

Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird

Carolina Moutinho Duque de Pinho¹

Camilo Daleles Rennó¹

Hermann Johann Heinrich Kux¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

carolina@dsr.inpe.br, camilo@dpi.inpe.br, hermann@dsr.inpe.br

Abstract. Application of fusion techniques is an important tool in urban remote sensing because it improves the distinction among different urban targets. This study is part of major project which proposes a classification methodology of an urban land cover. The experiment has evaluated five different techniques in relation to the capacity to transfer details and the spectral content preservation. A 0.6m resolution panchromatic *Quickbird* image and a 2.4m resolution multi spectral *Quickbird* image were used. Gram-Schmidt and principal components had shown the best results for the scene of São José dos Campos City.

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

1. Introdução

Este trabalho integra a fase de preparação de imagens de um projeto maior que tem por objetivo propor uma metodologia de classificação de uso do solo intra-urbano. No referido trabalho, foram utilizadas duas imagens *Quickbird* da área urbana do município de São José dos Campos (SP): uma multiespectral com quatro bandas e resolução espacial de 2,4m; e outra pancromática com resolução de 0,6m. A fim de facilitar a identificação dos alvos urbanos, propôs-se a realização de uma fusão entre as duas imagens para gerar uma imagem sintética multiespectral com alta resolução espacial. Neste contexto, levantou-se uma importante questão: qual técnica de fusão teria o melhor desempenho quanto à transferência de detalhes e conservação do conteúdo espectral? Com o objetivo de responder esta questão, avaliou-se o desempenho de algumas técnicas de fusão: IHS, *Brovvey*, Principais Componentes, *Gram-Schmidt* e *CN Spectral Sharpening*.

2. Fusão de Imagens

Apesar de ser um processamento bastante difundido entre a comunidade de sensoriamento remoto, ainda há bastante controvérsia quanto à utilização de um termo específico para designá-lo. Na literatura a respeito, em língua inglesa, são encontrados três diferentes termos: *merging*, *fusion* e *pan-sharpening*. Wald (1999) fez uma revisão dos termos que vêm sendo utilizados, apontando a falta de critério e preocupação conceitual com que estes são aplicados. Neste mesmo trabalho o autor expõe a necessidade da elaboração de um conceito que explicito o processo e propõe a seguinte definição: “fusão de dados consiste em uma estrutura formal na qual são expressos conceitos e ferramentas para a junção de dados de diferentes origens com o objetivo de obter informações de maior qualidade”. Em outras palavras, qualquer integração de dados que possibilite um ganho de análise é considerada como fusão. Desta forma, procedimentos como NDVI, razão de bandas e utilização de dados auxiliares em processos de classificação são denominados como fusão de imagens.

As discussões levantadas por Wald (1999) são bastante interessantes e pertinentes. Entretanto, em vez de propor termos adequados para cada tipo de processamento, onde haja

integração de dados, o autor junta todos em uma única definição. Dada a grande abrangência do termo fusão, uma alternativa é complementar o termo, por exemplo, “fusão de imagens *Quickbird* com objetivo de potencializar a alta resolução espacial da banda pancromática e a resolução espectral das bandas multiespectrais”. Enfim, a utilização de um termo adequado não é uma questão de simples solução.

2.1 Técnicas de Fusão

As técnicas de fusão podem ser divididas em três grupos: as que utilizam um modelo de domínio espacial, as de domínio espectral e as que trabalham com operações algébricas. Os modelos de domínio espacial são aqueles que isolam a informação espacial de alta frequência provenientes da imagem de alta resolução e a combinam com a imagem multiespectral. (Schowengerdt, 1997 citado por Carter, 1998) As fusões que utilizam transformadas *Wavelets* e a técnica HPF (*High-Pass Filter*) integram esta categoria.

O grupo de modelos de domínio espectral é formado pelos processos que realizam uma transformação na imagem multiespectral, resultando num novo conjunto de bandas onde uma delas é correlacionada com a imagem pancromática. Principais Componentes, IHS, *Gram-Schmidt* são representantes destes modelos. Outra linha é formada pelos modelos algébricos que operam funções aritméticas pixel-a-pixel. Como exemplo podem ser citadas as técnicas *Brovey* e multiplicativa.

É importante salientar que todas as técnicas de fusão que foram utilizadas neste experimento compreendem um processo de reamostragem espacial. A Imagem multiespectral com resolução mais grosseira é reamostrada para a mesma resolução da Pancromática antes da aplicação da técnica de fusão.

