

Avaliação de dados PALSAR (FDB) sob diferentes geometrias de visada para mapeamento temático em Cartografia: um estudo na Serra dos Carajás (PA)

Thiago Gonçalves Rodrigues
Waldir Renato Paradella
Cleber Gonzales de Oliveira
Arnaldo de Queiroz da Silva
Athos Ribeiro dos Santos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{thiagogr, cleber, arnaldo}@dsr.inpe.br, {waldir, athos}@ltid.inpe.br

Abstract. The Amazon region presents a gap in its topographic knowledge. An alternative way for cartographic mapping at semi-detailed scale (1:100.000) is the use of complementary information generated from distinct orbital SAR programs. Planimetric and altimetric information can be provided from the combination of data extracted from the high-resolution ALOS-PALSAR (planimetry) and SRTM (altimetry) programs. This study analyzed the potential of planimetric information provided by dual-polarized PALSAR (FDB) images acquired under distinct look-azimuth (ascending and descending passes) and variable incidence over the Serra dos Carajás region, easternmost border of the Brazilian Amazon Region. The study area is characterized by a mountainous relief with altitude varying from 150 to 800 meters. Dense equatorial forest, type-savanna vegetation and various anthropogenic activities related to large mining exploration and exploitation programs (infra-structures, urban nucleus, etc.) are the main thematic classes for planimetric mapping in the study area. The methodological approach combined distinct techniques of digital image processing such as arithmetic operations, principal component transformation and decorrelation stretch aiming at the extraction of thematic information for cartographic mapping purposes. The analysis has shown that when only one look-azimuth is considered the best results were obtained from ascending pass. However, the combination of information extracted from both passes has also improved the overall quality of the results. The usage of similar approach in distinct areas of the Brazilian Amazon is considered relevant due to a critical lack of reliable planialtimetric information and to the expensive costs of cartographic mapping.

Keywords: SAR, remote sensing, image processing, sensoriamento remoto, processamento de imagem.

1. Introdução

A região Amazônica apresenta uma defasagem no seu mapeamento topográfico. Estimativas do IBGE indicam que a Amazônia brasileira, com mais de 5 milhões de km², apresenta um conhecimento planialtimétrico precário, com quase 25 % cobertos somente com mapas na escala de reconhecimento (1:250.000 a 1.1.000.000) e o restante com cobertura em semi-detalhe (IBGE 2001). Uma alternativa aos métodos de mapeamento convencionais (aerofotogrametria) é a utilização de sensores remotos orbitais. A coleta de dados com sensores orbitais que operam na faixa do espectro óptico apresenta algumas limitações quando se trata do recobrimento na região Amazônica, em função da constante presença de nuvens, brumas e fumaça. Entretanto, os sensores que atuam na faixa do espectro das microondas (radar imageador) se apresentam como uma alternativa para aquisição de imagens nessa região, pois operam sob condições atmosféricas adversas, possuem geometria de aquisição controlada e independem de fonte de iluminação externa (Sol).

Uma alternativa proposta para a cartografia nacional no mapeamento na escala de semi-detalhe é a utilização de imagens multipolarizadas do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), sensor PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*), como fonte de dados planimétricos e SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) como fonte de dados altimétricos (Oliveira e Paradella 2008). De acordo com estes autores, a precisão altimétrica do SRTM quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) atendeu aos requisitos para a classe A na escala 1:100.000.

O objetivo desse trabalho consiste na combinação de diferentes técnicas de processamento digital de imagens, como operações aritméticas, transformação por componentes principais e realce por decorrelação, para a extração de informações temáticas para o mapeamento cartográfico.

