

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE FUSÃO DE IMAGENS

RODRIGO FLORIANO DE SOUZA ⁽¹⁾
GABRIEL HENRIQUE DE ALMEIDA PEREIRA ⁽²⁾
FELIPE MARTINS MARQUES DA SILVA ⁽¹⁾
JORGE ANTÔNIO SILVA CENTENO ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal do Paraná - UFPR
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Curitiba - Paraná
{rodrigoengcart, felipemarques21}@hotmail.com
centeno@ufpr.br

⁽²⁾ Universidade Federal do Paraná - UFPR
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental
Curitiba - Paraná
pereira.gha@hotmail.com

RESUMO – Atualmente, na tecnologia do Sensoriamento Remoto há uma limitação, onde os satélites geram, basicamente, dois tipos de imagens: aquelas com alta resolução espectral ou aquelas com alta resolução espacial. Este dilema entre ter alta resolução espacial ou alta resolução espectral, costuma ser superado por meio de métodos de fusão de imagens, em que é criada uma imagem híbrida onde se tem a alta resolução espectral de uma imagem (ou banda) e a alta resolução espacial de outra imagem (ou banda). Não há um método ideal para fusão, e as imagens resultantes das fusões costumam apresentar alguns problemas de ordem espectral ou espacial. Tais diferenças devem ser avaliadas e medidas, e os resultados devem ser comparados de modo a possibilitar a melhor escolha dentre métodos de fusão existentes. Este artigo apresenta dois métodos de fusão – Gram-Schmidt e Brovey – que foram avaliados por três técnicas – Desvio Padrão, Coeficiente de Correlação e HCC.

Palavras chave: Fusão, métodos, qualidade da fusão de imagens.

ABSTRACT - Nowadays, in the Remote Sensing technology, there is a limitation where the satellites produce, basically, two kinds of images: those with high spectral resolution or those with high spatial resolution. It's a trade-off that uses to be overcome using pansharpening methods, that creates a hybrid image where the high spectral resolution is preserved from one image and the high spatial resolution is taken from another one. There isn't a perfect pansharpening method, though, and the hybrid images use to present some problems related to the final spectral resolution or the final spatial resolution. This differences must be measured and the results must be compared, so that it's possible to choose which was the best pansharpening method applied. This article presents two pansharpening methods – Gram-Schmidt and Brovey –, that were evaluated by three evaluation techniques – Standard Deviation, Correlation Coefficient, and HCC.

Key words: Pansharpening, methods, quality image fusion.

1 INTRODUÇÃO

Os satélites de sensoriamento remoto possuem sensores que, ou adquirem imagens com alta resolução espectral, ou adquirem imagens com alta resolução espacial. Os métodos de fusão de imagens vêm a unir tais características, ou seja, geram uma imagem híbrida com alta resolução espectral e alta resolução espacial.

Klonus (2009) apresenta 11 métodos de fusão de imagens, dentro os quais se podem citar: Componentes Principais, Brovey, HSV, Gram-Schmidt e Modulação de Intensidade. A qualidade da fusão pode ser avaliada de

forma qualitativa ou quantitativa. Zangh (2008) realizou uma revisão desses métodos de avaliação da qualidade da fusão, no qual apresenta a forma qualitativa que é realizada a partir da avaliação visual realizada pelo usuário. A forma quantitativa, o autor apresenta o método pela Média, Desvio Padrão, Coeficiente de Correlação, e RMS (*Root Mean Square*), os quais avaliam a qualidade espectral da imagem fusionada por meios estatísticos. Os métodos HCC (*High-Pass Correlation Coefficients*) e ED (*Edge Detection*) são utilizados para avaliar a qualidade espacial da fusão. Tais métodos de avaliação fornecem indicadores que permitem avaliar a qualidade da fusão

realizada. Desta forma, é possível identificar o ganho ou a perda de informação na imagem fusionada final.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar qual o método é mais indicado para a fusão de imagens de um mesmo sensor em uma mesma data, e qual o mais indicado para a fusão de imagens de diferentes sensores em datas distintas. Para isso, neste trabalho foram utilizados os métodos de fusão Brovey e Gram-Schmidt.

Os métodos para avaliação da qualidade espectral utilizados foram o Desvio Padrão e o Coeficiente de Correlação entre a imagem multiespectral original e a fusionada. Já para a avaliação da qualidade espacial foi utilizado o método HCC.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são descritos os materiais e os métodos empregados neste trabalho.

