

## Técnicas de fusão aplicadas a imagens do satélite ALOS

Juliana da Luz<sup>1,2</sup>  
Maria Augusta Doetzer Rosot<sup>2</sup>  
Nelson Carlos Rosot<sup>1</sup>  
Yeda Maria Malheiros de Oliveira<sup>2</sup>  
Marilice Cordeiro Garrastazu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná  
Av. Pref. Lothário Meissner, 900 - 80210-170 - Curitiba - Paraná, Brasil  
julianaforestal@gmail.com, ncrosot@ufpr.br

<sup>2</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Florestas  
Caixa Postal 319 - 83411-000 – Colombo – PR, Brasil  
{augusta, yeda, marilice}@cnpf.embrapa.br

**Abstract:** This paper describes the application of four approaches for the ALOS imagery fusion, named as: HSV, Color Normalized, Gram-Schmidt and Principal Components. ALOS spatial resolution is 10m for the multispectral radiometer (AVNIR-2) and 2.5m for the panchromatic radiometer (PRISM). The study objective was testing the techniques regarding its visual quality, details transfer and high spectral fidelity. Considering the visual quality of the resulting image, the Gram-Schmidt and Principal Components fusions resembled the original AVNIR-2. The four techniques showed suitable results, considering the details transfer test. On the other hand, the four approaches presented low correlation coefficients when the spectral fidelity was being tested.

**Palavras-chave:** image fusion, ALOS PRISM, ALOS AVNIR-2, imagery processing, fusão de imagens, processamento de imagens, sensoriamento remoto.

### 1. Introdução

A fusão em dados satelitários é empregada para melhorar a resolução (espacial e espectral) das imagens, facilitando assim a identificação de alvos. Essa técnica de processamento pode ser empregada para melhorar a classificação de imagens, por exemplo em áreas urbanas, uma vez que a heterogeneidade espectral destas áreas em imagens de sensoriamento remoto pode conduzir a erros em sua classificação e que imagens de alta resolução espacial seriam imprescindíveis para análises intra-urbanas (FUCKNER et al., 2005). Como exemplo de outro uso importante, Candéias e Silva (2004), comentam que o uso integrado de imagens de sensoriamento remoto, com boas resoluções espaciais, as técnicas de geoprocessamento, cartas topográficas convencionais e processamento digital de imagens têm auxiliado, sobremaneira, a atualização cartográfica.

Segundo Wald (1999), a fusão de dados satelitários pode ser caracterizada como uma estrutura formal na qual são definidos conceitos e ferramentas para a união de dados originários de diferentes fontes com o objetivo de obter informações de melhor qualidade.

Neste trabalho as técnicas de fusão envolveram uma imagem pancromática de alta resolução espacial com uma imagem multiespectral com menor resolução espacial, provenientes do satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite). Deste modo, a resolução espectral pôde ser preservada, enquanto a melhor resolução é incorporada com o intuito de captar o conteúdo de informação das imagens com muito mais detalhes (SCHNEIDER et al., 2003). O presente estudo integra a fase de preparação dessas imagens, visando a discriminação e classificação da

vegetação de uma reserva florestal localizada no município de Caçador (Santa Catarina, Brasil) e também para a classificação de uso do solo do seu entorno.

O satélite ALOS foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela Agência Espacial Japonesa. Sua órbita é solar-síncrona com altitude média de 691 km. Ele carrega a bordo três instrumentos sensores: (1) o Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2), sensor multispectral, que possui 4 bandas espectrais no visível e infra-vermelho próximo (**Tabela 1**); (2) o Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM), que é o sensor com uma banda pancromática. Ele possui três sistemas óticos independentes para aquisição de imagens no Nadir, Backward e Forward, sendo possível a extração de dados para o modelo digital de elevação (**Tabela 1**); e (3) Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) que é o sensor radar (SAUNIER et al, 2007), o qual não será envolvido neste trabalho.

