

## Comparação de Técnicas de Fusão Aplicadas à Imagem Quickbird-2

Vagner Alex Pesck<sup>1</sup>, Attilio Antonio Disperati<sup>2</sup> (*in memoriam*),  
João Roberto dos Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo testar quatro técnicas de fusão para melhoria da qualidade espacial da imagem Quickbird-2. As técnicas testadas foram: HSV e Brovey utilizando três bandas espectrais na composição colorido normal (3R2G1B), *Gram-Schmidt* e Principais Componentes utilizando as quatro bandas disponíveis na imagem. A área de estudo está inserida na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná com 1600 ha. Analisando a qualidade visual das imagens fusionadas, os melhores resultados, em face de melhor conservação de cores, foram gerados pela técnica de *Gram-Schmidt* e Principais Componentes. Quanto à fidelidade espectral das imagens fusionadas (média e desvio padrão) com relação à multiespectral original, a técnica de Principais Componentes, preservou melhor o contraste da imagem original, mas a técnica de *Gram-Schmidt* forneceu melhor resultado quanto à conservação do brilho da imagem. Neste trabalho, pode-se concluir que qualquer uma das imagens fusionadas geradas pelas técnicas de Principais Componentes e *Gram-Schmidt* pode ser usada para atividade de mapeamento temático por gerar imagem de melhor qualidade em relação às demais técnicas testadas.

**Palavras-chave:** fidelidade espectral, fusão de imagens, Quickbird 2.

### Comparison of Fusion Techniques Applied Image Quickbird-2

### ABSTRACT

This study aimed to test four fusion techniques in order to improve the spatial quality of the Quickbird-2 satellite image. The four techniques used were the following: HSV and Brovey, utilizing three spectral bands in a color composite (3R2G1B); Gram-Schmidt and Principal Components, using the four spectral bands available in the image. The study area was a part of the 'Irati' National Forest in the State of Parana, Brazil. The image used was from the Quickbird-2 satellite, with one panchromatic and four multi-spectral bands. Analyzing the visual quality of the fused images, the best results, due to better retention of color, were generated by the Gram-Schmidt and Principal Components techniques. As the spectral fidelity of the fused images concerns the original multi-spectral, the Principal Component technique preserved the contrast of the original image better, while the Gram-Schmidt technique provided better results concerning the preservation of image brightness. Any of the fused images generated by the Gram-Schmidt and Principal Components methods can be used for thematic mapping activity to generate better picture quality compared to the original image.

**Keywords:** spectral fidelity, image fusion, Quickbird 2.

## 1. INTRODUÇÃO

Para melhor aproveitamento das informações produzidas por diferentes sensores, alguns métodos de processamento digital de imagens têm sido propostos (Ventura, 2002). Estas técnicas combinam imagens de diferentes características espectrais e espaciais para sintetizar uma nova imagem com melhor resolução espacial do que a imagem multiespectral original. A estas técnicas dá-se o nome de fusão de imagens.

Técnicas de fusão de dados são amplamente utilizadas na comunidade científica para explorar a potencialidade dos dados complementares (Pohl & van Genderen, 1998). Isto é devido à quantidade crescente de dados multiespectrais adquiridos pelos novos sensores espaciais, tais como IKONOS-2 e Quickbird-2. A utilidade dos dados fusionados tem sido demonstrada em diversas aplicações ambientais, (Couloigner et al., 1998; Fanelli et al., 2001; Gonzáles Audicana & Seco, 2002; Yang et al., 2000). Há uma variedade de técnicas de fusão, que têm sido propostas na literatura (Wang et al., 2005; Chavez Junior et al., 1991; Zhang, 2002), visando melhorar a qualidade (qualitativa e/ou quantitativa) das imagens de satélite. Por este fato, a qualidade resultante de uma imagem fusionada está relacionada a fatores espaciais, radiométricos e espectrais e, portanto, diferentes técnicas têm sido desenvolvidas visando objetivos diferentes.