2.1 MATERIAIS

Serão utilizadas as imagens:

- Imagens de datas distintas: CBERS-2B, com 4 bandas, 8 bits, e resolução espacial de 20 metros, obtida em 16/08/2004; e IRS, com uma banda pancromática, 8 bits, e resolução espacial de 5 metros, obtida em 11/09/2002. Ambas de Pinhais - PR.
- Imagens de uma mesma data e um mesmo sensor: satélite LANDSAT 7, sendo sete bandas espectrais, de resolução espacial 30 metros; e uma banda pancromática, de resolução espacial 15 metros, 8 bits. De Florianópolis - SC, obtida em 07/05/2000.

As fusões foram realizadas no software ENVI 4.6., e as avaliações foram realizadas mediante programas desenvolvidos no software FREEMAT.

2.2 MÉTODOS

A metodologia proposta consistiu em realizar dois experimentos para avaliar a qualidade da fusão: o primeiro para a imagem de um único sensor e mesma data de aquisição. Neste caso, utilizaram-se as bandas multiespectral e pancromática do LANDSAT. No segundo experimento foi avaliado a fusão para imagens de sensores diferentes em datas distintas. Nesse segundo experimento foi utilizada uma imagem CBERS-2b, nas suas bandas multiespectrais, e uma imagem IRS, na banda pancromática. Os métodos de fusão utilizados foram os de Brovey e Gram-Schmidt.

O método de Brovey realiza uma normalização de cores entre as bandas, conservando a contribuição espectral de cada pixel da imagem original, mas substitui o valor do brilho pelo da imagem pancromática (Tu et al., 2005). Cada banda multiespectral é multiplicada pela banda pancromática, e este valor é normalizado ao ser dividido pelo somatório das bandas multiespectrais. Trata-se de um método simples para fundir dados de

diferentes sensores (Zhou et al., 1998). O método de Brovey geralmente não preserva bem a informação espectral (Klonus e Ehlers, 2009).

O método Gram-Schmidt, conforme seus inventores Craig A. Laben e Bernard V. Brower, em Laben e Brower (2000), é um método onde uma imagem multiespectral tem sua resolução espacial melhorada através de uma banda pancromática simulada a partir das bandas multiespectrais de baixa resolução espacial. Com esta banda pancromática simulada e mais as três bandas multiespectrais, é feita uma transformação Gram-Schmidt. Em seguida, os parâmetros estatísticos da imagem pancromática de maior resolução são ajustados conforme os parâmetros estatísticos das bandas da imagem Gram-Schmidt, produzindo uma imagem de maior resolução modificada. A primeira banda da imagem Gram-Schmidt é então substituída pela imagem de maior resolução modificada e é feita a transformação Gram-Schmidt inversa que irá gerar a imagem fusionada de alta resolução espectral e espacial. Este método geralmente apresenta bons resultados com imagens de um mesmo sensor (Klonus e Ehlers, 2009).

Na avaliação da qualidade da fusão empregou-se três técnicas: duas para avaliar a qualidade espectral (desvio padrão e coeficiente de correlação) e uma para avaliar a qualidade espacial (HCC). A avaliação baseada no desvio padrão indica se houve perda ou ganho de informações na imagem durante o processo de fusão. Valores positivos indicam perda de informação e valores negativos indicam ganho de informação. O ideal é obter um valor negativo próximo de zero. Para esta avaliação faz-se uso da seguinte expressão:

$$DP = \frac{\sigma_B - \sigma_F}{\sigma_B} \quad (1)$$

onde,

σ_B = desvio padrão da imagem original;
 σ_F = desvio padrão da imagem fusionada.

A avaliação baseada no coeficiente de correlação consiste no cálculo deste entre a imagem original da banda multiespectral e a banda equivalente fusionada. Valores próximos de 1 indicam alta correlação entre as bandas da imagem multiespectral original e as bandas da imagem fusionada e, portanto, são similares. Para esta avaliação faz-se uso da seguinte expressão:

$$Corr_c = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (B_{i,j,c} - \bar{B}_c)(F_{i,j,c} - \bar{F}_c)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (B_{i,j,c} - \bar{B}_c)^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F_{i,j,c} - \bar{F}_c)^2}} \quad (2)$$

onde,

$M \times N$ = dimensão das imagens;
 C = número de bandas;
 $B_{i,j,c}$ = valor da imagem original;
 \bar{B}_c = média da imagem original;
 $F_{i,j,c}$ = valor da imagem fusionada;
 \bar{F}_c = média da imagem fusionada.