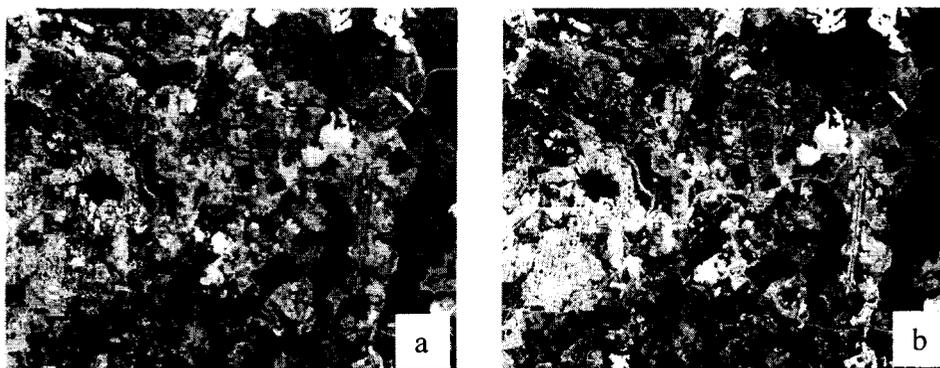
O presente trabalho teve como objetivo testar e avaliar as técnicas de fusão *HSV*, *Color Normalized*, *Gram-Schmidt Spectral Sharpening* e *Principal Componentes* aplicadas à imagens do sensor ALOS que posteriormente serão utilizadas para classificação e interpretação visual da área de estudo.

**Tabela 1:** Bandas espectrais do satélite ALOS e suas respectivas resoluções espaciais

Satélite ALOS		
	Bandas espectrais ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)
<b>Banda 1</b>	0,42 - 0,50	10
<b>Banda 2</b>	0,52 - 0,60	10
<b>Banda 3</b>	0,61 - 0,69	10
<b>Banda 4</b>	0,76 - 0,89	10
<b>Pan</b>	0,52 - 0,77	2,5

## 2. Métodos de fusão

Neste trabalho foram testados quatro métodos de fusão com duas imagens do sensor ALOS, sendo uma multispectral com 4 bandas e resolução espacial de 10 metros e uma imagem pancromática com resolução espacial de 2,5 metros (**Figura 1**). A imagem apresentada é um recorte do município de Caçador-SC. Os métodos testados estão descritos a seguir.



**Figura 1:** (a) Imagem ALOS multispectral com resolução de 10 metros;  
(b) Imagem ALOS pancromática com resolução de 2,5 metros.

## 2.1 HSV

HSV é a sigla para: *hue*, *saturation* e *value*, que significam, respectivamente, matiz, saturação e brilho. É um espaço de cor mais uniforme que o espaço RGB e que separa a cromaticidade da luminância. Matiz é a cor pura dominante percebida pelo observador. Saturação é o quanto a cor pura dominante (matiz) é diluída pela luz branca. Brilho (ou valor) é a quantidade de luz refletida (claro/escuro), ou a quantidade de luz branca na cor (NUÑEZ, 2006).

A transformação RGB-HSV separa a informação acromática (valor) e cromática (matiz e saturação) de uma imagem RGB (SCHNEIDER et al., 2003).

No método de fusão pela transformada HSV, três bandas espectrais de baixa resolução espacial são transformadas do espaço RGB de cores para o espaço HSV. A componente V é substituída pela imagem PAN, e é efetuada a operação inversa, retornando para o espaço RGB (SCHNEIDER et al., 2003).

## 2.2 Color Normalized (Brovey)

O método "Color Normalized (Brovey)" é uma técnica de fusão que usa uma combinação matemática de imagens coloridas e dados de alta resolução. Cada banda da imagem colorida é multiplicada pela razão da imagem pancromática dividida pela soma das bandas da imagem colorida. A função automaticamente reamostra as três bandas coloridas para um tamanho de pixel de alta resolução utilizando técnicas de vizinho mais próximo, bilinear ou convolução cúbica. As imagens de saída RGB terão o tamanho do pixel da imagem de alta resolução (RSI, 2005).

## 2.3 Gram-Schmidt Spectral Sharpening

A transformação Gram Schmidt é baseada em rotações e translações do conjunto original de atributos. Ela é executada através da simulação de uma banda de alta resolução, obtida a partir de um conjunto de baixa resolução. Este procedimento é realizado através da obtenção de um grupo de vetores ortogonais independentes, com variância quadrática das imagens espectrais, obtidos entre duas bandas de baixa resolução, gerando uma de alta resolução com o menor desvio padrão da média (OLIVEIRA, 2004). Primeiramente, uma banda pancromática é simulada para a baixa resolução espacial das bandas multiespectrais. Em seguida uma transformação Gram-Schmidt é executada nas bandas pancromática e multiespectrais, onde a banda pancromática simulada é empregada como a primeira banda. Na sequência a banda pancromática de alta resolução espacial é substituída pela primeira banda Gram-Schmidt. Finalmente, a transformação inversa Gram-Schmidt é, então, aplicada para formar a banda espectral fusionada (pan-sharpened) (RSI, 2005).

