

## Avaliação das técnicas de fusão disponíveis nos softwares ArcGis, Erdas e ENVI

Fernanda Rocha Lourenço<sup>1</sup>  
Ieda Del'Arco Sanches<sup>1</sup>  
André Luiz dos Santos Furtado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Monitoramento por Satélite  
Av. Soldado Passarinho, 303 - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil  
{ferlourengo, ieda, andre}@cnpm.embrapa.br

**Abstract.** This paper aims to compare hybrid images of Landsat-5 TM and CBERS-2B HRC obtained using different fusion methods available in three commercially softwares: ArcGIS 9.2, ENVI 4.5 and ERDAS 10 by qualitative and quantitative analyzing four features (water, urban area, bare soil and vegetation) in the hybrid images. The proposed methodology was to analyze the sharpness, noise, color, texture and object edge of the hybrid images, and the correlation coefficient and Euclidean distance between the multispectral image and the hybrid images. Based in these analysis it was possible to infer which fusion method and software performed better for each one of the four features analyzed.

**Palavras-chave:** data fusion techniques, land cover, remote sensing, softwares, técnicas de fusão de imagem, cobertura do solo, sensoriamento remoto, softwares.

### 1. Introdução

Com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto, o mapeamento de áreas da superfície terrestre tornou-se cada vez mais preciso. Entretanto, os produtos de alta resolução (espectral e espacial) ainda são onerosos e pouco acessíveis à maioria dos usuários de sensoriamento remoto. Desta forma, um procedimento muito utilizado para melhorar a resolução espacial das imagens orbitais de forma a facilitar sua interpretação é a fusão de imagens.

A fusão de imagens visa à geração de uma imagem híbrida a partir de imagens multiespectrais com pancromáticas para a extração de informação de maior qualidade visual (Schneider et al., 2003) e a melhoria da resolução espacial e a manutenção de alguma similaridade entre as imagens trabalhadas. Segundo Cliche et al. (1985), um método de fusão eficiente é caracterizado por preservar ao máximo as informações da imagem original e incorporar a informação espacial da banda pancromática para o produto híbrido (nova imagem).

Diversas publicações têm focado nas técnicas de fusionamento de imagens pancromáticas de alta resolução com dados de imagens multiespectrais de baixa ou média resolução para a obtenção de imagens híbridas com multibandas de alta resolução, mantendo as características dos dados de baixa ou média resolução espacial.

O problema mais significativo observado no emprego desta técnica é que a imagem fusionada geralmente tem um desvio notável na aparência visual e também nos valores espectrais da imagem multiespectral (Ehlers, 2004; Klonus & Ehlers, 2007). Estes desvios, chamados de distorção de cor, afetam a interpretação especialmente quando o comprimento de onda do intervalo de uma imagem pancromática não corresponde ao da imagem multiespectral empregada, além de distorções significativas entre os dados multitemporais.

Desta forma, realizar uma avaliação das técnicas de fusão presentes nos softwares comerciais é útil, para se ter um comparativo de desempenho destes, frente às técnicas de fusão disponíveis em cada um e o respectivo resultado, as imagens híbridas.

Neste contexto, esse trabalho objetivou avaliar os diferentes métodos de fusão disponíveis nos softwares ArcGis versão 9.2, ENVI versão 4.5 e ERDAS versão 10, na integração das

informações de uma imagem pancromática de alta resolução espacial com uma imagem multiespectral de média resolução espacial.

## 2. Metodologia de Trabalho

Para a fusão das imagens foram utilizadas 1 cena (002/068) Landsat-5 TM (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) de 30 m de resolução espacial, de 18/08/2008 e 1 cena (180\_C/112\_5) CBERS-2B HRC de 2,7 m de resolução espacial, de 05/08/2008. A área de estudo corresponde à região sudeste do Estado do Acre, nas proximidades do município de Epiaciolândia.

Para se avaliar as técnicas de fusão foram estruturadas as seguintes etapas: pré-processamento; fusão das imagens; escolha de amostras para as avaliações estatísticas; avaliação visual; e avaliação estatística.

### 2.1 Pré-processamento

Na etapa de pré-processamento foi realizado o registro da imagem TM e da imagem HRC, a partir do mosaico Geocover 2000; em seguida foi realizada a reamostragem do tamanho do pixel da imagem multiespectral de 30m para 2,7m, de tal forma que a imagem multiespectral esteja reamostrada para a mesma resolução da pancromática antes da aplicação das técnicas de fusão. Este processo de reamostragem é importante para a realização das análises quantitativas da imagem multiespectral, uma vez que não é possível fazer essa comparação entre imagens com resoluções espaciais diferentes (Pinho et al., 2005).