A transformação *Brovey* consiste numa combinação aritmética entre uma imagem multiespectral de baixa resolução espacial representada no espaço RGB e uma imagem pancromática de alta resolução. No processo em questão, cada banda da imagem multiespectral é multiplicada pela razão da imagem pancromática dividida pela soma das bandas da imagem multiespectral (Vrabel, 1996). A fusão *Brovey* possui as mesmas limitações da IHS, pois trabalha com o sistema de cores RGB.

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).

A fusão por Principais Componentes (PC) inicia-se com a transformação das bandas multiespectrais (sem limitação do número de bandas) em um mesmo número de componentes não correlacionadas. A primeira componente principal (CP1) é substituída pela banda pancromática que antes passa por um processo de equalização de média e variância para que fique a mais parecida possível com a CP1. Em seguida é realizada uma transformação inversa.

O método de *Gram-Schmidt* (GS), assim como o de Principais Componentes, é uma operação sobre vetores com o objetivo de torná-los ortogonais (maiores detalhes desta transformação podem ser encontrados em Smith, 2007). A fusão inicia-se com a simulação de uma banda pancromática a partir das bandas multiespectrais de baixa resolução espacial. Em sequência, a transformação de *Gram-Schmidt* é aplicada à banda pancromática simulada e às bandas multiespectrais, e a pancromática simulada é empregada como a primeira banda. Então, a primeira banda *Gram-Schmidt* é trocada pela banda pancromática de alta resolução e uma transformação inversa é aplicada para formar a imagem sintética de saída (RSI, 2009).

Os métodos de substituição de componentes (CS) ou fusão de imagens por substituição, tais como aqueles baseados em IHS (Carper et al., 1990; Edwards & Davis, 1994; Liu, 2000; Tu et al., 2001), sobre a transformação *Brovey* (Gillespie, 1987) e na análise dos Componentes Principais (Schowengerdt, 1997), têm sido testados para melhorar a qualidade das imagens. Estas técnicas citadas acima são rápidas de serem processadas computacionalmente, resultam em bom desempenho espacial e são úteis para muitas

tarefas de interpretação visual (Wang et al., 2005), mas os métodos PC e IHS são altamente sensíveis ao desalinhamento das bandas, como acontece para algumas imagens de alta resolução, tais como IKONOS-2 (Zhang, 2004). Por isso, nesse contexto, a técnica de *Gram-Schmidt* (GS) foi desenvolvida para melhorar a precisão dos métodos CS.

O presente trabalho teve como objetivo testar e avaliar as técnicas de fusão *HSV*, *Brovey*, *Gram-Schmidt Spectral Sharpening* e *Principais Componentes* aplicadas a imagens do sensor Quickbird-2 para identificação de alvos como vegetação estradas e agricultura, que posteriormente serão utilizadas para classificação da área de estudo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, com aproximadamente 600 ha, está inserida na Floresta Nacional de Irati (FLONA de Irati), nos municípios de Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares, e a aproximadamente 150 km oeste de Curitiba - Estado do Paraná. Com área de 3.495 ha, a FLONA tem 36% (1.272,9 ha) de floresta nativa com predominância de araucária e com o sub-bosque rico em espécies folhosas como *Ilex paraguariensis*, *Ocotea porosa*, *Ocotea odorifera*, *Cedrela fissilis* entre outras. Segundo a classificação climática de Köppen, a região tem clima do tipo Cfb com geadas frequentes no inverno. A temperatura média máxima é de 24,2 °C e a média mínima de 11,0 °C. A precipitação média mensal é de 193,97 mm e a umidade relativa média mensal do ar, de 79,58%.

Foi utilizada a imagem Quickbird-2 (11bits) obtida em março de 2008, com resolução espacial de 60 cm no modo pancromático e 2,4 m no modo multiespectral e com quatro bandas multiespectrais: banda 1 (azul), banda 2 (verde), banda 3 (vermelho) e banda 4 (infravermelho próximo). A banda pancromática recobre todo o intervalo das bandas multiespectrais, fator importante na conservação de cores da imagem sintética (Fusionada). Para a realização dos testes foi utilizado o programa ENVI 4.6.1.