## 2.4 PC Spectral Sharpening

A Análise por Componentes Principais (ACP), também chamada de Transformação por Componentes Principais ou Transformada de Karhunen-Loeve, é uma das funções de processamento de imagens mais poderosas na manipulação de dados multiespectrais. A principal tarefa da ACP é analisar as correlações entre N imagens brutas e produzir um novo conjunto de N novas imagens com nenhuma correlação entre si. A primeira Componente Principal (CP) irá conter a informação que é comum a todas as N bandas originais. A segunda irá conter a feição espectral mais significativa do conjunto e assim sucessivamente. As últimas CPs irão conter menos informações do que as suas predecessoras, o que não significa que essa informação seja qualitativamente menos importante mas apenas que em termos quantitativos o conteúdo em

informação decresce para as últimas CPs. A 1ª CP é uma imagem muito semelhante a uma vista “pancromática” da cena (CROSTA, 1992).

No processo de fusão por esse método, uma transformação de componentes principais é executada nos dados multiespectrais. A banda referente à primeira componente principal é substituída pela banda de alta resolução espacial, cuja resolução é reamostrada para ajustar-se à primeira componente principal, de forma a evitar as distorções na informação espectral. Então uma transformação inversa é executada. O dado multiespectral é automaticamente reamostrado para o tamanho de pixel de alta resolução utilizando técnicas de vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica (RSI, 2005).

### 3. Testes

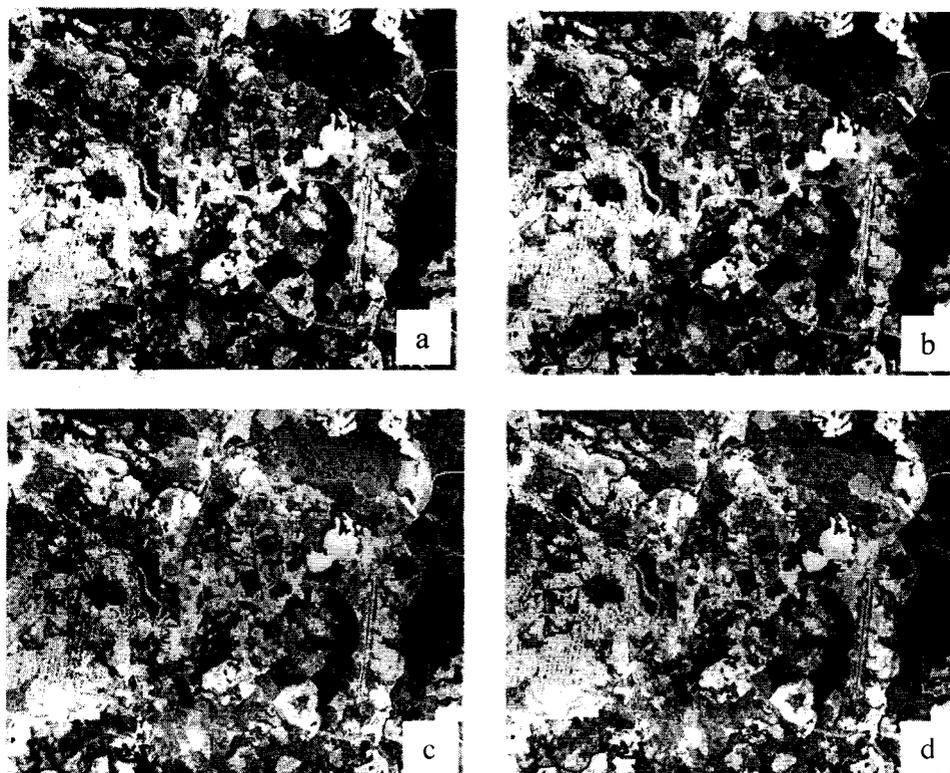
O primeiro teste realizado foi uma análise visual entre o resultado das técnicas de fusões e a imagem multiespectral original.