2.2.1 IHS

O primeiro passo nesta técnica consiste na transformação do sistema de cores RGB para o IHS. Neste último, as cores são representadas através de três componentes: intensidade (*Intensity* - I), matiz (*Hue* - H) e saturação (*Saturation* - S). A componente intensidade (I) é a medida do brilho de uma determinada cor, a matiz é o comprimento de onda dominante da cor observada e a saturação é o grau de pureza da cor (Mather, 1991). Após a conversão de sistemas, a componente intensidade é substituída pela imagem pancromática e, em seguida é realizada a transformação IHS-RGB.

Apesar de ser uma técnica bastante utilizada, esta fusão possui duas importantes limitações: o número de bandas a ser utilizado limita-se apenas a três e a imagem sintética de saída limita-se a uma resolução radiométrica de 8 bits. Este último problema é derivado da própria natureza dos sistemas de cores que são representados, tradicionalmente, em 8 bits.

2.2.2 Brovey (Normalização de cores)

Esta técnica 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.

2.2.3 Principais Componentes

A fusão por Principais Componentes 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 o mais parecida possível com a CP1. Em seguida é realizada uma transformação inversa.

2.2.4 Gram-Schmidt

Este procedimento, 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, 2003). A fusão inicia-se com a simulação de uma banda pancromática a partir das bandas multiespectrais de baixa resolução espacial. Em seqüência, uma transformação de *Gram-Schmidt* é aplicada à banda pancromática simulada e às bandas multiespectrais, onde 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, 2003).

2.2.5 CN Spectral Sharpening

CN Spectral Sharpening é uma extensão do algoritmo *Brovey* mas sem restrição quanto ao número de bandas e à resolução radiométrica da imagem sintética de saída. A técnica em questão é capaz de fundir dados multiespectrais de resoluções espectrais e espaciais distintas, sendo aplicável em fusão de imagens hiperespectrais, como no caso dos trabalhos de Vrabel (2002a e 2002b). Entretanto, há uma única restrição para a execução desta fusão: o intervalo espectral das bandas de entrada (*InputBands* - bandas da imagem que terão suas resoluções espaciais melhoradas) deve ser a mesma das bandas *sharpening* (bandas de alta resolução espacial que forneceram dados de alta frequência para o processo de fusão).

O processo de fusão começa com o agrupamento das bandas de entrada em segmentos espectrais que são definidos pelo intervalo espectral das bandas *sharpening*. Em seguida é realizada uma operação aritmética semelhante a da fusão *Brovey*. Cada banda de entrada é multiplicada pela banda *sharpening* e, então normalizada pela divisão da soma de bandas de entrada no segmento RSI (2003).

3. Material e Métodos

O trabalho foi realizado sobre duas imagens *Quickbird* (11 bits) da cidade de São José dos Campos-SP adquiridas em 17/05/2004, uma pancromática com resolução espacial de 0,6 e outra multiespectral com resolução de 2,4m e com quatro bandas: 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 (**Figura 1**). Durante o experimento foram utilizados os programas ENVI 4.0 e Spring 4.0.

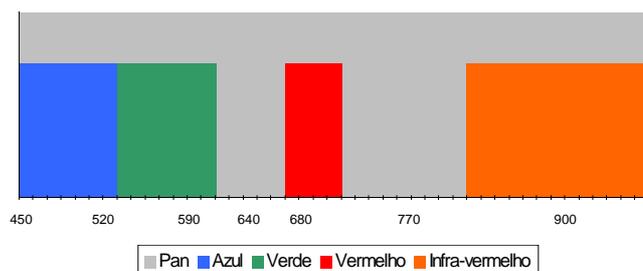


Figura 1: Gráfico com a cobertura espectral de bandas do sensor Quickbird.

3.1 Metodologia

Avaliaram-se as técnicas de fusão a partir de testes de capacidade de transferência de detalhes e manutenção do conteúdo espectral. Para a execução deste trabalho, foram estruturadas as seguintes etapas: fusão, testes e avaliação dos resultados.

3.1.1 Fusão

Foram realizadas fusões utilizando cada uma das técnicas selecionadas. Para os processamentos com as fusões IHS e Brovey, que trabalham apenas com três bandas, foram usadas somente as bandas do espectro visível (1, 2 e 3). Para as outras técnicas, que não possuem limitação quanto ao número de bandas, foram realizadas duas fusões: uma com as quatro bandas multiespectrais e outra somente com as bandas do visível.