As bandas multiespectrais e a pancromática da imagem Quickbird-2 foram fusionadas com o objetivo de melhorar a resolução espacial das imagens. Para esse estudo, foram testadas quatro técnicas de fusão disponíveis no *software* ENVI 4.6.1:

*HSV* (três bandas), *Color Normalized (Brovey)* (três bandas), *Gram-Schmidt Spectral Sharpening* (quatro bandas) e *Principais Componentes* (quatro bandas). As bandas selecionadas para participarem da fusão foram as bandas 1, 2 e 3 para as fusões com 3 bandas e foi incluída a banda 4 (infravermelho próximo) nas fusões com 4 bandas.

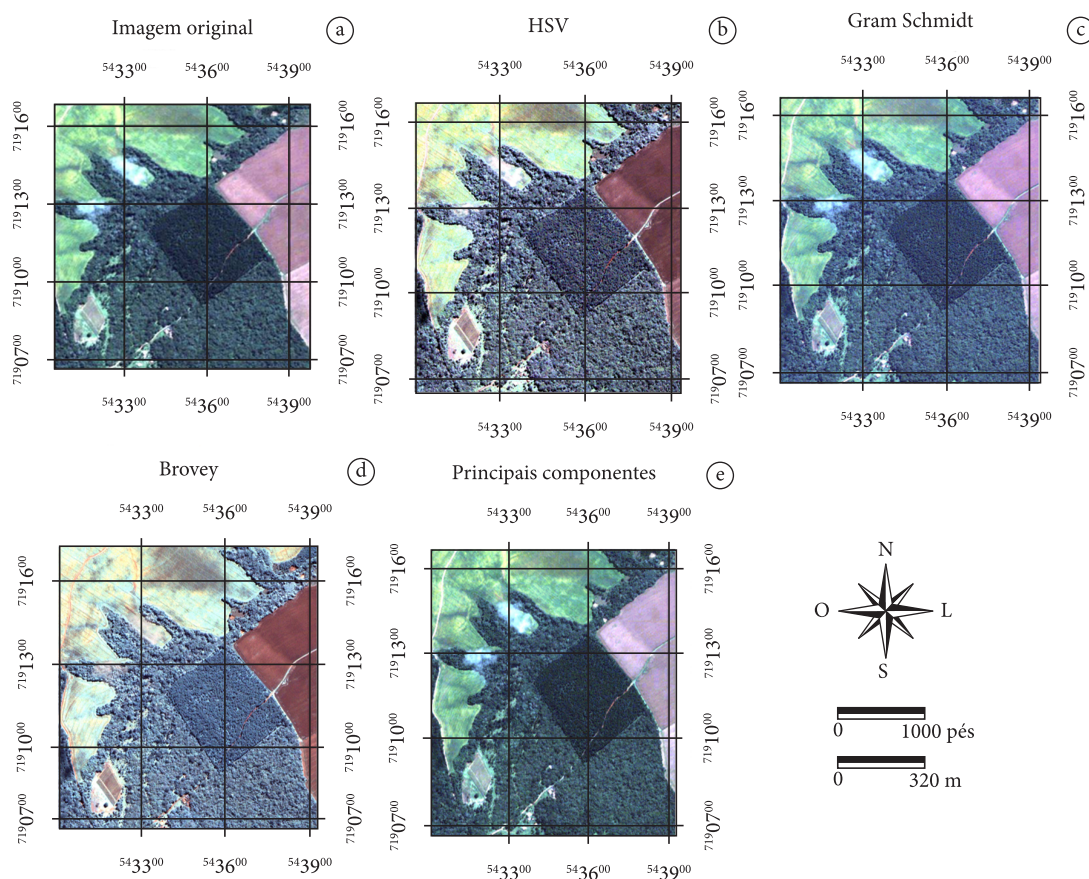
Para analisar o resultado das fusões, foram realizados dois testes, sendo o primeiro uma análise visual entre os resultados das diversas técnicas de fusões utilizadas e a imagem multiespectral original. No segundo teste, foi verificada a fidelidade espectral das imagens fusionadas com relação à imagem multiespectral original. Como as imagens fusionadas possuem resoluções espaciais diferentes em relação à imagem original, não foi possível compará-las diretamente. Sendo assim, a imagem Quickbird-2 (pancromática e multiespectral) teve de ser reamostrada, 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. No presente estudo, a imagem pancromática original foi degradada para resolução de 2,4 m e a multiespectral original para 9,6 m. A fusão entre essas duas imagens gerou uma nova imagem fusionada com resolução de 2,4 m. Para a comparação das imagens, foram utilizadas a média, desvio padrão e correlação entre bandas. Para efeito de comparação entre as bandas da imagem original e das fusionadas, os histogramas de cada imagem foram plotados para melhor visualização.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Podemos analisar na Figura 1 o resultado das técnicas de fusão testadas neste presente trabalho.