Posteriormente, foi feito o recorte da Landsat-5 TM pelo tamanho da cena CBERS-2B HRC. O software utilizado para o pré-processamento foi o ERDAS 10. A imagem TM e HRC foram reprojadas para o sistema de coordenadas UTM Zona 19S e Datum SAD 69. Na imagem multiespectral foi utilizada a composição colorida R(5), G(4), B(3), para uniformizar e agilizar a execução das técnicas de fusão. Esta composição foi escolhida por facilitar a interpretação visual, mostrando claramente os limites entre solo e água, a vegetação aparece em tonalidades de verde e o solo em tons de rosa.

### 2.2 Fusão

Os métodos de fusão executadas nos softwares ERDAS 9.3, ENVI 4.5 e ArcGis 9.2 são apresentados na Tabela 1.

Os procedimentos de fusão foram realizados com dois tipos de métodos de interpolação (vizinho mais próximo e bilinear) através da imagem TM reamostrada para a resolução de 2,7m. O método de interpolação bilinear (2,7m) não foi possível de ser executado nos softwares Erdas e ArcGis, e algumas técnicas de fusão (HPF, CN Spectral Sharpening, Subtractive Resolution Merge) não foram possíveis de serem executadas por limitações dos softwares ou eram inapropriadas para as de imagens utilizadas neste estudo.

Tabela 1. Métodos de fusão de imagens por software.

Técnicas de Fusão	Softwares		
	ArcGis 9.2	ENVI 4.5	ERDAS 10
IHS Transformation (IHS)	X		
Brovey Transformation (Brovey)	X	X	X
ESRI Transformation (ESRI)	X		
Simple Mean Transformation (Simple)	X		
HSV		X	
Gram-Schmidt Spectral Sharpening (Gram)		X	
Principal Component Spectral Sharpening (PC)		X	X
Modified IHS Resolution Merge (HIS)			X
Wavelet Resolution Merge (Wavelet)			X
Resolution Merge Multiplicative (RESMERGE)			X

### 2.3 Amostras

Foram coletadas 10 amostras de cada classe (Água, Área Urbana, Solo Exposto e Vegetação) identificadas na imagem TM, de forma aleatória, com o intuito de representar de forma homogênea os valores espectrais do pixel de cada classe, na composição RGB (543).

### 2.4. Avaliação Qualitativa Visual

Dois procedimentos podem ser adotados para a avaliação por atributos e avaliação por variáveis (Paladini, 1990). O procedimento adotado foi à avaliação por atributos, onde foi confeccionada uma matriz de qualidade.

Os critérios avaliados na matriz de qualidade para as imagens sintéticas resultantes são os mesmos adotados para a avaliação de imagens digitais, os quais são: Nitidez, Ruído, Cores, Textura e Borda do Objeto (Moik, 1980). Foi analisado comparativamente cada feição (água, área urbana, solo exposto e vegetação) da imagem sintética com as imagens TM e HRC. Os critérios comparados entre as imagens híbridas e a TM foram tons de cor, ruído e borda e os critérios comparativos entre as imagens fusionadas e HRC foram nitidez e textura.

A escala empregada para a avaliação da qualidade visual compreende valores inteiros iguais a 1, 2, 3, 4 e 5, correspondendo às classes de qualidade visual baixa, média baixa, média, média alta e alta, respectivamente, o resultado final avaliado corresponde a somatória desta escala empregada. O critério utilizado para a atribuição de valores (pesos) para as classes foi o mesmo empregado por Griffith (1979).

### 2.5 Avaliação Quantitativa

Com a aplicação da reamostragem para 2,7m foi possível medir a capacidade de transferência das informações espectrais das técnicas de fusão executadas por cada *software* onde foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson (CC) entre a imagem TM e as imagens híbridas, que tem como objetivo mostrar o grau de similaridade das pequenas estruturas na imagem (Wald, 1997). O CC é representado de acordo com Equação 1 abaixo:

$$CC = \frac{n\sum(xy) - (\sum x) \times (\sum y)}{\sqrt{\left[ n \times \sum x^2 - (\sum x)^2 \right] \times \left[ n \sum y^2 - (\sum y)^2 \right]}} \quad (1)$$

Onde  $CC$  é o coeficiente gerado,  $x$  equivale aos pixels da imagem TM reamostrada para 2,7m,  $y$  aos pixels da imagem sintética e  $n$  é o número de pares de observações.

