

Fusão de imagens de Sensoriamento Remoto utilizando a Transformada Wavelet Haar

Osny Ferreira da Silva¹
Giovanni Araujo Boggione¹
Leila Maria Garcia Fonseca²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – CEFET–GO
Rua 75, n.º. 46, Setor Central, CEP: 74.055-110, Goiânia - GO - Brasil.
osny2006@30gigs.com, gab@cefetgo.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos – SP, BLrasil.
leila@dpi.inpe.br

Abstract. This work aims to present an image fusion method based on Haar Wavelet Transform. The proposed method is tested to combine panchromatic and multispectral bands and to produce a fused image with good spatial and spectral information. The hybrid images generated by fusion methods TW and HIS are compared visually and in terms of statistical measures. The results showed that the hybrid image TW captured the spectral information, from multispectral images, better than method IHS. In relation to spatial information, transferred to the hybrid image, both methods presented similar results.

Palavras-chave: image fusion, wavelet transform, Haar wavelet, fusão de imagens, transformada wavelet, wavelet Haar.

1. Introdução

A Transformada Wavelet (TW) alcançou grande desenvolvimento a partir da década de 80, acompanhando a evolução da tecnologia computacional. Desde então, esta ferramenta tem sido usada em várias aplicações de áreas diferentes tais como as da matemática, engenharia elétrica, geologia, meteorologia e outros. Na área de processamento digital de imagens, a TW tem sido utilizada para compressão, segmentação, registro, classificação e fusão de imagens (Fonseca, 1999; Fonseca e Costa, 1997; Ventura et al., 2002; Leonardi et al, 2005). Diferentemente da transformada de Fourier, a TW é caracterizada por uma boa localização nos domínios da frequência e espaço. Ou seja, as posições e os valores dos coeficientes da TW estão diretamente relacionados com os pixels (posição e valores de níveis de cinza) da imagem representada no domínio espacial (Gonzalez, 2002).

Este trabalho apresenta um método de fusão de imagens de sensoriamento remoto utilizando a Transformada Wavelet Haar, uma transformada simples, geralmente usada em algoritmos de compressão de imagens digitais.

2. Decomposição Wavelet

A Transformada Wavelet decompõe a imagem em sub-bandas com diferentes informações de conteúdo em frequência (detalhes). Em cada nível de decomposição quatro novas componentes (sub-bandas) com metade da resolução espacial e escala de entrada (pirâmide) são geradas. Nesta pirâmide, cada nível contém uma versão de filtragem passa-baixas (aproximação de baixa resolução) e três versões passa-altas (componentes com detalhes verticais, horizontais e diagonais) da imagem original. A **Figura 1** mostra o algoritmo de decomposição de uma imagem, onde a aplicação do filtro H (passa-baixas) produz uma imagem com resolução mais baixa e o filtro G (passa-altas) extrai os detalhes nas direções verticais e horizontais.

A forma como os filtros H e G são aplicados nas linhas e colunas da imagem, e definem o conteúdo em frequência das sub-bandas. A sub-banda LL representa os coeficientes de baixa

frequência e é conhecida por imagem de aproximação (filtragem passa-baixas nas direções das linhas e colunas). As sub-bandas LH, HL e HH representam respectivamente os coeficientes que contêm detalhes horizontais, verticais e diagonais da imagem. Nas componentes de detalhes, os filtros H e G são aplicados de forma diferente nas linhas e colunas, conforme mostra a **Figura 1**.

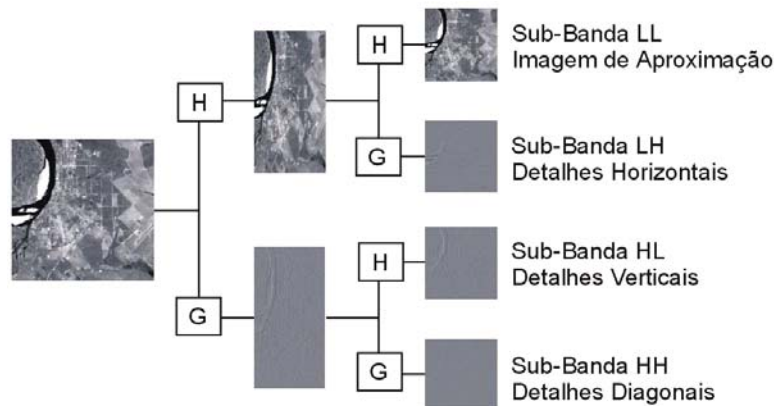


Figura 1 – Algoritmo de decomposição da imagem, por meio da TW, em múltiplas resoluções (um nível de resolução, neste caso).