2. Área de estudo

A área de estudo está localizada no estado do Pará, na região da Serra dos Carajás, correspondendo a carta topográfica folha Serra dos Carajás (SB-22-Z-A-II) escala 1:100.000, predominando relevo de serras e platôs alinhados com altitudes de até 800 metros. Ao centro, com altitudes variando de 450 a 500 metros e relevo colinoso. No entorno da Serra, em planícies de altitudes de 200 a 300 metros. Segundo Paradella et al. (2005), o corpo principal da Serra estende-se de leste para oeste, com desvio para WNW, constituindo-se o maior relevo montanhoso na região, acima do nível geral das colinas florestadas entre os vales dos rios Xingu e Araguaia. A região é parte da Floresta Nacional de Carajás, com cobertura de Floresta Equatorial Ombrófila, no entanto, em algumas áreas ocorrem uma vegetação baixa, tipo savana. A maior parte da região é drenada pela rede hidrográfica do rio Itacaiúnas, que corta a borda ocidental da Serrania dos Carajás e desemboca na margem esquerda do rio Tocantins, em Marabá. O seu principal afluente é o rio Parauapebas, que corta a parte oriental da Serra dos Carajás; outros afluentes importantes são os Igarapés Azul, Cinzento e Águas Claras. Além do minério de ferro, há outras jazidas com direitos de exploração pertencentes à Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), por exemplo, o depósito de manganês do Azul, além de vários prospectos de minério de cobre (Salobo, Sossego, 118, 1B fase IV, Cristalino e Alemão), ouro, níquel e as ocorrências de bauxita, estanho, cromo e wolframita (Paradella et al. 2005).

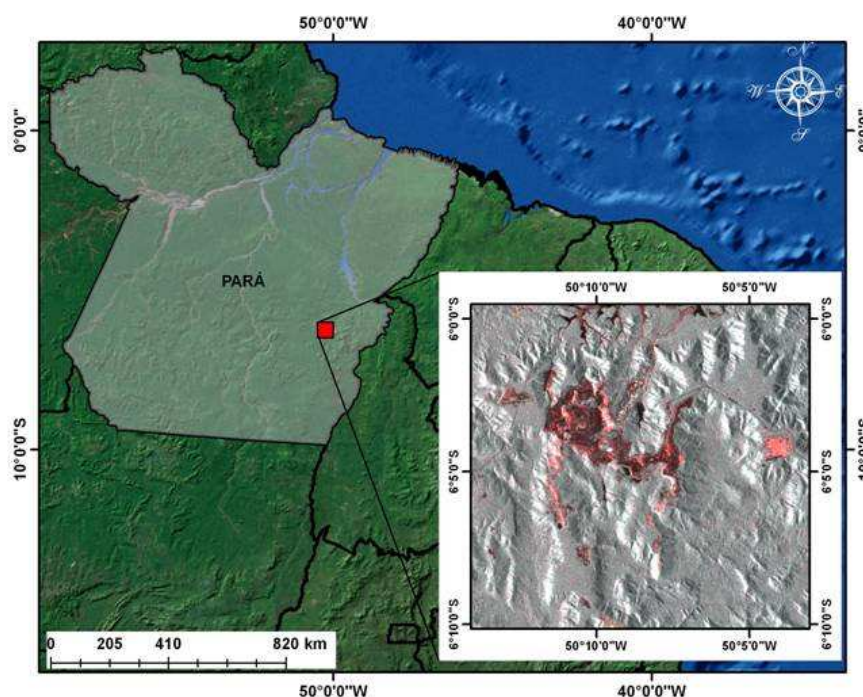


Figura 1. Área de Estudo

3. Dados Sensores

O satélite ALOS foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*), levando a bordo três instrumentos sensores: PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) com resolução espacial de 2,5 metros; AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer type 2*) com resolução espacial de 10 metros; e o PALSAR operando na banda L, podendo ser obtidas imagens nos modos

FBS (*Fine-Beam Single*) polarização (HH ou VV), FBD (*Fine-Beam Dual*) com polarizações (HH+HV ou VV+VH), ou polarimétrico (HH+HV+VH+VV), outra possibilidade é o modo ScanSAR, com polarização simples (HH ou VV). O centro de frequência é 1270 Mhz (23,6 com), com 28 MHz de largura de banda no modo FBS, e 14 MHz nos modos FBD, polarimétrico e ScanSAR. O ângulo *off-nadir* varia entre 9,9° a 50,8°, correspondendo com o ângulo de incidência variando de 7,9° a 60,0°. No modo ScanSAR 5-beam o ângulo de incidência varia de 18,0° a 43,0° (Rosenqvist et al. 2004).

A missão SRTM teve duração de 11 dias, percorrendo o globo entre os dias 11 a 22 de fevereiro de 2000, com órbita de 233 km de altitude e com inclinação de 57°, sendo esta missão resultado de uma cooperação entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), com participação das agências espaciais da Alemanha DLR (*Deutschen Zentrum für Luft - und Raumfahrt*) e Itália ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*) (Bamler, 1999).