Outro método usado para avaliar e validar o resultado final foi a Distância Euclidiana Média (D) que tem como finalidade medir a variação de cor decorrente do processo. Esta medida foi realizada através da distância euclidiana média entre os vetores  $n$ -dimensionais (composição dos níveis de cinza de um mesmo pixel para um conjunto de  $n$  bandas espectrais) da imagem multiespectral original e da imagem sintética simulada, sendo definida pela seguinte Equação 2 (Pinho et al., 2005):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{\sum_{k=1}^B \left( NC_{(i,k)}^O - NC_{(i,k)}^S \right)^2}}{N} \quad (2)$$

Onde  $NC_{(i,k)}^O$  é o nível de cinza do pixel na imagem original e  $NC_{(i,k)}^S$  é o valor de nível de cinza correspondente na imagem sintética simulada.  $N$  é o número de pixels e  $k$

corresponde ao número de bandas espectrais. Quanto menor for a distância calculada, maior será a fidelidade espectral da imagem sintética.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Avaliação Qualitativa Visual

A avaliação visual é uma etapa importante para a extração de informações presentes no raster, como por exemplo, detectar, distinguir e/ou identificar tipos de classes. Naturalmente, deve haver suficiente contraste espacial entre os objetos de interesse e o fundo, ou seja, uma boa distinção entre os objetos em relação ao seu tamanho e forma (Jensen & Cowen 1999). Desta forma, para se ter uma interpretação visual com um melhor grau de confiabilidade requer do usuário conhecimentos prévios de vários fatores sobre as características das imagens utilizadas e, mais importante, requerem conhecimentos de interpretação de objetos/feições no terreno.

Os resultados desta avaliação que obtiveram melhor conservação de cores, nitidez, menor ruído e melhor diferenciação de borda dos objetos foram respectivamente a fusão *Modified IHS Resolution Merge* (método de reamostragem bilinear) e a fusão *Modified IHS Resolution Merge* (método de reamostragem vizinho mais próximo), ambas realizadas no software ERDAS 10, empregando a composição RGB de 3 bandas multiespectrais (543) (Figura 1).

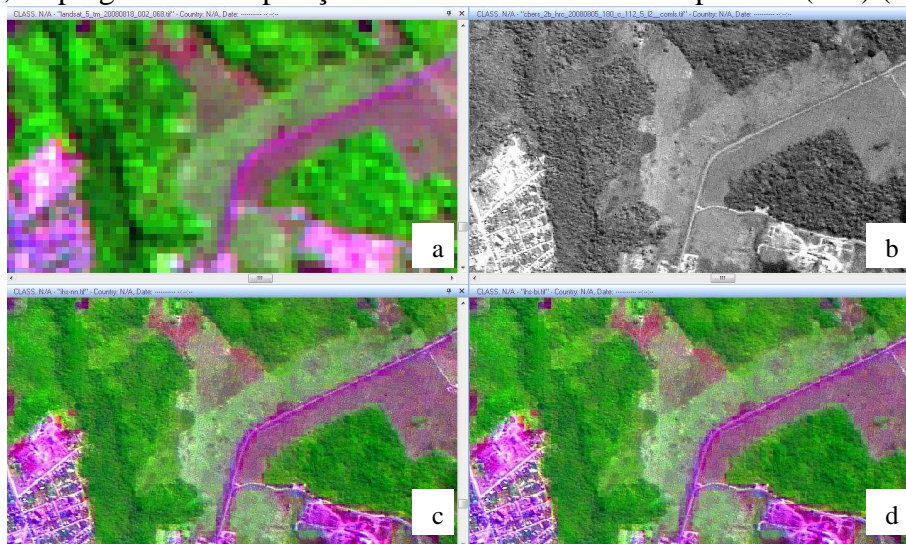


Figura 1. (a) Imagem Landsat 5 - TM, (b) Imagem CBERS 2B HRC, (c) Imagem Híbrida *Modified IHS Resolution Merge* (método de reamostragem vizinho mais próximo), (d) Imagem Híbrida *Modified IHS Resolution Merge* (método de reamostragem bilinear).