Em todas as imagens fusionadas neste presente trabalho, foi possível ver o ganho em detalhes, como estradas mais visíveis e, principalmente, a vegetação ficou com melhor definição.

Após a aplicação das técnicas de fusão na imagem Quickbird-2, os resultados mostraram visualmente melhor conservação de cores em *Principais Componentes* e *Gram-Schmidt*, empregando as 4 bandas multiespectrais (Figura 2b e 2e). Todas as técnicas testadas produziram imagens fusionadas



**Figura 1.** Comparação entre a imagem multiespectral original (a) e as técnicas de fusão testadas.  
**Figure 1.** Comparison between the original multispectral image (a) and fusion techniques tested.

com uma variação de cores bastante significativa em comparação com a imagem original, destacando-se as fusões *HSV* e *Broye* que apresentaram, nas áreas com vegetação, cores variando do verde brilhante até o azul escuro. Nas técnicas que utilizaram três e quatro bandas, verificou-se uma diferença de tonalidade também para as áreas cobertas com vegetação. Nas fusões com três bandas, a cor da vegetação ficou com tom verde mais brilhante.

Estes dois problemas detectados acima são decorrentes da amplitude espectral da imagem pancromática do sensor Quickbird-2, que se estende até o infravermelho próximo, região do espectro onde a vegetação possui resposta muito alta (Pinho et al., 2005). Desta forma, processos de fusão que utilizam as imagens do referido sensor devem incorporar a banda 4 (infravermelho) para que não apresentem grandes mudanças de cores. O

mesmo autor também encontrou que, em relação à conservação de cores, o melhor resultado foi obtido pela técnica de Principais Componentes.

Luz (2009), utilizando o sensor ALOS Palsar, verificou que as fusões pelo método *Gram-Schmidt* apresentaram as cores mais vibrantes, principalmente na operação que utilizou as quatro bandas. O método *Broye* apresentou cores semelhantes ao método *Gram-Schmidt* com quatro bandas, apresentando tons azulados por toda a imagem, o que não pode ser verificado neste trabalho, sendo que as fusões que apresentaram mais semelhanças foram às técnicas de *Gram-Schmidt* e Principais Componentes.