No desenvolvimento do trabalho foram utilizadas: quatro imagens PALSAR modo FBD polarizações HH e HV, sendo duas de órbita ascendente e duas descendentes, descrições (ver Tabela 2); uma imagem LANDSAT TM_5 (Tabela 2); Modelo Digital de Elevação SRTM3, correspondente a área das imagens, com resolução espacial de 3 arco-segundos (90 metros); Software de Processamento Digital de Imagens PCI Geomatica v. 10.1 (*PCI Geomatics Enterprises Inc.®*).

Tabela 2. Informações das imagens PALSAR e LANDSAT_TM-5.

Área de estudo	Imagens	Modo	Polarizações	Órbita	Data	Incidência
Província Mineral de Carajás	ALPSRP076437060	FBD	HH, HV	Asc.	02/7/2007	39,019 °
	ALPSRP080153740	FBD	HH, HV	Desc.	27/7/2007	38,894 °
	ALPSRP076437050	FBD	HH, HV	Asc.	17/8/2007	39,017°
	ALPSRP080153750	FBD	HH, HV	Desc.	27/7/2007	38,894°
	Imagem	Órbita/ponto	Data			
	LANDSAT_TM-5	264/ 64	02/7/2007			

4. Abordagem metodológica

A metodologia do trabalho seguiu o fluxo apresentado na Figura 2, sendo cada etapa deste fluxo detalhada a seguir.

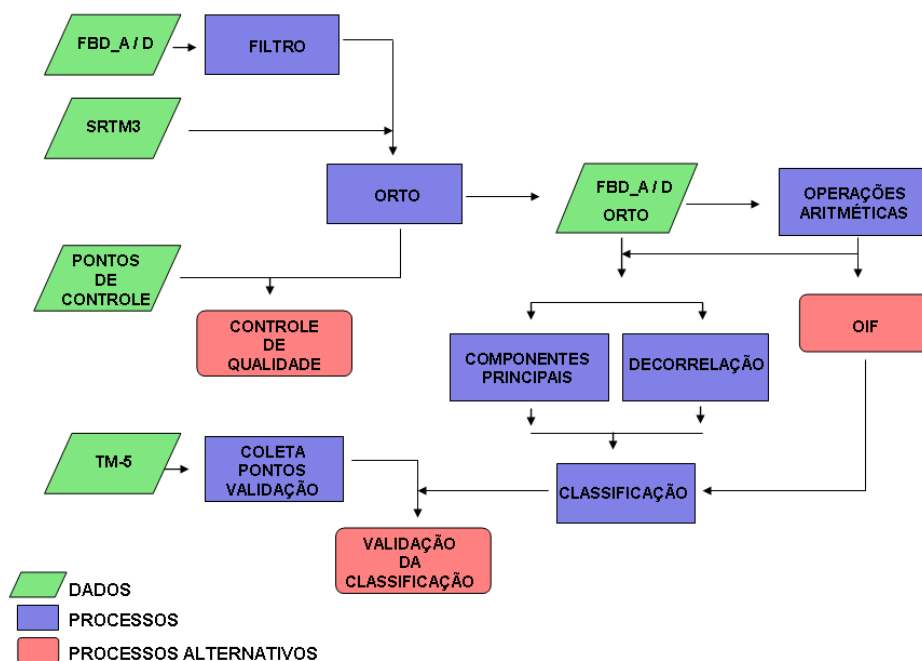


Figura 2. Fluxograma das etapas desenvolvidas.

Com o objetivo de reduzir o efeito do ruído *speckle*, foi aplicada uma filtragem sobre as imagens FBD, utilizando o filtro *ENHANCED FROST* com máscara de 5x5, pois o mesmo considera três diferentes tipos de áreas da imagem separadamente: áreas homogêneas, heterogêneas e alvos de pontos isolados. Em seguida, fez-se a ortorretificação das imagens pelo modelo *Specific* do módulo *OrthoEngine* do *software PCI Geomatica V.10.1.3*. O modelo *Specific*, foi desenvolvido para aproveitar ao máximo as informações do posicionamento do satélite e do sensor na plataforma. O modelo usa informações contidas na estrutura de dados para o cálculo das posições da plataforma e do sensor. O modelo pode ser usado com ou sem informações de GCPs, no entanto, o uso de GCPs melhora a acurácia planimétrica final. Quando a informação do GCPs não é utilizada, a ortorretificação será baseada nas informações de efemérides, exclusivamente, e a ortorretificação gerada será relativo. No caso do uso de GCPs, a ortorretificação gerada será absoluto. Para ortorretificação utilizou-se do modo sem GCP's (*Ground Control Points*), e como modelo digital de elevação utilizou o SRTM3.