A avaliação da qualidade espacial da fusão foi realizada pelo método HCC, que consiste no cálculo da Correlação entre a banda pancromática original e a banda fusionada, isso após passar um filtro Passa-Altas.

O esquema apresentado na Figura 1 resume as etapas da metodologia empregada na presente pesquisa.

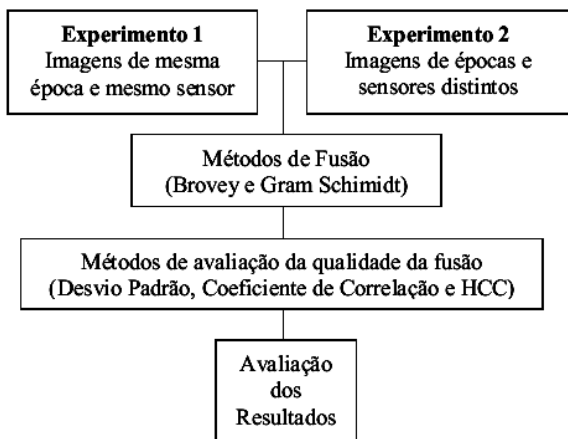


Figura 1 – Etapas da Metodologia.

3. RESULTADOS

Inicialmente são mostrados os resultados dos experimentos realizados com imagens de sensores e datas diferentes.

Na Figura 02 são mostradas as seguintes imagens: imagem pancromática do sensor IRS, imagem multiespectral (bandas 3, 3 e 1) do sensor CBERS-2B, imagem resultante da fusão pelo método Gram-Schmidt e a imagem resultante da fusão pelo método Brovey. De modo complementar, a Figura 03 mostra uma ampliação das imagens presentes na Figura 02, uma região com áreas com urbanização, áreas rurais e áreas de vegetação.

Observando tais áreas percebe-se que, visualmente, ambos os métodos de fusão obtiveram imagens com informação multiespectral e melhor resolução espacial. Entretanto, verifica-se que o método Gram-Schmidt apresentou melhor resultado, pois o método de Brovey apresenta diversas regiões com tonalidades que não condizem com as tonalidades características do visível, presentes na imagem espectral. Como exemplo, pode-se observar que as áreas de vegetação apresentam tonalidades avermelhadas.

Nas áreas com urbanização percebe-se que ambos os métodos apresentaram, de modo geral, bons resultados, mas com algumas poucas regiões com tonalidades que divergem da imagem multiespectral. Este bom resultado também pode ser atribuído ao fato de ter havido poucas alterações de uso do solo na região, apesar da diferença de quase dois anos entre as datas das tomadas das imagens.