O segundo foi um teste para aferir a capacidade de transferência de detalhes de cada técnica a partir da comparação de detalhes entre a imagem pancromática e as fusões. Para isso foram extraídos os detalhes das imagens fusionadas e pancromática original através de uma operação de filtragem passa-alta com um filtro Laplaciano 3x3, com soma nula. Assim, novas imagens foram geradas contendo apenas os detalhes de cada imagem. Em seguida foi calculado o coeficiente de correlação entre a imagem pancromática filtrada e cada banda das imagens fusionadas filtradas (PINHO et al., 2005).

Por último foi realizado um teste para verificar a fidelidade espectral das imagens fusionadas com relação à imagem multiespectral original. Como elas possuem resoluções espaciais diferentes, não é possível compará-las. Sendo assim, as imagens tiveram que ser degradadas de tal forma que as imagens fusionadas tivessem a mesma resolução espacial da imagem multiespectral original. A fusão entre as imagens degradadas é considerada uma fusão simulada somente para efeito de avaliação (PINHO et al., 2005). Para esse estudo, a imagem pancromática original foi degradada para resolução de 10m e a multiespectral original para 40m. A fusão entre essas duas imagens gerou uma nova imagem fusionada com resolução de 10m. Para a comparação das imagens foram utilizadas a média, desvio padrão e correlação entre bandas.

### 4. Resultados e Discussão

Os resultados das quatro técnicas de fusão (HSV, *Color normalized*, *Gram-Schmidt* e Componentes Principais) aplicadas em imagens ALOS são apresentados na **Figura 2**. Na análise visual entre as fusões e a imagem multiespectral original, os métodos HSV e *Color Normalized* se mostraram com cores mais escuras nas áreas de vegetação, sendo que algumas regiões apareceram quase pretas no método HSV. Os métodos Componentes Principais e *Gram-Schmidt* se aproximaram mais da imagem multiespectral original, apresentando cores mais vibrantes. Os quatro métodos apresentaram cores muito brilhantes para a área urbana. Algumas feições se tornaram mais facilmente identificáveis nestas imagens, como estradas, rios e a própria vegetação.



**Figura 2:** Imagens fusionadas pelos seguintes métodos: (a) HSV; (b) *Color normalized*; (c) *Gram-Schmidt* e (d) Componentes Principais

Para o teste 2, a capacidade de transferência de detalhes foi medida pela correlação entre as imagens (pancromática original e fusões). A Tabela 2 mostra as correlações entre essas imagens.

**Tabela 2:** coeficientes de correlação entre as imagens fusionadas e a pancromática original, para o teste de transferência de detalhes.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4
HSV	-	0,969	0,941	0,925
<i>Color normalized</i>	-	0,987	0,957	0,946
<i>Gram-Schmidt</i>	0,943	0,972	0,966	0,612
Componentes Principais	0,951	0,978	0,986	0,436

Com os resultados apresentados, pode-se perceber que os métodos que apresentaram maior correlação com a imagem pancromática original foram o HSV e o *Color Normalized*, com coeficientes de correlação altos, acima de 0,90. Para os métodos *Gram-Schmidt* e Componentes Principais as três primeiras bandas apresentaram alta correlação também, mais a banda 4 apresentou coeficientes muito mais baixos, sendo 0,612 para *Gram-Schmidt* e 0,436 para Componentes Principais.

No terceiro teste, foi analisada a fidelidade espectral das imagens fusionadas com relação à multiespectral original. Os coeficientes de correlação entre bandas estão mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3:** coeficientes de correlação entre a imagem multiespectral original e as fusões para o teste de fidelidade espectral

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4
<b>HSV</b>	-	0.605773	0.645350	0.389618
<i>Color normalized</i>	-	0.630433	0.665539	0.390272
<i>Gram-Schmidt</i>	0.695297	0.622162	0.579532	0.132887
<b>Componentes Principais</b>	0.692856	0.615474	0.575859	0.141692

Pode-se observar que todas as imagens apresentaram baixo coeficiente de correlação, não ultrapassando 0,70. A banda 4 foi a que apresentou os piores valores, sendo que a técnica de fusão *Gram-Schmidt* teve como coeficiente o valor de 0,13. Segundo Telles Jr. e Rosa (2005), esses baixos valores encontrados na banda 4 está ligado ao fato da imagem possuir baixa resposta espectral para área urbana nesta banda.