A reconstrução da imagem original utiliza os filtros de síntese \tilde{G} e \tilde{H} , e segue o algoritmo mostrado na **Figura 2**.

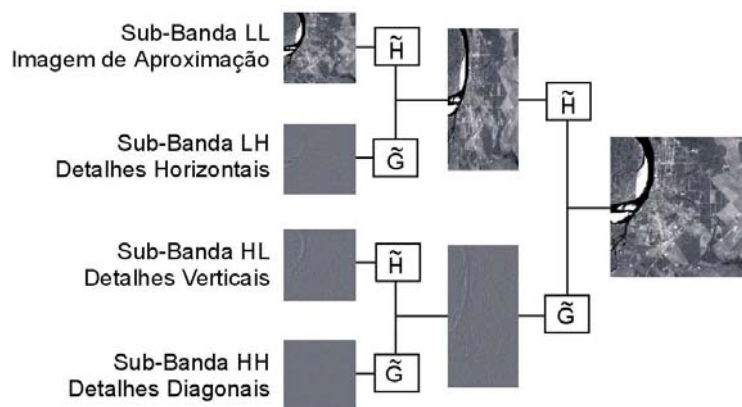


Figura 2 – Algoritmo de reconstrução da imagem.

3. Transformada Wavelet Haar

A Transformada Wavelet Haar é uma transformada linear simples e, basicamente, consiste na decomposição da imagem em duas componentes, uma de média e outra de diferença (Sendberg, 2006). Considerando duas amostras vizinhas e sucessivas a e b , uma transformada linear é aplicada para gerar os valores s e d , sendo s representado pela média aritmética e d pela diferença entre a amostra a e a média s , acrescido de 128. Tais procedimentos são executados em imagens quantizadas em 8 bits.

$$s = (a + b) / 2$$

$$d = (a - s) + 128$$

Numa imagem digital, a operação de média e diferença é aplicada em cada par de pixels representados pela posição e nível digital (ND). Os valores de média representam as componentes de baixa frequência da imagem. Os valores de diferença isolam as componentes de alta frequência, ou seja, os detalhes da imagem. Se os pixels da imagem original apresentarem alta correlação entre si, a imagem de baixa frequência será muito próxima da imagem original e a imagem de detalhe, representada pela diferença, terão valores praticamente nulos.

Os valores a e b podem ser recuperados aplicando a transformada inversa descrita a seguir:

$$a = (s + d) - 128 \qquad b = (s - d) + 128$$

A **Figura 3** ilustra o exemplo de um vetor numérico decomposto e novamente reconstruído utilizando a Transformada Wavelet Haar.

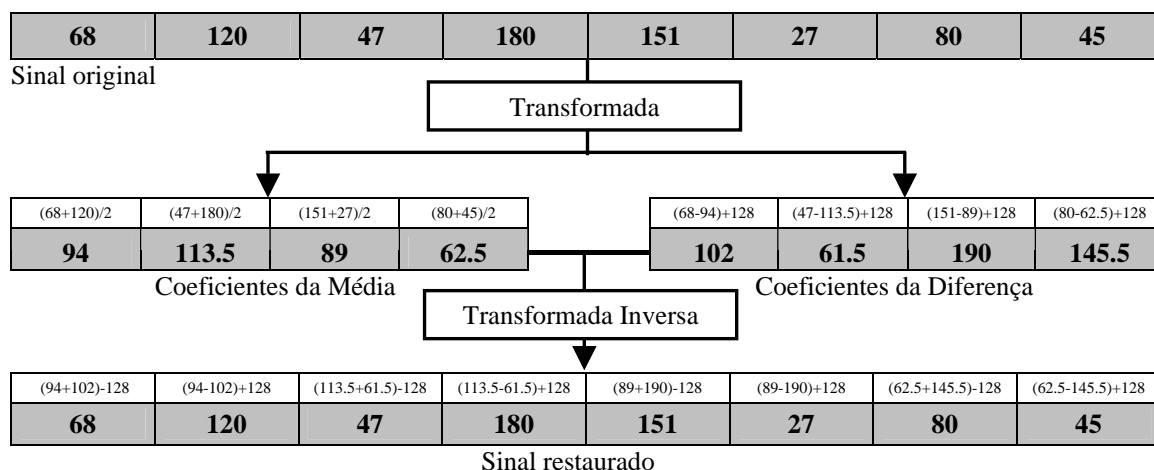


Figura 3 - Exemplo da transformada direta e inversa de Haar.
Adaptado de Norum (2002)