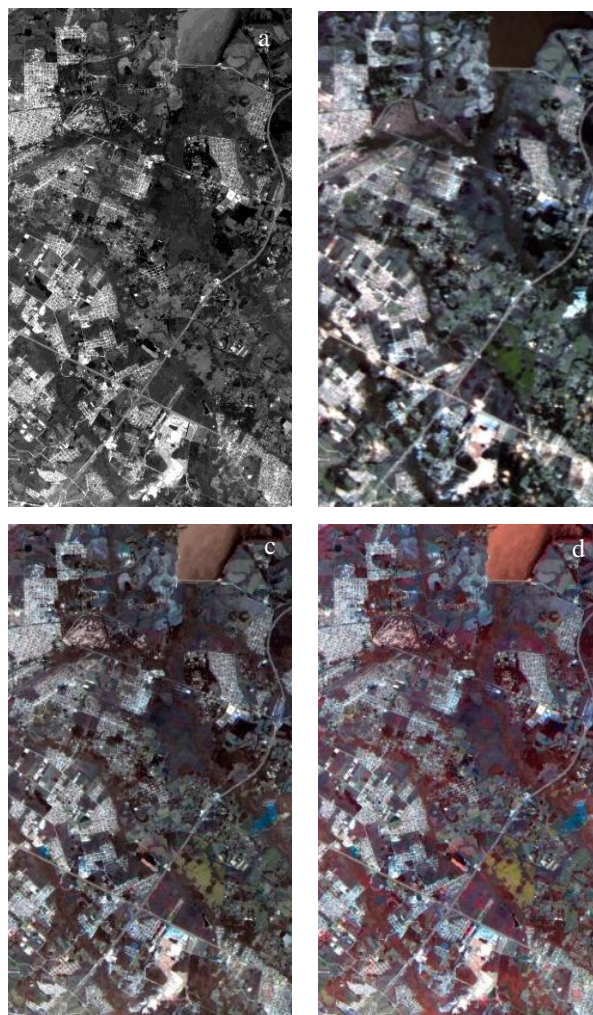


Figura 2 – Imagem de diferentes sensores e data – Pinhais - PR -Brasil. (a) PAN. (b) MS. (c) Fusionada Gram-Schmidt. (d) Fusionada Brovey.

A Tabela 1 apresenta os valores da análise quantitativa referentes às avaliações espectrais pelo Desvio Padrão e pelo Coeficiente de Correlação. Por meio desta análise pode-se dizer que os resultados foram insatisfatórios em ambos os métodos, e ainda que a análise visual das imagens fusionadas apontasse para um melhor resultados com o método de Gram-Schmidt, a análise quantitativa apontam para um melhor resultado com o método de Brovey. Sendo que as imagens são de diferentes sensores, os resultados apresentados nesta tabela vêm de encontro com o que afirmam Klonus e Ehlers (2009), que o método de Gram-Schmidt costuma apresentar melhores resultados com imagens de um mesmo sensor.

A Tabela 2 apresenta os resultados da qualidade espacial das imagens fusionadas. Observa-se tanto para áreas urbanas, rurais ou de vegetação, analisadas individualmente, como para uma análise geral da imagem fusionada, o método de Gram-Schmidt apresentou melhores resultados.

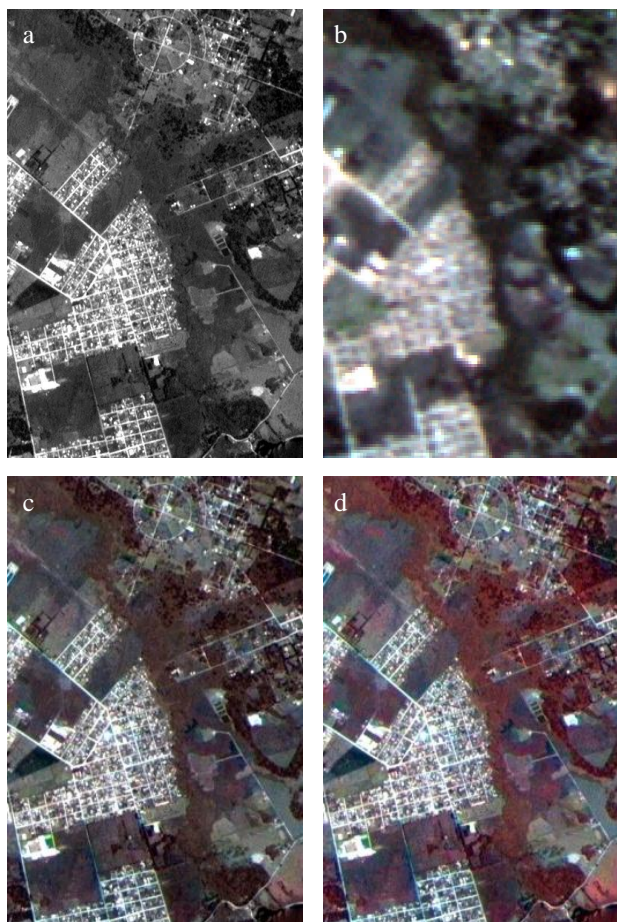


Figura 3 – Recorte da Imagem de diferentes sensores e data – Pinhais - PR -Brasil. a) PAN. b) MS. c) Fusionada Gram-Schmidt. d) Fusionada Brovey.

Tabela 1 – Análise Espectral (Desvio Padrão e Coeficiente de Correlação) de Imagens de diferentes sensores e data.

Desvio Padrão			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,5647	0,5905	0,5840
Gram-Schmidt	-0,2049	-0,0894	-0,0771
Coeficiente de Correlação			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,5676	0,7950	0,8125
Gram-Schmidt	0,6635	0,7722	0,7860

Tabela 2 – Análise Espacial (HCC) da Imagem de diferentes sensores e data.