Após a ortorretificação utilizou-se de 21 ICPs (*Independent Check Points*), coletados com equipamentos GPS geodésicos (*Global Positioning System*), com a finalidade de verificar a acurácia planimétrica das imagens ortorretificadas. Para a estimativa da acurácia planimétrica utilizou-se do critério de erro circular com intervalo probabilístico de 90% de confiança. A designação CE90 é uma medida dos erros combinados em latitude e longitude da planimetria do produto, não tendo relação com a acurácia vertical, sendo usado internacionalmente. CE90 é um raio circular (metros), englobando 90% dos erros de planimetria no produto analisado, em relação às posições reais no terreno (Paradella et al. 2005). O valor da constante em CE90 é 2,15 sendo este um valor tabulado para 90% de probabilidade da distribuição normal. No cálculo do CE90 as seguintes relações foram utilizadas:

$$\text{onde:} \quad CE90 = 2,15 \cdot RMSE \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_F - X_{DGPS})^2 + \sum (Y_F - Y_{DGPS})^2}{N - 1}} \quad (2)$$

Sendo X_F e Y_F = coordenadas dos ICPs; X_{DGPS} e Y_{DGPS} = coordenadas dos ICPs correspondentes medidos em campo por DGPS; N = número de ICPs considerados.

Na seqüência, foram aplicadas as operações aritméticas entre as polarizações (HH e HV), obtendo-se cinco novas imagens (HH+HV, HH-HV, HV*HH, HV\HH e HH\HV) tanto para a órbita ascendente quanto descendente. Para determinar qual a melhor operação aritmética em conjunto com as polarizações, foi utilizado o OIF (*Optimum Index Factor*), baseado num cálculo estatístico combinando imagens três a três, com base na variância total das imagens e da correlação entre elas. Logo, a melhor combinação possuirá o maior valor do OIF. Segundo Buhe et al. (2007), o cálculo do OIF pode ser obtido a partir das Equações 3 e 4:

$$OIF = MAX \left[\frac{\sum_{i=1}^n \sigma(i)}{\sum_{i=1}^n r(j)} \right] \quad (3)$$

$$OIF_{\text{bandas } x,y,z} = \frac{(\sigma(x) + \sigma(y) + \sigma(z))}{|r(x,y)| + |r(x,z)| + |r(y,z)|} \quad (4)$$

Sendo σ (i) o desvio padrão e r (j) é o coeficiente de correlação entre a combinação de duas bandas.

Aplicou-se sobre as polarizações e as cinco novas imagens a transformação por componentes principais, tendo como função determinar a correlação entre as imagens e removê-la através de uma transformação matemática apropriada. Assim, o conteúdo de informação das imagens é redistribuído de tal modo que, a primeira imagem possuirá maior informação e as imagens geradas em seguida com menor nível de informação (Richards,

1999), utilizando-se da primeira componente em conjuntos com as polarizações para juntas formassem uma composição colorida. Também foi aplicado o realce por decorrelação que consiste na distribuição circular do espaço de atributos, na qual sofre uma rotação inversa à sofrida pelos eixos da transformação por componentes principais, ficando orientada segundo o sistema de coordenadas da imagem original, utilizando-se da primeira imagem obtida para que em conjunto com as polarizações formassem uma composição colorida.

A partir dos processamentos foi aplicada uma classificação supervisionada de máxima verossimilhança (*Maximum Likelihood*) MAXVER, onde segundo Moreira (2001) a classificação supervisionada utiliza-se de amostras de treinamento das áreas, as quais são fornecidas ao sistema de classificação, as imagens são classificadas com base nessas amostras. A classificação foi aplicada para cada imagem gerada (a partir operações aritméticas, transformação por principais componentes e realce por decorrelação) em conjunto com as polarizações. Em seguida, fez-se a validação das classificações utilizando 512 pontos amostrados aleatoriamente sobre uma imagem LANDSAT_TM-5, calculou-se o valor do índice Kappa para cada classificação verificando o desempenho da mesma.

