágio em sensoriamento remoto para mapeamento da vegetação de caatinga: estudo de caso, Petrolina, PE**. 1991, 78 p. (INPE-5280-TDI/450). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: 1991. Disponível em: <<http://mtc-12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris%401912/2005/07.19.22.19.23/doc/paginadeacesso.html>>. Acessado em: 10 jan 2009.

SAATCHI, S.; HALLIGAN, K.; DESPAIN, D.G.; CRABTREE, R.L. Estimation of forest fuel load from radar remote sensing. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.45, n.6, p. 1726-1740, 2007.

SANTOS, J. R.; MURA, J. C.; PARADELLA, W. R.; DUTRA, L. V.; GONÇALVES, F. G. Mapping recent deforestation in the Brazilian Amazon using simulated L-band MAPSAR images. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, n.16, p. 4879 - 4884, 2008.

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.

SANTOS, J.R.; PARDI LACRUZ, M.S.; ARAUJO, L.S.; KEIL, M. Savanna and tropical rainforest biomass estimation and spatialization using JERS-1 data. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.7, p. 1217-1229, 2002.

SILVA, F. B. R.; SANTOS, J. C. P.; SOUZA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; RICHE, G. R.; TONNEAU, J. P.; CORREIA, R. C.; BRITO, L. T. L.; SILVA, F. H. B. B.; SOUZA, L. G. M. C.; SILVA, C. P.; LEITE, A. P.; OLIVEIRA NETO, M. B. **Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico**. Recife: Embrapa Solos, Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. CD-ROM.

SMARA, Y.; BELHADJ-AISSA, A.; SANSAL, B.; LICHTENEGGER, J.; BOUZENOUNE, A. Multisource ERS-1 and optical data for vegetal cover assessment and monitoring in a semi-arid region of Algeria. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.18, p. 3551-3568, 1998.

TEOTIA, H. S.; SILVA, I. F.; SANTOS, J. R.; VELOSO JUNIOR, J. F.; GONÇALVES, J. L. G. Classificação da cobertura vegetal e capacidade de uso da terra na região do Cariri Velho (Paraíba), através de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1969 - 1976. Disponível em: <[http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/10.28.14.30/doc/14\\_018.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/10.28.14.30/doc/14_018.pdf)>. Acessado em: 15 jan 2009.

Treuhaft, R.N.; Chapman, B.D.; Santos, J.R.; Gonçalves, F.G.; Dutro, L.V.; Graça, P.M.L.A.; Drake, J.B. Vegetation profiles in tropical forests from multibaseline interferometric synthetic aperture radar, field, and LIDAR measurements. **Journal of**



**Geophysical Research**, v.114, p. 1-16, D23110, doi:10.1029/2008JD011674, 2009.

TRODD, N. M.; DOUGILL, A. J. Monitoring vegetation dynamics in semi-arid African rangelands. **Applied Geography**, v.18, n.4, p. 315-330, 1998.

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

VAN DER SANDEN, J. J. **Radar remote sensing to support tropical forest management**. Tropenbos-Guyana Series 5: Georgetown, Guyana, PhD Thesis Wageningen Agricultural University. ISBN: 90-5485-778-1. 330p. 1997.

VAN DER SANDEN, J.J.; HOEKMAN, D.H. Potential of airborne radar to support the assessment of land cover in a tropical rain forest environment. **Remote Sensing of Environment**, v.68, p. 26-40, 1999.

WOODHOUSE, I. H. **Introduction to microwave remote sensing**. New York: Boca Raton, FL, 2006. 370 p.

ZRIBI, M.; HEGARAT-MASCLE, S. L.; TACONET, O.; CIARLETT, V. I.; VIDAL-MADJAR, D.; BOUSSEMA, M. R. Derivation of wild vegetation cover density in semi-arid regions: ERS2/SAR evaluation. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.6, p. 1335-1352, 2004.

FREITAS, C.C. ; SOLER, L. S. ; SANT'ANNA, S. J. S. ; DUTRA, L. V. ; SANTOS, J. R. ; MURA, J. C.; CORREIA, A. H. Land Use and Land Cover Mapping in the Brazilian Amazon Using Polarimetric Airborne P-Band SAR Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, p. 2956-2970, 2008.