

## Aplicação e avaliação de técnicas de fusão em imagens Ikonos e GeoEye

Silvia Palotti Polizel<sup>1</sup>  
Mara Lucia Marques<sup>1</sup>  
Natália Rezende Costa<sup>1</sup>  
Efigênia Rossi<sup>1</sup>  
Mateus Vidotti Ferreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista – IGCE/UNESP  
Cx. Postal 178 – CEP: 13506-900 – Rio claro – SP, Brasil  
silviapolizel@yahoo.com.br, maralucia.marques@hotmail.com, {natyrc,  
efigenia}@rc.unesp.br, mateusvidotti@yahoo.com.br

**Abstract.** Among the techniques of digital image processing, fusion appears as an important tool as it enhances the spatial resolution of images, preserving their spectral characteristics. This technique is characterized by applying a set of methods and tools to a series of data in order to obtain more qualitative information. To improve the identification of targets in the study area, located in the municipality of Duque de Caxias (RJ), four fusion techniques were chosen to be tested in Ikonos image, with a four multispectral bands and spatial resolution of 4 m and other panchromatic resolution of 1 m and GeoEye image, with a four multispectral bands and spatial resolution of 1.65 m and another panchromatic resolution of 0.41 m. The results were analyzed using qualitative and quantitative criteria. Qualitative analysis was based on the ability to transfer details and correspondence between the colors of the original and fused images, while quantitative analysis evaluated the correlation between the spectral values of these images. According to the results and considering the limitations of each fusion techniques, we recommend the use of principal component methods and Gram-Schmidt to the Ikonos image and the Gram-Schmidt method for GeoEye image by operating with more than three bands and maintain the radiometric resolution of the original images (11 bits).

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, pan-sharpening, Ikonos, GeoEye, sensoriamento remoto, processamento de imagens, fusão de imagens, Ikonos, GeoEye.

### 1. Introdução

Neste trabalho, realizado no município de Duque de Caxias (RJ), foram utilizadas imagens Ikonos, com quatro bandas multiespectrais com resolução espacial de 4 m e uma banda pancromática com resolução de 1 m e GeoEye, também com quatro bandas multiespectrais, com resolução espacial de 1,65 m e outra pancromática com resolução de 0,41 m. As técnicas de fusão foram empregadas para melhorar a identificação e distinção dos alvos na área de estudo, bem como para refinar a resolução espacial das imagens, conservando também as características espectrais. Com o intuito de selecionar a melhor técnica para solucionar as proposições acima, as técnicas de fusão IHS, Brovey, Gram-Schmidt e Principais Componentes foram testadas em ambas as imagens e os seus desempenhos foram avaliados.

### 2. Fusão de Imagens

A fusão pode ser definida genericamente pela aplicação de um conjunto de métodos e ferramentas a uma série de dados de diferentes naturezas a fim de se obter informações de maior qualidade (MANGOLINI, 1994 *apud* WALD, 1999).

Tendo em vista o fato de que as imagens pancromáticas possuem uma melhor resolução espacial quando comparadas às imagens multiespectrais e que estas últimas possuem melhor resolução espectral, a técnica de fusão é um meio eficiente e econômico para se conseguir imagens com alta resolução espacial, bem como essencial informação espectral (KALPOMA; KUDOH, 2007).

Por possuírem informações detalhadas, segundo Kalpoma e Kudoh (2007), as imagens provenientes do processo de fusão podem ser utilizadas em diversas áreas. Nas geociências,

para as técnicas de classificação, detecção de mudanças, atualização de mapas e monitoramento de riscos; na defesa nacional de territórios, para a detecção de alvos e rastreamento; e na medicina para o diagnóstico e tratamentos, como também na modelagem do corpo humano.

## 2.1 Técnicas de Fusão

Existem diversos métodos para a fusão de imagem que utilizam diferentes algoritmos. O emprego destes depende da natureza dos dados originais e da finalidade da aplicação do produto. Vale salientar que anteriormente à aplicação dos mesmos torna-se necessário a realização do registro de imagens entre as bandas multiespectrais e a pancromática para que o tamanho do pixel seja reamostrado para o da imagem pancromática de alta resolução espacial (SCHOTT, 1997). Alguns destes métodos são IHS, *Brovey*, Principais componentes (PC) e *Gram-Schmidt* (GS), os quais serão descritos a seguir.