Como as técnicas IHS e Brovey possuem a limitação de gerar imagens sintéticas com apenas 8bits, foi necessário quantizar as imagens originais para 8 bits antes da aplicação dos processamentos de fusão. A quantização foi feita no Programa Spring 4.0.

3.1.2 Testes

Os três testes utilizados neste experimento foram baseados no trabalho de Ventura (2003). O primeiro deles (teste 1) tem como objetivo aferir a capacidade de transferência de detalhes de cada técnica a partir da comparação de detalhes entre a imagem pancromática e a imagem sintética. Para tanto, foram extraídos os detalhes tanto da imagem sintética quanto da imagem pancromática original através de uma operação de filtragem passa-alta com um filtro Laplaciano 3x3, com soma nula. Desta forma foram geradas duas novas imagens contendo apenas os detalhes de cada imagem. Em seguida, foi calculado o coeficiente de correlação entre a imagem pancromática filtrada e cada banda da imagem multiespectral filtrada.

Os outros dois testes (testes 2 e 3) tiveram como objetivo verificar a fidelidade espectral da imagem sintética com relação à imagem multi-espectral original. Neste caso, não existe a possibilidade de se comparar a imagem sintética à imagem original, pois estas possuem resoluções espaciais distintas. Por isso, antes do processo de fusão, a resolução espacial das imagens originais foram degradadas de tal forma que a imagem sintética resultante (imagem simulada) do processo de fusão tenha a mesma resolução espacial da imagem multiespectral original. Desta forma, foram geradas, com o interpolador vizinho mais próximo, uma imagem pancromática simulada com resolução de 2,4m e uma multiespectral de 9,6m de resolução. A fusão entre as imagens degradadas é considerada uma fusão simulada somente para efeito de avaliação.

O teste 2 consistiu em uma comparação entre alguns parâmetros estatísticos (média, desvio padrão e correlação) entre a imagem original e a sintética simulada.

O teste 3 teve como objetivo 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. A distância euclidiana média (D) é definida pela seguinte fórmula:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{\sum_{k=1}^B (NC_{(i,k)}^O - NC_{(i,k)}^S)^2}}{N} \quad (3.1)$$

onde $NC_{(i,k)}^O$ é o nível de cinza do pixel na imagem original e, $NC_{(i,k)}^S$ 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.

3.1.3 Avaliação

Nesta etapa, foi elaborada uma análise qualitativa e outra quantitativa. A primeira baseou-se na análise visual das cores da imagem multiespectral original e das imagens fusionadas. A segunda consistiu numa apreciação dos resultados dos três testes realizados.

4. Resultados

4.1 Avaliação qualitativa

A técnica que apresentou melhor conservação de cores foi a Principais Componentes empregando as 4 bandas multiespectrais (**Figura 2h**).

A maioria das técnicas aplicadas produziu imagens sintéticas com uma variação de cores bastante significativa, destacando-se as fusões IHS e Brovey que apresentaram, nas áreas com vegetação, cores variando do verde brilhante até o azul escuro. Nos processos que trabalharam com três e quatro bandas, nota-se uma diferença de tonalidade também para as áreas cobertas com vegetação. Nas fusões com três bandas, a cor da vegetação ficou num tom mais brilhante.

Os dois problemas detectados acima são decorrentes da cobertura da imagem pancromática do sensor *Quickbird* que se estende até o infra-vermelho próximo, região do espectro onde a vegetação possui resposta muito alta. Desta forma processos de fusão que utilizam as imagens do referido sensor devem incorporar a banda 4 (infra-vermelha) para que não apresentem grandes distorções de cores.

4.2 Avaliação quantitativa

No teste de transferência de detalhes (Teste 1), as fusões IHS e Brovey apresentaram os piores resultados com coeficientes de correlação muito baixos (**Tabela 1**). As outras técnicas de fusão apresentaram valores de correlação mais elevados (acima de 0,88). Destacando-se as fusões Gram-Schmidt e Principais Componentes, pois apresentaram coeficientes de correlação muito próximos a 1. Um fator que chama atenção nos resultados deste teste é que as fusões que utilizaram três bandas obtiveram coeficientes ligeiramente maiores que os processamentos com quatro bandas (**Tabela 1**).

Na primeira parte do teste 2, comparação de parâmetros estatísticos, novamente as fusões Principais Componentes e *Gram-Schmidt* tiveram melhores resultados (**Tabela 2**). Os coeficientes de correlação (entre as bandas multiespectrais originais e as bandas da imagem sintética simulada) só foram elevados para as fusões destas duas técnicas que foram aplicadas as quatro bandas multiespectrais. Na fusão *Gram-Schmidt*, houve uma menor variação entre os valores de desvio padrão, ou seja, preservou-se melhor o contraste da imagem original. Já a Principais Componentes obteve melhores resultados para média indicando uma conservação do brilho da imagem.