HCC - geral			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,8426	0,8718	0,9314
Gram-Schmidt	0,9540	0,9572	0,9813
HCC - urbana			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,9404	0,9513	0,9771
Gram-Schmidt	0,9806	0,9845	0,9932
HCC - rural			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,8415	0,8699	0,9311
Gram-Schmidt	0,9524	0,9557	0,9807
HCC - vegetação			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,8147	0,8532	0,9168
Gram-Schmidt	0,9487	0,9500	0,9780

Após analisar os resultados dos experimentos realizados com imagens de sensores e datas diferentes, passa-se a análise dos resultados com imagens de um mesmo sensor para uma mesma data.

Na Figura 04 são mostradas as seguintes imagens: imagem pancromática, imagem multiespectral (bandas 4, 3 e 2 do sensor Landsat TM), imagem resultante da fusão pelo método Gram-Schmidt e a imagem resultante da fusão pelo método Brovey. De modo complementar, a Figura 05 mostra uma ampliação das imagens presentes na Figura 04, destacando a região de Florianópolis se tem áreas com vegetação, urbanização e linha de costa.

Observando tais áreas percebe-se que, visualmente, ambos os métodos de fusão também obtiveram imagens com informação multiespectral e melhor resolução espacial. Há uma pequena variação de tonalidades nas áreas com urbanização e nas áreas de vegetação, apontando um resultado melhor para o método Gram-Schmidt, visto que a vegetação por este método apresenta tonalidades mais próximas às tonalidades presentes na imagem multiespectral. Entretanto, analisando as áreas costeiras, com destaque para a área de praia presente na parte inferior das imagens da Figura 5, observa-se que o método de Brovey obteve resultado melhor, visto que apresentou tonalidade similar à da imagem multiespectral.

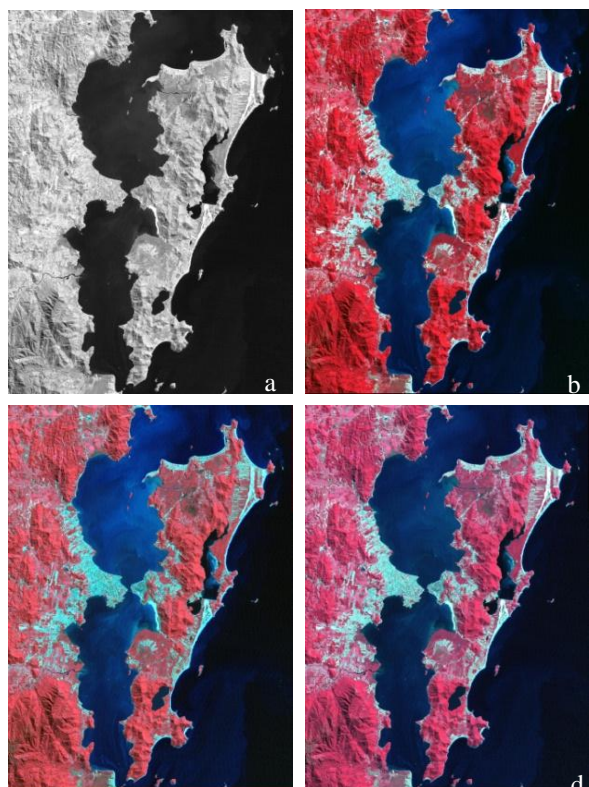


Figura 4 – Imagem mesmo sensor (LANDSAT 7) e mesma data (07/05/2000) – Florianópolis-SC-Brasil. (a) PAN. (b) MS. (c) Fusionada Gram-Schmidt. (d) Fusionada Brovey.