### 2.2.1 IHS

O método IHS é baseado na transformação do espaço RGB - *Red* (vermelho), *Green* (verde) e *Blue* (azul) no espaço IHS - *Intensity* (intensidade), *Hue* (matiz) e *Saturation* (saturação). O IHS é amplamente utilizado por ser considerado eficiente e de fácil implementação, entretanto possui a limitação de processar apenas três bandas por vez e a imagem de saída limita-se a uma resolução radiométrica de 8 bits devido ao sistema de cores RGB (SCHOTT, 1997; PINHO *et. al.* 2005).

Essa transformação de espaços no âmbito visual/perceptivo possibilita a substituição do valor da intensidade das imagens multiespectrais pelo valor da imagem pancromática. O resultado gerado poderá ser revertido para o espaço RGB e apresentará melhor resolução espacial do que as imagens multiespectrais originais (SCHOTT, 1997).

### 2.2.2 Transformação *Brovey* ou Normalização de Cores.

É um método simples que conserva a contribuição espectral de cada pixel da imagem original, porém substitui o valor do brilho pelo da imagem pancromática (KALPOMA; KUDOH, 2007). De acordo com Vrabel (2000), essa substituição ocorre por meio de um algoritmo aplicado pixel a pixel na imagem original, como visualizado na equação 1.

$$CN_i = \frac{((MS + 1,0) * (PAN + 1,0) * 3,0) - 1,0}{\sum I MS + 3,0} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: CN = banda de saída com a cor normalizada; MS = banda multiespectral; e PAN = banda pancromática.

O algoritmo da equação 1 separa o espaço espectral das três bandas MS em seus componentes matiz e brilho. Além disso, multiplica cada uma das três bandas MS pela imagem pancromática que possui maior resolução espacial e esses resultados são normalizados por meio da divisão da soma total das três bandas MS. Vale salientar que os valores constantes na equação são inseridos para garantir que não ocorra divisão por zero (HALLADA; COX, 1983 *apud* VRABEL, 2000).

As limitações encontradas nesse método são iguais às do método IHS, já que o *Brovey* utiliza o espaço RGB de cores (ERDAS, 1999; PINHO, 2005).

### 2.2.3 Principais componentes (PC)

Principais Componentes têm por intuito verificar as correlações entre determinado número de imagens brutas e a geração de um mesmo número de imagens novas não-correlacionadas entre si. No decorrer deste procedimento, a primeira componente principal (PC1) irá abarcar a informação que é comum a todas as bandas originais e assim

sucessivamente, até que a última componente principal contenha as informações que restaram das demais PCs (CROSTA, 1992).

A banda referente à PC1 é substituída pela banda pancromática, a qual tem sua resolução reamostrada para adequar-se a primeira componente principal, de modo a impedir as distorções na informação espectral. Então uma transformação inversa é efetuada e, automaticamente, o dado multiespectral é reamostrado para o tamanho de pixel de alta resolução (RSI, 2009; SCHOWENGERDT, 1997; CHAVEZ et. al., 1991).

### 2.2.4 Gram-Schmidt (GS)

A transformação Gram-Schmidt (GS) é uma técnica comumente utilizada em álgebra linear e estatística multivariada. Baseia-se em rotações e translações do conjunto original de atributos. Neste método, uma banda PAN com baixa resolução espacial é simulada, através de duas etapas: (1) as bandas multiespectrais de baixa resolução são combinadas em uma única, simulando a banda PAN de baixa resolução e (2) a simulação da banda PAN de baixa resolução envolve a participação da banda PAN com alta resolução. Nesta segunda etapa, a banda PAN de alta resolução, através de um fator apropriado, é desfocada, sub-amostrada e interpolada até atingir a resolução apropriada (LABEN et. al., 2000).

A simulação da banda PAN com baixa resolução é então usada como a primeira banda dos dados multiespectrais de baixa resolução, a qual deve ser a entrada para a banda multiespectral original para que ocorra a transformação GS (LABEN et. al., 2000). Na seqüência, de acordo com RSI (2009), a banda pancromática de alta resolução espacial é substituída pela primeira banda Gram-Schmidt. Por fim, a transformação inversa Gram-Schmidt é, então aplicada, para formar a banda espectral fusionada.