(a) Multiespectral colorida cor verdadeira



(b) IHS



(c) Brovey



(c) Gram-Schmidt c/3 bandas



(d) Gram-Schmidt c/4 bandas



(e) CN Spectral Sharpening com 3 bandas



(f) CN Spectral Sharpening com 4 bandas



(g) Principais Componentes com 3 bandas



(h) Principais Componentes com 4 bandas

Figura 2: Comparação entre a imagem multiespectral original e as técnicas de fusão testadas.

| Técnica | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 | Banda 4 |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| IHS | 0,639 | 0,673 | 0,655 | - |
| Brovey | 0,646 | 0,666 | 0,671 | - |
| Gram_Schmidt c/3 | 0,997 | 0,999 | 0,998 | - |
| Gram_Schmidt c/4 | 0,992 | 0,996 | 0,995 | 0,983 |
| CN Spectral sharpening c/3 | 0,934 | 0,985 | 0,908 | - |
| CN Spectral sharpening c/4 | 0,869 | 0,943 | 0,875 | 0,807 |
| PCA c/3 | 0,996 | 0,999 | 0,998 | - |
| PCA c/4 | 0,988 | 0,993 | 0,993 | 0,991 |

Tabela 1: Coeficientes de correlação de detalhes entre as imagens sintética e pancromática.
OBS: c/3 especifica os procedimentos com três bandas e c/4 com quatro. PCA significa Principais Componentes.

| | Banda 1 | | | Banda 2 | | | Banda 3 | | | Banda 4 | | |
|----------------------------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|
| | Média | Desv_pad | Correl. |
| original_8bits | 56,68 | 51,27 | 1,00 | 69,98 | 51,85 | 1,00 | 67,97 | 56,78 | 1,00 | 120,80 | 60,27 | 1,00 |
| IHS | 96,23 | 58,59 | 0,59 | 112,72 | 62,04 | 0,59 | 93,60 | 57,23 | 0,65 | - | - | - |
| Brovey | 31,89 | 19,06 | 0,55 | 37,91 | 21,00 | 0,49 | 30,88 | 18,11 | 0,60 | - | - | - |
| original_11bits | 178,21 | 55,16 | 1,00 | 249,59 | 99,07 | 1,00 | 162,27 | 96,01 | 1,00 | 358,08 | 140,91 | 1,00 |
| Gram_Schmidt c/3 | 178,07 | 53,64 | 0,66 | 249,64 | 100,05 | 0,71 | 162,46 | 94,64 | 0,72 | - | - | - |
| Gram_Schmidt c/4 | 178,04 | 51,90 | 0,82 | 249,63 | 94,93 | 0,84 | 162,35 | 91,29 | 0,86 | 358,03 | 137,81 | 0,90 |
| CN Spectral sharpening c/3 | 341,00 | 121,15 | 0,51 | 474,05 | 186,61 | 0,68 | 299,14 | 155,94 | 0,80 | - | - | - |
| CN Spectral sharpening c/4 | 279,96 | 112,66 | 0,71 | 389,44 | 174,07 | 0,82 | 250,59 | 153,33 | 0,86 | 565,60 | 263,17 | 0,86 |
| PCA c/3 | 178,19 | 47,99 | 0,68 | 249,56 | 89,73 | 0,71 | 162,28 | 84,88 | 0,72 | - | - | - |
| PCA c/4 | 178,19 | 48,36 | 0,88 | 249,56 | 86,46 | 0,88 | 162,29 | 84,57 | 0,90 | 357,99 | 123,85 | 0,89 |

Tabela 2: Comparação entre os parâmetros estatísticos da imagem multiespectral original e da sintética simulada.

A comparação entre os histogramas (imagem original / imagem simulada) também revelou resultados interessantes. 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 exceção da banda 4 (**Figura 3**).