Na **Tabela 4** estão mostrados os valores de média dos pixels e desvio padrão para a imagem multiespectral e para as fusões. Pode-se perceber que esses valores para as fusões *Gram-Schmidt* e Componentes Principais estão bem próximos da imagem multiespectral original. A média e o desvio padrão estão relacionados com o brilho e contraste da imagem respectivamente. Havendo uma menor variação na média, o brilho é conservado. Uma menor variação entre os valores de desvio padrão demonstra melhor preservação do contraste da imagem (PINHO et al., 2005).

**Tabela 4:** estatísticas da imagem multiespectral e das fusões

	Banda 1		Banda 2		Banda 3		Banda 4	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
<b>Multiespectral original</b>	82,7764	12,5946	66,5975	18,4977	57,7870	24,5807	58,3128	13,8625
<b>HSV</b>	-	-	121,2357	72,4658	108,2374	74,5447	102,2814	58,0273
<i>Color normalized</i>	-	-	44,8372	25,5692	39,8306	26,9059	37,8724	19,8332
<i>Gram-Schmidt</i>	82,8184	11,9652	66,6709	18,7604	57,8439	25,9807	58,3090	13,5396
<b>Componentes Principais</b>	82,8189	11,6734	66,6707	18,4108	57,8454	25,1848	58,3070	14,1216

## 5. Conclusões

Na análise visual as técnicas de fusão que apresentaram melhores resultados foram *Gram-Schmidt* e Componentes Principais, com as cores se assemelhando à imagem multiespectral original.

No teste de transferência de detalhes as quatro técnicas de fusão se mostraram apropriadas, com exceção da banda 4 para as fusões *Gram-Schmidt* e Componentes Principais, que apresentaram valores de coeficiente de correlação bem menores do que as outras bandas.

No teste de fidelidade espectral as quatro técnicas não se mostraram muito apropriadas pois apresentaram coeficientes de correlação relativamente baixo, principalmente a banda 4 para as técnicas *Gram-Schmidt* e Componentes Principais.

## 6. Referências Bibliográficas

CANDEIAS, A.L.B.; SILVA, E.A. Extração de Estradas de uma imagem ETM+ Landsat usando Morfologia Matemática. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC), 2004, Florianópolis – SC. **Anais...Florianópolis, UFSC, 2004. Artigos, 8p.**

CROSTA, A.P. **Processamento digital de imagens.** Campinas: IG/ UNICAMP, 1992, 170 p.

FUCKNER, M.A.; ROSEMBACK, R.; ROSA, V.G.C. **Comparação de transformações radiométricas e técnicas de fusão de imagens CBERS-2/CCD e IRS-P6/LISS-IV: aplicação no município de Campinas – SP.** 2005. 13p. Monografia (para a disciplina de Processamento Digital de Imagens, curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

NUÑEZ, J.R. **Segmentação automática e classificação em vídeos esportivos.** 2006. 178 p. Dissertação (Mestrado em Informática Aplicada) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba-PR. 2006.

OLIVEIRA, L.T. **Fusão de imagens de sensoriamento remoto e mineração de dados geográficos para mapear as fitofisionomias do bioma cerrado.** 2004. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras. 2004

PINHO, C.M.D.; RENNÓ, C.D.; KUX, H.J.H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12. 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 4225-4232.

RSI (Research Systems, Inc). **ENVI User's Guide.** ENVI Version 4.2 August, 2005.

SAUNIER, S., SANTER, R., GORYL, P., GRUEN, A., WOLF, K., BOUVET, M., VIALLEFONT, F., CHANDER, G., RODRIGUEZ, Y., MAMBIMBA, A. **The contribution of the European Space Agency to the ALOS PRISM / AVNIR-2 commissioning phase,** 12-Nov-2007. Disponível em: <[http://earth.esa.int/pub/ESA\\_DOC/ALOS014.pdf](http://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/ALOS014.pdf)>. Acesso em: 02.nov.2008.

SCHNEIDER, M.J.; BELLON, O.R.P.; ARAKI, H. Experimentos em fusão de imagens de alta resolução. **Bol. Ciênc. Geod.**, séc. v. 9, n. 1, p. 75-88, 2003. Curitiba.

TELLES JR., M.A.B.G.; ROSA, A.N.C.S. Fusão de imagens IRS-1C e Landsat 5 utilizando método aditivo de sub-bandas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12. 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 4327-4334.

WALD, L. Some terms of reference in data fusion. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, v. 37, n. 3, p.1190-1193, 1999.