4. Resultados e Discussão

A partir da ortorretificação utilizou-se de 21 ICPs (Independent Check Points), coletados com DGPS (Differential Global Positioning System), com a finalidade de verificar acurácia planimétrica da ortorretificação. A Tabela 2 apresenta os RMSE (*Root Mean Squared Error*) planimétricos nas componentes E e N, o RMSE resultante (total) e CE90.

Tabela 2. Acurácia Planimétrica

IMAGENS ASCENDENTES			IMAGENS DESCENDENTES		
RMSE (E)	29,1616	m	RMSE(E)	30,96679	m
RMSE(N)	29,3959	m	RMSE(N)	24,6006	m
RMSE(TOTAL)	41,4067	m	RMSE(TOTAL)	39,5491	m
CE90	86,9541	m	CE90	83,05312	m

Como mencionado na abordagem metodológica, a partir das operações aritméticas, calculou-se o índice estatístico OIF para determinar qual das operações aritméticas contribuirá com mais informação em conjunto com as polarizações e foram obtidos os seguintes resultados para a imagem ascendente e descendente (Tabela 3):

Tabela 3. Resultados do OIF.

ASCENDENTE		DESCENDENTE	
Composições	Valores	Composições	Valores
OIF HH/HV/HH+HV	46,216	OIF HH/HV/HH+HV	45,587
OIF HH/HV/HH-HV	72,318 *	OIF HH/HV/HH-HV	70,934
OIF HH/HV/HV*HH	46,928	OIF HH/HV/HV*HH	46,457
OIF HH/HV/HV\HH	68,970	OIF HH/HV/HV\HH	67,905
OIF HH/HV/HH\HV	70,651	OIF HH/HV/HH\HV	72,195 *

* Melhores valores do OIF para imagem ascendente e descendente

Utilizou-se da primeira componente da transformação por componentes principais e da primeira imagem do realce por decorrelação para formarem em conjuntos com as polarizações gerassem duas novas composições coloridas. Na Figura 4 são mostradas as composições coloridas geradas a partir das combinações citadas acima para a imagem ascendente e descendente.

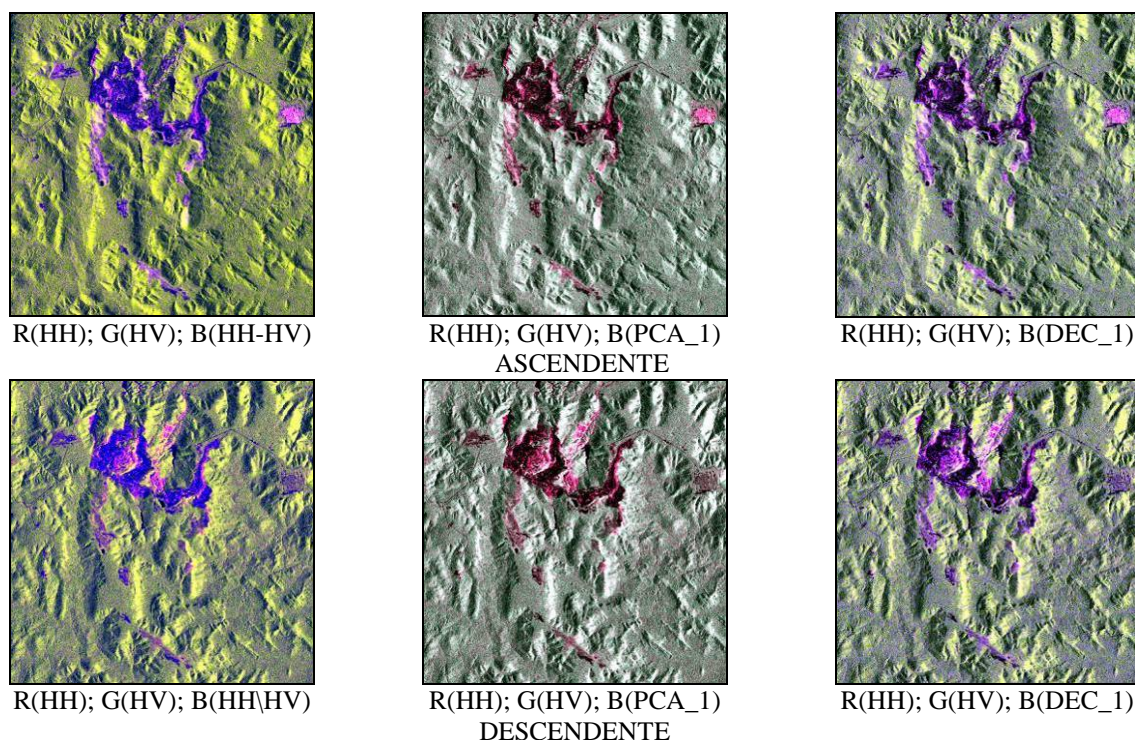


Figura 4. Composições coloridas.