Ao avaliarmos os resultados da matriz de qualidade, considerando os tipos de alvos (água, área urbana, solo exposto e vegetação), os métodos os quais obtiveram destaque foram (Figura 2): para a água *Simple Mean Transformation* (ArcGis 9.2), para a área urbana o resultado que obteve maior pontuação foi *Modified IHS Resolution Merge* (reamostragem bilinear, ERDAS 10), para o solo exposto o melhor foi o *Brovey Transformation* (reamostragem vizinho mais próximo, ENVI 4.5) e para a vegetação o melhor resultado obtido foi *IHS Resolution Merge* (reamostragem vizinho mais próximo, ERDAS 10).



Figura 2. Imagens Híbridas: (a) Água – Método *Simple Mean Transformation* (ArcGis 9.2), (b) Área Urbana – método *Modified IHS Resolution Merge* (reamostragem bilinear, ERDAS 10), (c) Solo Exposto – método *Brovey Transformation* (reamostragem vizinho mais próximo, ENVI 4.5), (d) Vegetação – método *IHS Resolution Merge* de (reamostragem vizinho mais próximo, ERDAS 10).

### 3.2 Avaliação Quantitativa

Além da percepção visual, existem índices quantitativos que podem expressar a qualidade espectral e espacial das imagens fusionadas. Vários índices têm sido propostos na literatura (Wald, 2000; Wang et al., 2004; Wang e Bovik, 2002; Lillo-Saavedra et al., (2006); Zhou, 1998).

Na tabela 2, são apresentados somente os valores do coeficiente de correlação entre as imagens que obtiveram melhor desempenho por software em relação ao tipo de alvo, pois uma boa técnica de fusão deve proporcionar bandas híbridas que mantenham as correlações das bandas originais com a dos valores espectrais da imagem TM.

Tabela 2. Coeficiente de Correlação Linear (CC, n=30) e Distância Euclidiana (DE) entre as imagens fusionadas e a multiespectral reamostrada para 2,7m (MR).

Software	Reamostragem (MR/FUSÃO)	Fusão	Água		Área Urbana		Solo Exposto		Vegetação	
			CC	DE	CC	DE	CC	DE	CC	DE
ARCGIS	Vizinho mais próximo/	ESRI	0,521	12	0,960	44	0,956	29	0,475	24
		BROVEY	0,273	39	0,931	125	0,956	106	0,446	50
		IHS	0,223	11	0,894	87	0,923	68	0,469	26
		SIMPLE	0,956	7	0,942	35	0,956	29	0,421	14
ENVI	Vizinho mais próximo/Vizinho mais próximo	GRAM	0,518	18	0,927	39	0,968	1	0,992	27
		PC	0,471	24	0,935	30	0,963	1	0,993	26
	Vizinho mais próximo/Convolução Cúbica	BROVEY	0,009	51	0,263	129	0,288	111	0,782	53
		GRAM	0,487	16	0,914	38	0,970	4	0,992	28
	Vizinho mais próximo/ /Bilinear	BROVEY	0,009	51	0,271	129	0,290	111	0,783	53
		HSV	0,038	76	0,311	171	0,356	236	0,654	43
PC	0,442	23	0,926	28	0,966	2	0,995	27		
ERDAS	Vizinho mais próximo/Vizinho mais próximo	IHS BILINEAR	0,544	7	0,886	22	0,956	13	0,970	19
		IHS NN	0,544	7	0,886	22	0,956	13	0,970	19

Software	Reamostragem (MR/FUSÃO)	Fusão	Água		Área Urbana		Solo Exposto		Vegetação	
ERDAS	Vizinho mais próximo/Vizinho mais próximo	IHS CUBIC	0,558	7	0,887	22	0,954	13	0,970	19
		RESMERGE BRO BI	0,382	46	0,950	110	0,974	84	0,935	37
		RESMERGE PC CC	0,039	23	0,734	93	0,889	72	0,854	43
		WAVELET IHS BI	0,813	13	0,931	4	0,984	1	0,943	24
		WAVELET IHS NN	0,813	13	0,931	4	0,984	1	0,943	24
		PC BI	0,857	4	0,939	3	0,984	2	0,949	24
		PC NN	0,857	4	0,939	3	0,984	2	0,949	24

As imagens fusionadas apresentaram um desempenho significativo na transferência de valores espectrais em cada feição com relação à imagem multiespectral reamostrada para 2,7m, segundo a análise do CC.