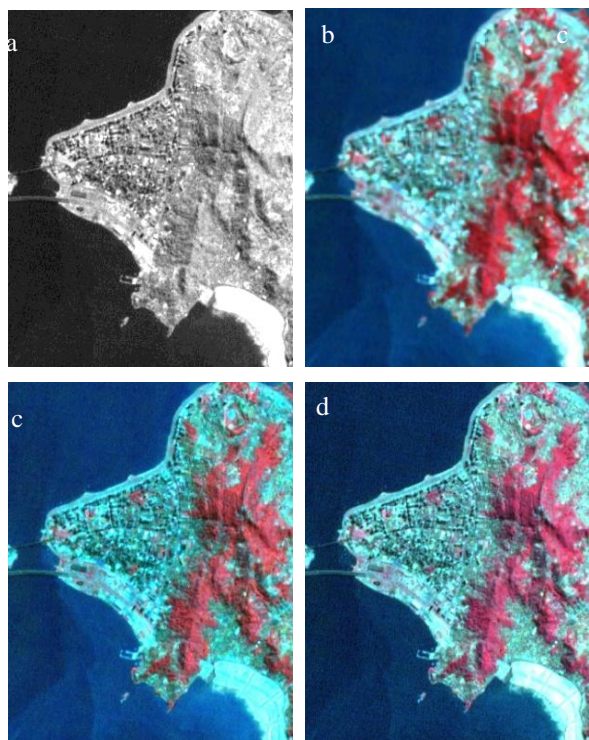


Figura 5 – Recorte da Imagem de mesmo sensor (LANDSAT 7) e mesma data (07/05/2000) – Florianópolis-SC-Brasil. (a) PAN. (b) MS. (c) Fusionada Gram-Schmidt. (d) Fusionada Brovey.

As Tabelas 3 e 4 trazem os resultados da análise quantitativa das imagens fusionadas, espectral e espacial, respectivamente. É possível verificar que estas tabelas apresentam melhores resultados, se comparadas com as Tabelas 1 e 2, isto se deve, principalmente, por tratar-se de mesmo sensor e mesma data das imagens pancromática e multiespectral.

Na análise espectral, mais especificamente no desvio padrão, os resultados são próximos de zero, com pequenas variações positivas ou negativas para os dois métodos. Com relação ao coeficiente de correlação, os valores são próximos de 1, o que representa que há uma boa correlação entre as imagens fusionadas e as imagens multiespectrais.

Tabela 3 – Análise Espectral (Desvio Padrão e Coeficiente de Correlação) da Imagem de mesmo sensor e mesma data.

Desvio Padrão			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,1896	-0,0419	-0,2347
Gram-Schmidt	-0,1352	0,1318	0,1191
Coeficiente de Correlação			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,9912	0,9601	0,8682
Gram-Schmidt	0,9667	0,9534	0,9655

Tabela 4 – Análise Espacial (HCC) da Imagem de mesmo sensor e mesma data.

HCC – geral			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,8907	0,9061	0,9193
Gram-Schmidt	0,8584	0,9142	0,9449
HCC – urbana			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,9590	0,9794	0,9895
Gram-Schmidt	0,8941	0,9407	0,9447
HCC – rural			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,9688	0,8996	0,9499
Gram-Schmidt	0,8599	0,9098	0,9520
HCC – vegetação			
Fusão	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Brovey	0,9779	0,9029	0,9452
Gram-Schmidt	0,8917	0,9352	0,9754

Tratando-se da análise espacial, apresentada na Tabela 4, é possível verificar que ambos os métodos apresentaram bons resultados, com valores próximos a 1,

seja na análise das imagens fusionadas como um todo, ou na análise por classe de uso do solo.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos foram satisfatórios se analisados de modo qualitativo/visual. Entretanto, pelas técnicas de avaliação propostas, verificou-se que espectralmente ambos os métodos obtiveram melhores resultados para imagens de um mesmo sensor.

Ainda que as imagens de diferentes sensores apresentassem dois anos de defasagem nas datas de obtenção das mesmas, os resultados vêm confirmar que o método Gram-Schmidt apresenta bons resultados com imagens de um mesmo sensor.

REFERÊNCIAS

KLONUS, S.; EHLERS M. Performance of Evaluation Methods in Image Fusion, Proceedings, **12th International Conference on Information Fusion**, Seattle, WA, USA (CD Publication), 8 p., 2009.

LABEN, C.A.; BROWER, B.V. Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening. **US Patent # 6,011,875**, Eastman Kodak Company, 2000.

TU, T. M.; LEE, Y. H.; CHANG C. P.; HUANG, P. S. Adjustable intensity-hue-saturation and Brovey transformation fusion technique for IKONOS/QuickBird imagery,” **Optical Engineering**, V. 44, n. 11, p. 116201-1–116201-10, 2005.

ZHANG Y. Methods for image fusion quality assessment - a review, comparison and analysis, **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, V. XXXVII, B7, p. 1101-1109, Beijing, 2008.

ZHOU, J.; CIVCO 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. 04, p. 743-757, 1998.