As composições acima visualmente se apresentam melhores com relação às outras composições obtidas. No entanto, com a aplicação da classificação MAXVER sobre as outras composições, observa-se que a composições, com maior nível de informação apontada pelo OIF, e as com a primeira componente da transformação por componentes principais e a primeira imagem do realce por decorrelação, necessariamente não foram as melhores classificações. A Tabela 4 mostra os índices kappa encontrados para todas as composições geradas, tanto para imagem ascendente quanto para a imagem descendente.

Tabela 4. Kappa e acurácia global de todas as classificações.

ASCENDENTE			DESCENDENTE		
Composições	KAPPA Valores	ACURÁCIA GLOBAL Valores	Composições	KAPPA Valores	ACURÁCIA GLOBAL Valores
R(HH); G(HV); B(PCA_2)	0,376	89,453%	R(HH); G(HV); B(HH+HV)	0,236	74,023%
R(HH); G(HV); B(DEC_1)	0,517****	90,430%	R(HH); G(HV); B(PCA_1)	0,255****	75,195%
R(HH); G(HV); B(DEC_2)	0,517	90,430%	R(HH); G(HV); B(HV*HH)	0,267	75,781%
R(HH); G(HV); B(DEC_6)	0,521	90,039%	R(HH); G(HV); B(PCA_3)	0,269	75,391%
R(HH); G(HV); B(HH-HV)	0,523****	90,625%	R(HH); G(HV); B(DEC_5)	0,277	75,781%
R(HH); G(HV); B(DEC_5)	0,535	90,430%	R(HH); G(HV); B(PCA_2)	0,297	83,594%
R(HH); G(HV); B(PCA_1)	0,540****	90,820%	R(HH); G(HV); B(HH\HV)	0,305****	80,469%
R(HH); G(HV); B(PCA_5)	0,544	90,820%	R(HH); G(HV); B(DEC_3)	0,315	81,250%
R(HH); G(HV); B(PCA_3)	0,547	90,820%	R(HH); G(HV); B(DEC_2)	0,319	80,664%
R(HH); G(HV); B(HV*HH)	0,550	90,820%	R(HH); G(HV); B(PCA_5)	0,320	80,859%
R(HH); G(HV); B(HV\HH)	0,553	91,211%	R(HH); G(HV); B(DEC_6)	0,325	79,883%
R(HH); G(HV); B(DEC_4)	0,555	91,406%	R(HH); G(HV); B(PCA_4)	0,331***	81,055%
R(HH); G(HV); B(PCA_4)	0,557***	91,211%	R(HH); G(HV); B(DEC_4)	0,333	82,227%
R(HH); G(HV); B(DEC_3)	0,560**	91,016%	R(HH); G(HV); B(HH-HV)	0,341	82,227%
R(HH); G(HV); B(HH+HV)	0,561	90,820%	R(HH); G(HV); B(HV\HH)	0,342*	80,859%
R(HH); G(HV); B(HH\HV)	0,573*	91,602%	R(HH); G(HV); B(DEC_1)	0,342****	82,813%

- * Os melhores Kappa das polarizações em conjunto com operações aritméticas
- ** Os melhores Kappa das polarizações em conjunto com o realce por decorrelação
- *** Os melhores Kappa das polarizações em conjunto com transformação por componentes principais
- **** Kappa das polarizações em conjunto com o OIF / primeira componente principal / primeira imagem decorrelação

Os resultados das classificações podem ser visualizados na Figura 5.