Segundo Callegari-Jacques (2003), o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma: se  $0,00 < CC < 0,30$ , existe fraca correlação linear; se  $0,30 < CC < 0,60$ , existe moderada correlação linear; se  $0,60 < CC < 0,90$ , existe forte correlação linear; se  $0,90 < CC < 1,00$ , existe correlação linear muito forte. Deste modo, quanto mais próximo o valor de CC estiver de 1 maior será o grau de transferência das informações espectrais da imagem multiespectral para a imagem híbrida.

Os melhores resultados de fusão para diferentes feições pode ser visualizado na figura 3. Para água, o melhor resultado foi obtido utilizando-se o método do ArcGis fusão Simple ( $CC > 0,95$ ), para a área urbana foi no método do ArcGis fusão ESRI com coeficiente de correlação de 0,96.

Para o solo exposto, os maiores valores de correlação obtidos foram utilizando-se os métodos de fusão do ERDAS, sendo estes: fusão Principal Components (PC) reamostragem bilinear e Principal Components (PC) reamostragem pelo vizinho mais próximo, *Wavelet IHS* reamostragem bilinear e *Wavelet IHS* reamostragem pelo vizinho mais próximo, todas estas imagens apresentaram  $CC > 0,98$ . No alvo vegetação, o maior coeficiente obtido foi no método de fusão PC reamostrada pelo vizinho mais próximo do ENVI, com  $CC > 0,99$ .



Figura 3. Imagens Híbridas: (a) Água – Método *Simple Mean Transformation* (ArcGis 9.2), (b) Área Urbana – Método ESRI (ArcGis 9.2), (c) Solo Exposto – Método Principal Components (PC) reamostragem pelo mais próximo (ERDAS 10), (d) Vegetação – Método Principal Components (PC) reamostragem pelo vizinho mais próximo (ENVI 4.5).

Os menores valores do coeficiente de correlação linear obtidos foram para a água. Este fato pode estar relacionado a composição de bandas empregadas neste estudo (R5G4B3), que não seria a mais adequada para avaliar o comportamento espectral da água e devido ao processo de registro e fusão.

Os melhores resultados obtidos para DE são apresentados na tabela 2. Os valores próximos a zero, obtidos para a água, fusões Principal Components (PC) (reamostragem bilinear) e Principal Components (PC) (reamostragem vizinho mais próximo), métodos disponíveis no ERDAS. Para a área urbana, as técnicas de fusão do ERDAS Principal Components (PC) (reamostragem Bilinear) e Principal Components (PC) (reamostragem vizinho mais próximo) foram as que apresentaram melhor resultado. Para o solo exposto, os melhores resultados da DE foram obtidas utilizando-se os métodos *Gram-Schmidt* (vizinho mais próximo, ENVI) e fusão PC (vizinho mais próximo, ENVI), *Wavelet IHS* (reamostragem bilinear, ERDAS e *Wavelet IHS* (vizinho mais próximo, ERDAS) e para a vegetação a fusão com melhor desempenho da DE foi o método *Simple Mean Transformation* (ArcGis 9.2).

É importante salientar as especificidades e limitações de cada um dos *softwares utilizados* neste estudo. O ERDAS permite executar técnicas de fusão com a imagem original de 30 m, reamostrada para 10 m (pelo vizinho mais próximo), mas não permite reamostragem por convolução cúbica e bilinear. Os resultados obtidos neste *software* com as técnicas de fusão a partir de imagem originais são visualmente aceitáveis, mas não é permitido inferir quantitativamente a preservação da qualidade espectral dos pixels, pois estes se encontram em resolução diferente (tamanho pixel imagem multiespectral x tamanho pixel imagem híbrida).

No *software* ENVI, foi possível realizar todas as técnicas de fusão e métodos de interpolação. Entretanto, o tempo de processamento foi alto quando utilizamos os métodos de reamostragem por convolução cúbica e bilinear, possivelmente, resultado da maior complexidade dos algoritmos empregados e pela quantidade de pixels envolvidos neste processo de interpolação.

No *software* ArcGis, foi possível executar as técnicas de fusão com a imagem original de 30 m e apenas realizar as fusões interpolação do vizinho mais próximo, fator ligado as configurações do próprio *software*. Um ponto positivo é que o processamento é mais rápido comparado a outros *softwares*.