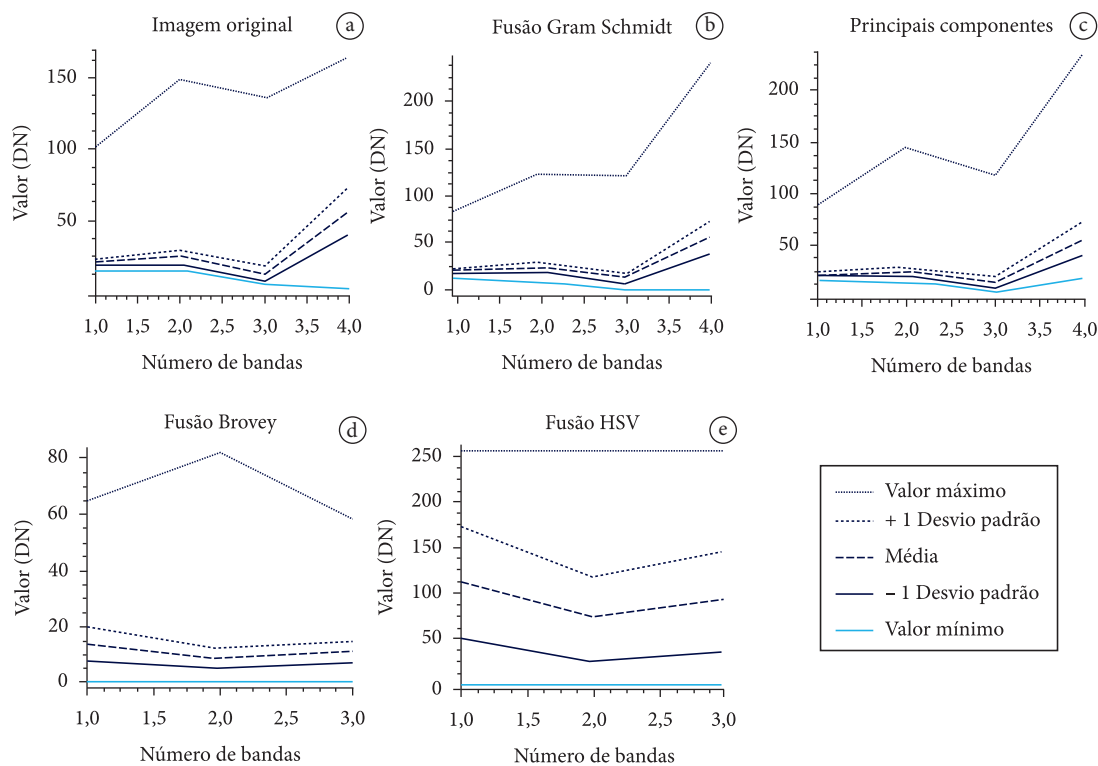
Santurri et al. (2010) estudaram a qualidade das imagens fusionadas para mapear o deslizamento de terra. A avaliação foi feita através de uma escala de detecção baseada em interpretação qualitativa da imagem, com base em cinco níveis de classificação,

sendo: 5 (insuficiente), 4 (mau), 3 (médio), 2 (bom), 1 (excelente) para as classes de textura, cor e contraste. Para estes autores, os métodos de Principais Componentes e o de *Gram-Schmidt* forneceram os melhores resultados no contexto da detecção de deslizamento de terra entre os métodos de fusão testados.

No segundo teste, foi analisada a fidelidade espectral das imagens fusionadas com relação à multiespectral original. Na Tabela 1, são

apresentados os valores de média dos pixels, desvio padrão e correlação para a imagem multiespectral e para as fusões.

Pode-se observar que a média e o desvio padrão do método HSV se mostraram bem diferentes dos valores da imagem original. A média e o desvio padrão estão relacionados com o brilho e contraste da imagem, respectivamente (Luz, 2009). Havendo uma menor variação na média, o brilho é conservado.



**Figura 2.** Histogramas comparando imagem original e imagem simulada.  
**Figure 2.** Histograms comparing the original image and image simulated.

**Tabela 1.** Comparação entre os parâmetros estatísticos da imagem multiespectral original e da sintética simulada.  
**Table 1.** Comparison between statistical parameters of the original multispectral image and the synthetic simulated.

Método	Banda 1			Banda 2			Banda 3			Banda 4			Média
	Média	DP	Cor.	Média	DP	Cor.	Média	DP	Cor.	Média	DP	Cor.	
Orig.	19,7	1,9	1	24,1	4,8	1	12,2	5,4	1	56,3	16,6	1	1,00
HSV	111,4	60,7	0,75	72,8	46,8	0,92	90,6	54,2	0,92	-	-	-	0,92
Brovey	13,5	5,6	0,37	8,4	3,7	0,75	10,6	3,8	0,75	-	-	-	0,75
GS	19,7	1,9	0,92	24,2	4,8	0,92	12,3	5,6	0,93	56,1	16,9	0,39	0,93
PC	19,7	2,0	0,95	24,4	5,1	0,95	12,4	5,8	0,95	56,8	14,5	0,55	0,95

Orig. = imagem original; GS = *Gram Schmidt*; DP = desvio padrão; PC = principais componentes; Cor. = correlação.