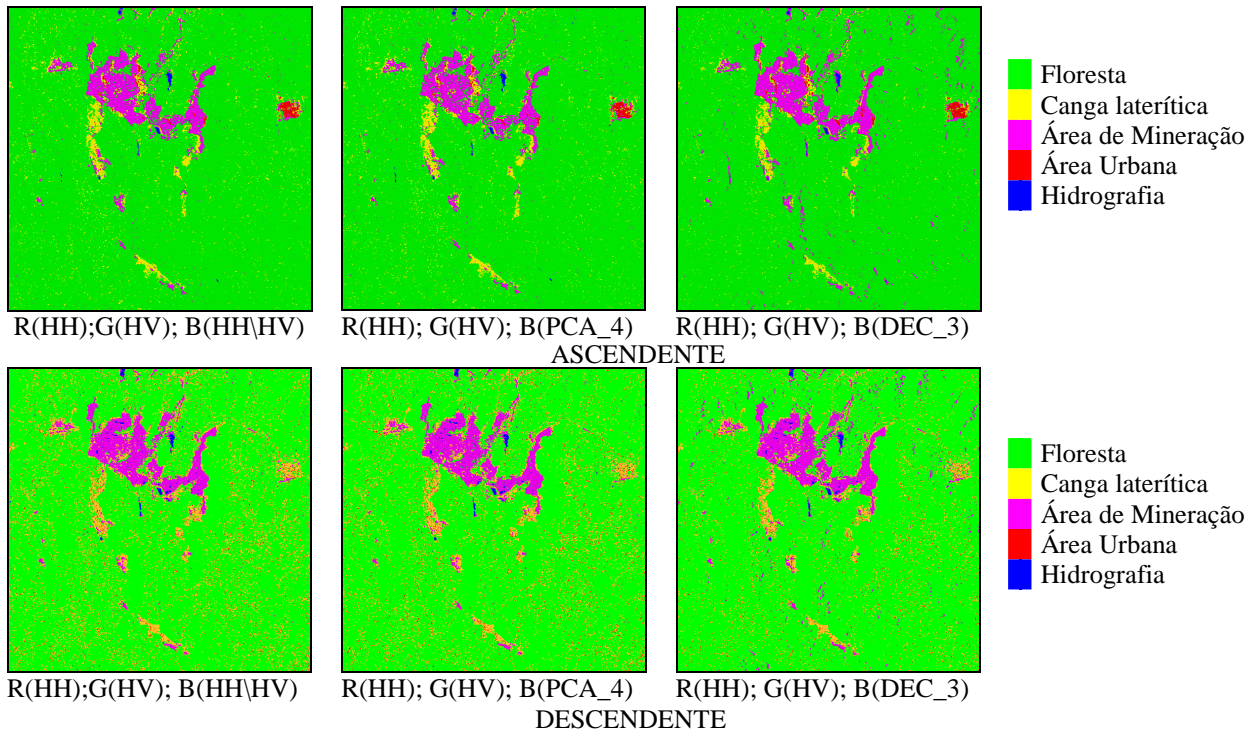


Figura 5. Classificações.

As classificações sobre a imagem ascendente apresentaram melhores resultados. Tais diferenças na classificação é devido a orientação da área urbana estar paralela a geometria de visada na imagem descendente, não sendo possível ser classificada a contento.

Avaliou-se também a possibilidade de combinar as informações das polarizações das imagens ascendentes e descendentes com os processamentos das imagens da órbita oposta. Os melhores índices kappa das classificações podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4. Índice kappa e acurácia global para as combinações das imagens.

ASCENDENTE			DESCENDENTE		
Composições	KAPPA Valores	ACURÁCIA GLOBAL Valores	Composições	KAPPA Valores	ACURÁCIA GLOBAL Valores
R(HH_A); G(HV_A); B(DEC_4_D)	0,532	91,016%	R(HH_D); G(HV_D); B(HH_A\HV_A)	0,485	88,672%
R(HH_A); G(HV_A); B(HH_D-HV_D)	0,540	91,016%	R(HH_D); G(HV_D); B(PCA_2_A)	0,503	89,258%
R(HH_A); G(HV_A); B(HV_D\HH_D)	0,553	91,406%	R(HH_D); G(HV_D); B(HH_A-HV_A)	0,510	89,258%
R(HH_A); G(HV_A); B(HH_D\HV_D)	0,562	91,602%	R(HH_D); G(HV_D); B(HV_A\HH_A)	0,524	89,844%

A Figura 6 ilustra a melhor classificação para a imagem ascendente combinada com operações da imagem descendente e vice-versa.