Outro aspecto relevante é que dentre as técnicas de fusão existentes, há algumas que nos permitem trabalhar com mais de três bandas, tais como: ERDAS – Resolution Merge Multiplicative, Resolution Merge Principal Components, Resolution Merge HIS, Resolution Merge Brovey Wavelet Resolution Merge PC; e do ENVI – Gram-Schmidt Spectral Sharpening Principal Component (PC) Spectral Sharpening. Neste estudo optou-se por trabalhar apenas com 3 bandas como medida de acelerarmos o processamento das imagens. Contudo, a utilização de um número maior de faixas multiespectrais comporta uma melhor distinção dos alvos.

#### 4. Conclusões

A escolha do *software* e técnica de fusão de imagens é determinada por alguns fatores como: as imagens híbridas resultantes devem ter mínimas distorções de tons de cor e possuir similaridade com as estruturas das imagens originais, o alvo que se tem interesse, pois os alvos têm comportamento espectral e visual melhor em determinados métodos de fusão e os tipos de imagens serão utilizadas.

Os métodos que obtiveram maior destaque para determinados alvos da imagem híbrida foram: (I) para a água: Método *Simple Mean Transformation* (ArcGis 9.2); (II) área urbana método *Modified IHS Resolution Merge* (reamostragem bilinear, ERDAS 10) e método ESRI (ArcGis 9.2); (III) solo exposto: método *Brovey Transformation* (vizinho mais próximo, ENVI 4.5) e Principal Components (vizinho mais próximo, ERDAS 10) e para a vegetação

(IV): método *IHS Resolution Merge* (vizinho mais próximo, ERDAS 10) e Método Principal Components (PC) (vizinho mais próximo, ENVI 4.5

Portanto, os *softwares* apresentaram desempenho significativo na aplicação das técnicas de fusão. O usuário pode executar os métodos de fusão sem grandes perdas de qualidade visual da imagem híbrida.

## 5. Bibliografia

Callegari-Jacques, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

Cliche, G.; Bonn, F.; Teillet, P. The SPOT satellite remote sensing mission. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 12. p. 1699-1708, 1985.

Ehlers, M., 2004. Spectral characteristics preserving image fusion based on Fourier domain filtering. In: *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV, Proceedings of SPIE*, Ehlers, M., H.J. Kaufmann and U. Michel (Eds.) Bellingham, WA, pp. 1–13.

Griffith, J. J. Análise dos recursos visuais do parque da Serra da Canastra. *Brasil Florestal*. Viçosa, n.40, p.13-21, 1979.

Jensen, J. R.; Cowen, D. C. Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socio-Economic Attributes. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 65, n. 5, pp. 611-622, 1999.

Klonus, S. and M. Ehlers, 2007. Image fusion using the Ehlers spectral characteristics preserving algorithm. *GIScience and Remote Sensing*, 44, n. 2, pp. 93–116.

Lillo-Saavedra, M.; Gonzalo, C.; Arquero, A.; Martinez, E. Fusion of multispectral and panchromatic satellite sensor imagery based on tailored filtering in the fourier domain. *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, v. 26, n. 6, p. 1263-1268, 2005. 47, 49. 2006.

Moik, J. **Digital Processing of Remotely sensed Images**. Washington-DC: Government Printing Office, 1980.

Paladini, E, 1990. Controle de Qualidade uma abordagem abrangente. São Paulo, Atlas SA.

Pinho, C.M.D.; Renno, C.D.; Kux, H.J.H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. **Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia-GO. abril 2005, INPE. p. 4225-4232.

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.

Wald, L.; Ranchin, T.; Mangolini, M. Fusion of satellite images of different spatial resolution: assessing the quality of resulting images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing** 63 (6), p. 691-699, 1997.

Wald, L. Quality of high resolution synthesized images: is there a simple criterion. *Proceedings of the International Conference on Fusion of Earth Data*, p. 26-28, 2000. 47, 48, 49}. 2000.

Wang, Z.; Bovik, A. C. A universal image quality index. *IEEE Signal Processing Letters*, v. 9, n. 3, p. 81-84, 2002. 47, 49}.

Wang, Z.; Bovik, A. C.; Sheikh, H. R.; Simoncelli, E. P. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, v. 13, n. 4, p. 600-612, April 2004. 47, 48, 49.

Zhou, J.; Civeo, D.L.; Silander, J.A. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 4, p. 743-757, 1998.