Uma menor variação entre os valores de desvio padrão demonstra melhor preservação do contraste da imagem (Pinho et al., 2005). Por outro lado, a técnica de fusão HSV teve alta correlação entre as bandas devido à banda pancromática apresentar um intervalo espectral que engloba o intervalo das três bandas multiespectrais de entrada. Segundo Fuckner (2007), a fusão pela técnica IHS apresenta bons resultados quanto à representação de cores somente quando a imagem pancromática apresenta um intervalo espectral que engloba o intervalo das três bandas multiespectrais de entrada. Apesar de o sistema de cores HSV não ser o mesmo do IHS, o princípio da técnica de fusão é o mesmo. Luz (2009) obteve baixa correlação (0,318) testando esta técnica por utilizar a composição falsa cor devido a banda 4 (infravermelho próximo) englobar apenas uma pequena parte da banda pancromática, sendo que, neste trabalho, esta mesma técnica obteve correlação de 0,92, sendo ligeiramente maior que o resultado obtido por Luz (2009).

Na fusão, a técnica Principais Componentes resultou em uma menor variação entre os valores de desvio padrão, ou seja, preservou-se melhor o contraste da imagem original. Já a técnica de *Gram-Schmidt* forneceu melhores resultados para o valor média, indicando uma conservação do brilho da imagem.

A comparação entre os histogramas (imagem original / imagem simulada) também revelou resultados interessantes como mostra a Figura 2.

Novamente o melhor desempenho foi obtido pelas técnicas Principais Componentes e *Gram-Schmidt*, sendo que a primeira apresentou histogramas mais coerentes com a imagem original.

Com base nos dois testes efetuados, podemos verificar que as técnicas de *Gram-Schmidt* e Principais Componentes se mostraram superiores às demais técnicas (*HSV e Brovey*) testadas neste presente estudo.

#### 4. CONCLUSÕES

Considerando a qualidade visual das imagens fusionadas e, principalmente, devido à melhor conservação das cores, as técnicas de *Gram-Schmidt*

e Principais Componentes forneceram os melhores resultados. Em relação à fidelidade espectral das imagens fusionadas relativas à multiespectral original, a técnica de fusão Principais Componentes preservou melhor o contraste da imagem original, mas a técnica de *Gram-Schmidt* forneceu melhor resultado quanto à conservação do brilho da imagem.

A imagem Quickbird-2 se mostrou eficiente para a identificação de alvos, sendo as técnicas de Principais Componentes e *Gram-Schmidt* ligeiramente superiores às demais técnicas testadas.

Recomenda-se testar novas técnicas de fusão e a utilização de outros sensores como Worldview-2 e Geoeye, inserindo novos tipos de alvos como áreas urbanas, reflorestamentos, corpos de água, etc.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); à Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná (UNICENTRO); o suporte técnico à SULSOFT; e ao Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho a aquisição da imagem, que, juntamente, contribuíram para a realização deste projeto.

#### STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 02/12/2010

Aceito: 20/06/2011

Resumo publicado online: 25/06/2011

Artigo completo publicado: 30/06/2011

#### AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

##### Vagner Alex Pesck

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, PR-153, Km 7, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati, PR, Brazil  
e-mail: vagneralex@yahoo.com.br

##### Attilio Antonio Disperati (*in memoriam*)

Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, PR-153, Km 7, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati, PR, Brazil  
e-mail: disperati@avalon.sul.com.br