## 3. Metodologia de Trabalho

Para a comparação entre as técnicas de fusão, foram escolhidos os métodos IHS, *Brovey*, Principais Componentes e *Gram-Schmidt*, sendo que os processamentos foram realizados no software Envi 4.7 para duas imagens de 11 bits: Ikonos e GeoEye. Em todos os testes realizados a banda pancromática foi fusionada com as bandas multiespectrais do mesmo sensor. A tabela 1 apresenta as principais características das imagens utilizadas e as figuras 1 e 2 ilustram as faixas espectrais de cada banda específica.

Tabela 1 . Descrição das características dos sistemas/sensores Ikonos e GeoEye.

Sistema/Sensor	Bandas	Intervalo do comprimento de onda (nm)	Resolução Espacial (m)	Data da Imagem
Ikonos	1 (azul) 2 (verde) 3 (vermelho) 4(infravermelho próximo)	445 – 516 506 – 595 632 – 698 757 – 853	4	Fevereiro de 2002
	Pancromática	526 - 929	1	
GeoEye	1 (azul) 2 (verde) 3 (vermelho) 4(infravermelho próximo)	450 – 510 510 – 580 655 – 690 780 - 920	1,65	Janeiro de 2010
	Pancromática	450 – 800	0,41	

Fonte: GeoEye (2010).

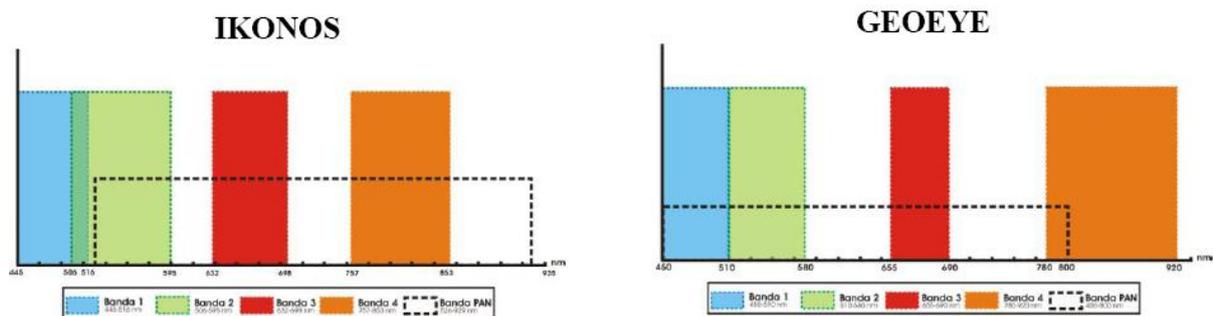


Figura 1. Faixa espectral e comprimento de onda das bandas dos sistemas Ikonos e GeoEye.

A cena escolhida para ambas as imagens corresponde a uma parte da área de estudo, onde podem ser observados diversos tipos de feições tais como erosão, solo exposto, área urbana, vegetação densa e vegetação esparsa. Desse modo a comparação entre os diversos métodos pode ser realizada sobre as feições de interesse, a fim de facilitar os trabalhos de classificação e interpretação visual das imagens. A Figura 2 ilustra a cena escolhida para a aplicação dos testes de fusão.

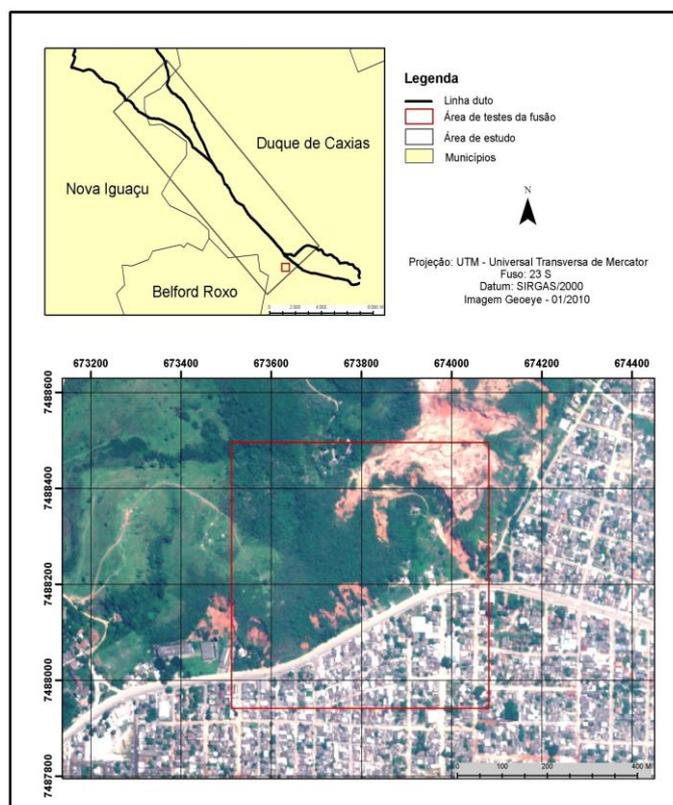


Figura 2. Localização da área de aplicação das técnicas de fusão.