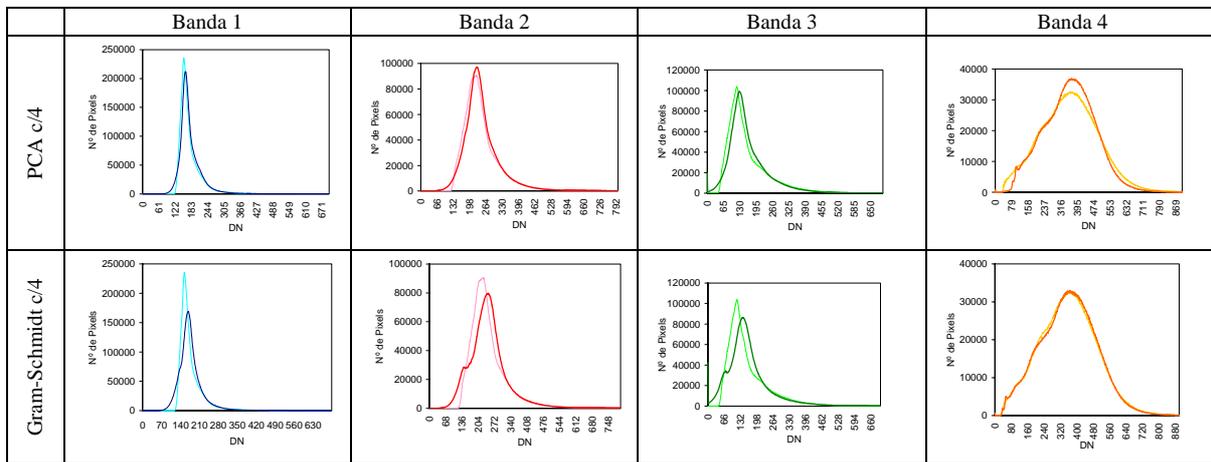


Figura 3: Histogramas comparativos das fusões Principais componentes e *Gram-Schmidt*. As linhas com cores mais claras representam os histogramas das imagens originais e as linhas mais escuras representam os histogramas das imagens sintéticas simuladas.

No teste 3, foram também as fusões *Gram-Schmidt* e Principais Componentes que tiveram os melhores resultados. Para estas técnicas aplicadas em quatro bandas, o valor da distância euclidiana média (D) foi de 77,44 para a primeira e de 70,51 para segunda. Considerando que, para fusão que utilizam quatro bandas com imagens de resolução radiométrica de 11bits o valor máximo de D pode ser 4096, os valores apresentados pelas imagens provenientes destas duas são muito pequenos e, portanto a variação de cores que estas técnicas geram é pequena.

5. Conclusões

Neste trabalho, foram avaliadas cinco técnicas de fusão quanto a capacidade de transferência de detalhes e conservação do conteúdo espectral com objetivo de escolher a mais adequada para uma cena urbana *Quickbird* do município de São José dos Campos-SP. As técnicas Principais Componentes e Gram-Schmidt, quando aplicadas em fusões com as quatro bandas multiespectrais, apresentam os melhores resultados para a cena em questão. A fusão Principal Componentes teve melhores resultados em quase todos os testes com exceção para o teste de transferência de detalhes, onde teve o segundo melhor resultado (o primeiro foi da técnica Gram-Schmidt).

Agradecimentos

À Empresa Intersat, que gentilmente cedeu às imagens *Quickbird* utilizadas neste experimento.

Referências

- Carter, D. B. **Analysis of Multiresolution Data Fusion Techniques**. 1998. 120p. Thesis (Master of Science in Geography) – Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 1998.
- Mather, P..M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction**. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.
- RSI (Research Systems, Inc). **ENVI User's Guide**. ENVI Version 4.0 September, 2003.
- Schowengerdt, R. A. **Spectral Transforms** in: Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. London: Academic Press, 1997. 522p.
- Smith, J. O. **Gram-Schmidt Orthogonalization** in: Mathematics of discrete Fourier transforms (DTF), http://www-ccrma.stanford.edu/~jos/mdtf/Gram_Schmidt_Orthogonalization.html
- Ventura, F. N. **Fusão de imagens de sensores remotos utilizando a transformação wavelet**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.
- Vrabel, J. Multispectral imagery band sharpening study. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 9, p. 1075-1083., 1996.
- Vrabel, J., Doraiswamy, P., McMurtrey, J., and Stern, A Demonstration of the Accuracy of Improved Resolution Hyperspectral Imagery. In: SPIE Symposium , 2002a. **Proceedings**.... SPIE Vol. 4725, p. 556-567, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VIII, Sylvia S. Shen; Paul E. Lewis; Eds.
- Vrabel, J., Doraiswamy, P., and Stern, A. "Application of Hyperspectral Imagery Resolution Improvement for Site-Specific Farming", ASPRS 2002 Conference **Proceedings**. 2002b.
- Wald, L. Some terms of reference in data fusion. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**. v. 37, n. 3, p.1190-1193, 1999.