## REFERÊNCIAS

- Carper WJ, Lillesand TM, Kiefer, RW. The use of intensity- hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1990; 56:459-467.
- Chavez Junior PS, Sides SC, Anderson JA. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1991; 57(3):295-303.
- Couloigner I, Ranchin T, Valtonen VP, Wald L. Benefit of the future SPOT-5 and of data fusion to urban road mapping. *International Journal of Remote Sensing* 1998; 19(8):1519-1532. <http://dx.doi.org/10.1080/014311698215324>
- Edwards K, Davis PA. The use of Intensity-Hue-Saturation transformation for producing color shaded-relief images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1994; 60(11):1369-1374.
- Fanelli A, Leo A, Ferri M. Remote sensing images data fusion: A wavelet transform approach for urban analysis. In: *Proceedings of the Joint IEEE/ISPRS Workshop Remote Sens. Data Fusion Over Urban Areas*; 2001; Rome. Rome: University of Rome; 2001. p. 112-116.
- Fuckner MA, Rosa VGC, Rosembach R. Análise comparativa da aplicação de transformações radiométricas e técnicas de fusão de imagens em área urbana. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*; 2007; Florianópolis. São José dos Campos: INPE; 2007. p. 6343-6350.
- Gillespie AR, Kahle AB, Walker RE. Color enhancement of highly correlated images—II. Channel ratio and 'chromaticity' transformation techniques, *Remote Sensing of Environment* 1987; 22(3): 343–365.
- González Audicana M, Seco A. Fusion of multispectral and panchromatic images using wavelet transform. Evaluation of crop classification accuracy. In: *Proceedings of the XXII EARSeL Annual Symposium "Geoinformation for European-wide integration"*; 2003; Prague, Czech Republic. Prague ; 2003. p. 265-272.
- Liu JG. Smoothing filter-based intensity modulation: A spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *International Journal of Remote Sensing* 2000; 21(18):3461-3472. <http://dx.doi.org/10.1080/014311600750037499>
- Luz J. *Imagens Alos para o Mapeamento da Vegetação Arbórea e Outros Usos do Solo em Área de Floresta Ombrófila Mista* [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2009.121 p.
- Nuñez JR. *Segmentação automática e classificação em vídeos esportivos* [dissertação]. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná; 2006. 178 p.
- Pinho CMD, Rennó CD, Kux HJH. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*; 2005; Goiânia, Brasil. RBC; 2005. p. 4225-4232.
- Pohl C, van Genderen JL. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing* 1998; 19:823-854. <http://dx.doi.org/10.1080/014311698215748>
- Research Systems Inc. – RSI. *Tutorial Envi FX: Classificação por regras-segmentação orientada ao objeto*; 2009. 15 p.
- Schneider MJ, Bellon ORP, Araki H. Experimentos em fusão de imagens de alta resolução. *Boletim de Ciências Geodésicas* 9(1):75-88, 2003.
- Schowengerdt RA. Spectral Transforms. In: Schowengerdt RA. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. London: Academic Press; 1997. 522 p.
- Santurri L, Carlà R, Fiorucci F, Aiazzi B, Baronti S, Cardinali M, Mondini A. Assessment of very high resolution satellite data fusion techniques for landslide recognition. In: Wagner W, Székely B, editor. *ISPRS TC VII Symposium – 100 Years*. ISPR: Viena; 2010.
- Smith JO. Gram-Schmidt Orthogonalization. In: Smith JO. *Mathematics of discrete Forier transforms (DTF), with Audio Applications*; [online]. 2007. [cited 2011]. Available from: [https://ccrma.stanford.edu/~jos/dft/Gram\\_Schmidt\\_Orthogonalization.html#11780](https://ccrma.stanford.edu/~jos/dft/Gram_Schmidt_Orthogonalization.html#11780)
- Tu T-M, Su S-C, Shyu H-C, Huang PS. A new look at IHS-like image fusion methods. *Information Fusion* 2001; 2:177-186. [http://dx.doi.org/10.1016/S1566-2535\(01\)00036-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1566-2535(01)00036-7)
- Ventura FN. *Fusão de imagens de sensores remotos utilizando a transformação wavelet* [dissertação]. São José dos Campos: Instituto Nacional de pesquisas Espaciais; 2002.
- Vrabel J. Multispectral imagery band sharpening study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1996; 62(9): 1075-1083.
- Wang Z, Ziou D, Armenakis C, Li D, Li Q. A comparative analysis of image fusion methods. *IEEE Transactions On*

---

*Geoscience And Remote Sensing* 2005; 43(6):1391-1402.  
<http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2005.846874>

Yang W, Cauneau F, Paris J-P, Ranchin T. Influence of landscape changes on the results of the fusion of P and XS images by different methods. In: *Proceedings III Conference Fusion of Earth Data: Merging Point Measurements, Raster Maps Remotely Sensed Images*; 2000; Sophia Antipolis. European Association of Remote Sensing Laboratories; 2000. 47-56.

Zhang Y. Problems in the fusion of commercial highresolution satellite images as well as Landsat 7 images and initial solutions. In: *Geospatial Theory, Processing and Applications: Proceedings of the ISPRS Commission IV Symp*; 2002; Ottawa. Ottawa: Canadian Institute of Geomatics; 2002.

Zhang Y. Understanding image fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 2004; 70(6):657-661.