As técnicas de fusão foram processadas de modo que se empregassem todos os recursos disponíveis (tanto do método em si, como do software) para a obtenção do melhor resultado possível. Nos métodos IHS e *Brovay* só foi possível trabalhar com três bandas, dessa forma, optou-se por utilizar as bandas correspondentes ao espectro visível (bandas 1, 2 e 3) para realizar a fusão com a pancromática, resultando em imagens sintéticas cuja resolução radiométrica não é superior a oito bits.

Já, no caso das técnicas Principais Componentes e *Gram-Schmitd*, que não possuem limitação do número de bandas a serem utilizadas no processamento, foram empregadas as quatro bandas multiespectrais para realizar a fusão. Na aplicação do método GS, o Envi 4.7

oferece o recurso de desempenhar o processamento a partir de modelos prévios do sensor (no caso, Ikonos e GeoEye), refinando ainda mais o resultado final.

#### 4. Resultados e Discussão

As técnicas de fusão foram avaliadas seguindo critérios qualitativos baseados na análise visual das imagens fusionadas, ponderou-se a capacidade de transferência de detalhes e a correspondência entre as cores das imagens originais e as fusionadas. Segundo Li (2000), esse critério de avaliação, apenas visual, é um processo subjetivo e o resultado pode variar dependendo do intérprete, de todo modo, permite avaliar de forma geral o resultado da fusão e identificar distorções que alterem significativamente a qualidade visual entre as duas imagens.

O quadro 1 descreve, resumidamente, as vantagens e desvantagens de cada método de fusão utilizado.

Quadro 1. Comparação entre os métodos de fusão IHS, Brovey, PC e GS

MÉTODOS	VANTAGENS	DESvantagens
IHS	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Método considerado bastante eficiente;</li> <li>✓ Melhoria significativa da resolução espacial na imagem gerada;</li> <li>✓ Facilidade de implementação;</li> <li>✓ Amplamente difundido e utilizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Número de bandas que podem ser utilizadas limita-se a três;</li> <li>✓ A imagem gerada possui resolução radiométrica de apenas oito bits;</li> <li>✓ Distorção das cores pela variação que ocorre no matiz (hue).</li> </ul>
BROVEY	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gera imagens que apresentam maior contraste;</li> <li>✓ Preserva a contribuição espectral de cada pixel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Número de bandas que podem ser utilizadas limita-se a três;</li> <li>✓ A imagem gerada possui resolução radiométrica de apenas oito bits;</li> </ul>
PRINCIPAIS COMPONENTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não possui limitação no número de bandas que pode ser utilizado;</li> <li>✓ Adequado no tratamento de imagens de sensores que possui um alto número de bandas;</li> <li>✓ Mantém a resolução radiométrica original.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A cobertura da banda pancromática sobre as demais bandas interfere significativamente no resultado final.</li> </ul>
GRAM – SCHMIDT	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não possui limitação no número de bandas que pode ser utilizado;</li> <li>✓ Mantém a resolução radiométrica original;</li> <li>✓ É um método mais preciso, pois usa a resposta espectral de um sensor para estimar o que os dados da pancromática aparentam.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A cobertura da banda pancromática sobre as demais bandas interfere significativamente no resultado final.</li> </ul>

As imagens Ikonos e GeoEye com composição colorida das bandas multiespectrais do visível, apresentadas nos quadros 2 e 3, permitem a comparação entre as imagens originais utilizadas para realizar as fusões e as imagens resultantes da aplicação das técnicas de fusão.

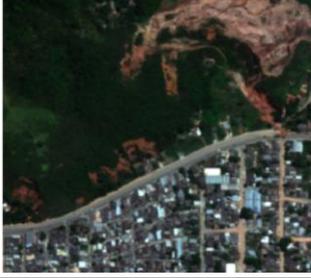
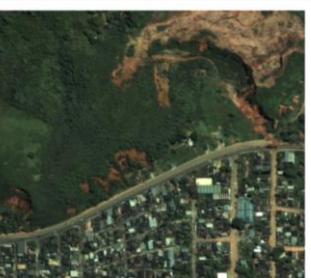
A partir da avaliação visual dos resultados é possível afirmar, em termos geométricos, que todos os produtos foram satisfatórios, com exceção da fusão da imagem GeoEye pelo método dos Principais Componentes.