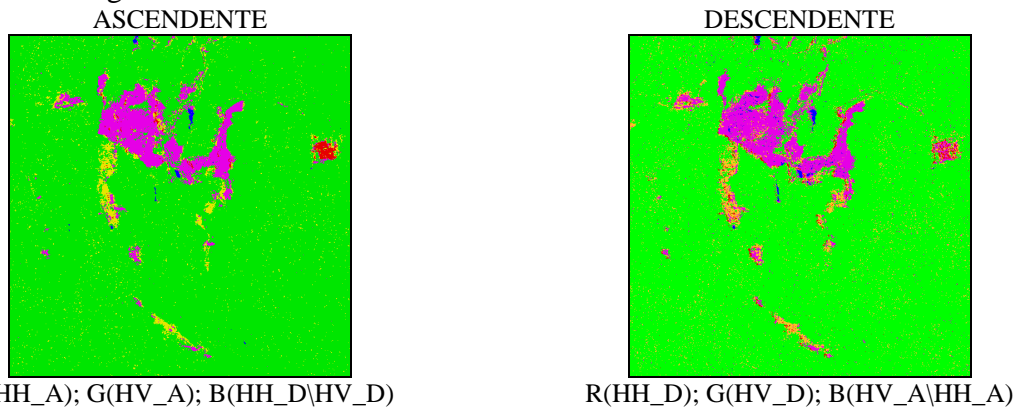


Figura 6. Resultados das melhores classificações.

A combinação entre as imagens de órbitas diferentes não melhorou os resultados obtidos pela imagem ascendente. Contudo, já para a imagem descendente houve uma melhora considerável, pois o índice kappa passou de 0,342 para 0,524, onde segundo Landis e Koch (1977) é considerada uma boa classificação.

5. Conclusões

Os melhores resultados obtidos foi para a imagem ascendente onde o valor do índice kappa varia entre 0,376 a 0,573, sendo considerada uma boa classificação de acordo com Landis e Koch (1977). Já a imagem descendente não apresentou bons resultados onde o valor do índice kappa variou entre 0,236 a 0,342 que de acordo com Landis e Koch (1977) um resultado razoável.

Quando combinadas as informações das polarizações das imagens ascendentes e descendentes com os processamentos da imagem da órbita oposta, não houve melhora no valor do índice kappa para as polarizações da imagem ascendente combinadas com os processamentos da imagem da órbita descendente. No entanto, a combinação da imagem descendente com os processamentos da imagem ascendente obteve-se uma melhora considerável, onde o índice kappa passou de 0,342 para 0,524, ou seja, passando de uma classificação razoável para uma boa classificação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à JAXA (ALOS RA # 219) e ao CNPq pelos recursos de projeto de pesquisa (Bolsa P&D) do segundo autor (Processo # 300985/90-8).

Referências Bibliográficas

Bamler, R. **The SRTM mission: a world-wide 30m resolution DEM from SAR Interferometry in 11 Days.** Stuttgart: Photogrammetrische Woche, 1999.

Buhe, A.; Tsuchiya, K.; Kaneko, M.; Ohtaishi, N.; Mahmut, H., Land cover of oases and forest in XinJiang, China retrieved from ASTER data, **ScienceDirect - Advances in Space Research**, v.39, p. 39–45, 2007.

IBGE 2001. **Mapa Índice Digital-Mapeamento Geral do Brasil:** Primeira Edição, Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), Rio de Janeiro, Brazil.

Landis, J. R.; Koch, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174. 1977.

Moreira, M. A. Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. São José dos Campos: INPE, 2001, 250 p.

Oliveira, C. G.; Paradella, W. R., An Assessment of the Altimetric Information Derived from Spaceborne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and Optical (ASTER) Data for Cartographic Application in the Amazon Region, **Sensors**, 8, p. 3819 – 3829, 2008.

Paradella, W. R.; Cecarelli, I.C. F.; Luiz, S.; Oliveira, C. G.; Cottini, C. P.; Okida, R., Geração de Carta Topográfica com Estéreo-pares Fine do Radarsat-1 e Dados Etm+ Landsat 7 em Ambiente de Relevô Montanhoso na Região Amazônica (Serra Dos Carajás, Pará). **Revista Brasileira de Geociências**, v.35, n.3, p. 323-332, 2005.

Richards, J. A.; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction.** Third Edition. Springer, 1999.

Rosenqvist, A.; Shimada, M.; Watanabe, M. ALOS PALSAR: Technical outline and mission concepts. **4th International Symposium on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications**, Innsbruck, Austria, November 16-19, 2004.