Estes produtos foram avaliados quantitativamente, em termos espectrais, através dos valores de correlação, das bandas do visível, entre as imagens originais e os produtos gerados (tabela 2). Estes demonstram que não ocorre uma variação estatística significativa dos valores espectrais. Destaca-se que para a imagem Ikonos o método GS obteve um valor superior de correlação (0,612), contudo para a imagem GeoEye a maior correlação obtida foi pelo método IHS, com valor de 0,805.

Tabela 2. - Valores de médios da correlação entre as imagens originais e os produtos da fusão.

Método	Correlação Média	
	IKONOS	GEOEYE
IHS	0,577	0,805
BROVEY	0,511	0,762
PRINCIPAIS COMPONENTES	0,519	0,783
GRAM-SCHMIDT	0,612	0,762

Quadro 2. Comparação das imagens resultantes da aplicação das técnicas de fusão.

Métodos	Ikonos	Geoeye
Multiespectral		
IHS		
Brovey		
Gram-Schmidt		
Principais Componentes		

Quadro 3. Comparação com detalhe das imagens resultantes da aplicação das técnicas de fusão.

Métodos	Ikonos	Geoeye
Multiespectral		
IHS		
Brovey		
Gram-Schmidt		
Principais Componentes		

## 5. Conclusões

Neste artigo, foram avaliadas quatro técnicas de fusão quanto à capacidade de conservação do conteúdo espectral e transferência de detalhes com objetivo de escolher a mais adequada para uma cena Ikonos e GeoEye do município de Duque de Caxias - RJ. De acordo com os resultados obtidos recomenda-se a utilização dos métodos Principais Componentes e Gram-Schmidt para a imagem Ikonos e o método Gram-Schmidt para a imagem GeoEye, por operarem com mais de três bandas e manter a resolução radiométrica das imagens originais (11 bits).

## Agradecimentos

Ao CNPq e ao CENPES/PETROBRÁS, pelo apoio.

## Referências

- Chavez, P. S., Sides, S. C., and Anderson, J. A. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data Landsat TM and SPOT Panchromatic. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 57, p. 295 - 303, 1991.
- Crosta A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992, 170p.
- Jensen, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996, 318 p.
- Kalpoma, K.A.; Kudoh, J. Image Fusion Processing for IKONOS 1-m Color Imagery. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, Michigan, v.45, n.10, p.3075-3086, 2007.
- Laben, C. A., Brower, B. V. Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening. United States Eastman Kodak Company (Rochester, NY), **US Patent** 6011875, p. 1 - 9, 2000.
- Leonardi, R.; Oliveira, C. G. de; Fonseca, L. M. G.; Almeida, C. M. de. Fusão de Imagens CBERS 2B: CCD-HRC. **Anais ... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6951-6958. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.12.28/doc/6951-6958.pdf>> . Acesso em: 04 jun. 2010.
- Li, J. Spatial quality evaluation of fusion of different resolution images. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)**. v. 33, p. 339 - 346. Amsterdam, 2000.
- Mather, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: An introduction**. Chichester: John Wiley & Sons, 1999, 292 p.
- Pinho, C. M. D. de; Rennó, C. D.; Kux, H. J. H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. **Anais ... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4225-4232. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <[http://www.dsr.inpe.br/geu/Congressos\\_Simposios%20Nacionais/Carolina\\_XII%20SBSR\\_Fusao.pdf](http://www.dsr.inpe.br/geu/Congressos_Simposios%20Nacionais/Carolina_XII%20SBSR_Fusao.pdf)> . Acesso em: 04 jun. 2010.
- Schott, J.R. **Remote sensing: the image chain approach**. Nova Iorque: Oxford University Press, 1997, 394 p.
- Schowengerdt, R. A. **Remote Sensing**. San Diego: Academic Press, 1997, 522 p.
- Vrabel, J. Multispectral imagery advanced band sharpening study. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Michigan, v.66, n.1, p.73-79, 2000.
- Wald, L. Some terms of reference in data fusion. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, Michigan, v.37, n. 3, p.1190-1193, 1999.