4. Fusão de Imagens utilizando TW

A fusão de imagens utilizando a Transformada Wavelet, em geral, é realizada através da decomposição de uma imagem de alta resolução espacial até um determinado nível j (pirâmide). Nesta pirâmide, a sub-banda de aproximação (LL), no último nível da decomposição, é substituída por uma imagem de baixa resolução espacial que contenha a informação espectral de interesse. Em seguida, a Transformação Wavelet inversa é aplicada para produzir uma imagem híbrida com melhores características espaciais e espectrais.

Para que a substituição da sub-banda LL seja possível, é necessário que as dimensões desta sub-banda (numero de linhas e colunas) sejam iguais às dimensões da banda de baixa resolução espacial que a substituirá. Como já observado, em nível de decomposição as novas sub-bandas são geradas com a metade das dimensões da banda decomposta. Assim, é necessário que a relação entre as dimensões das bandas a serem fundidas seja igual a uma potência de dois. Caso isto não ocorra deve-se reamostrar as imagens para adequá-las a esta relação.

A **Figura 4** mostra o esquema geral de um algoritmo de fusão de imagens baseado na Transformada Wavelet.

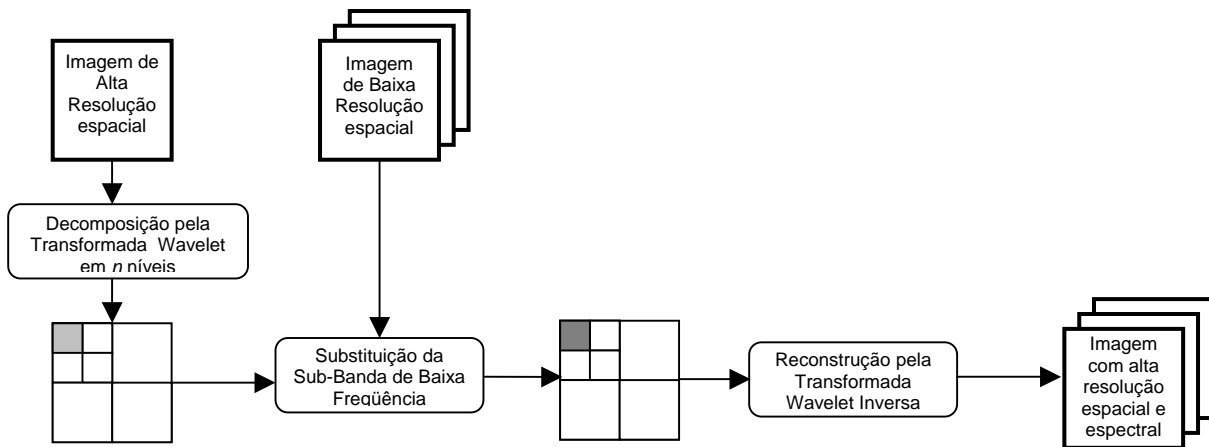


Figura 4 - Esquema geral de um algoritmo de fusão de imagens baseado na TW.

5. Metodologia

A Figura 5 apresenta o esquema do algoritmo de fusão baseado na TW Haar proposto neste trabalho. A imagem de alta resolução espacial é decomposta em tantos níveis quanto necessários, até que as dimensões (linhas e colunas) da sub-banda de aproximação sejam idênticas às dimensões da banda de baixa resolução espacial que a substituirá.

Após a aplicação da Transformada Wavelet inversa, o filtro de mediana foi aplicado sobre a imagem reconstruída com o objetivo de reduzir o efeito *aliasing* (Gonzalez, 2002) presentes em algumas bordas das imagens. Este filtro foi escolhido pelo fato de não alterar, significativamente, as estatísticas e a resolução espacial da imagem.

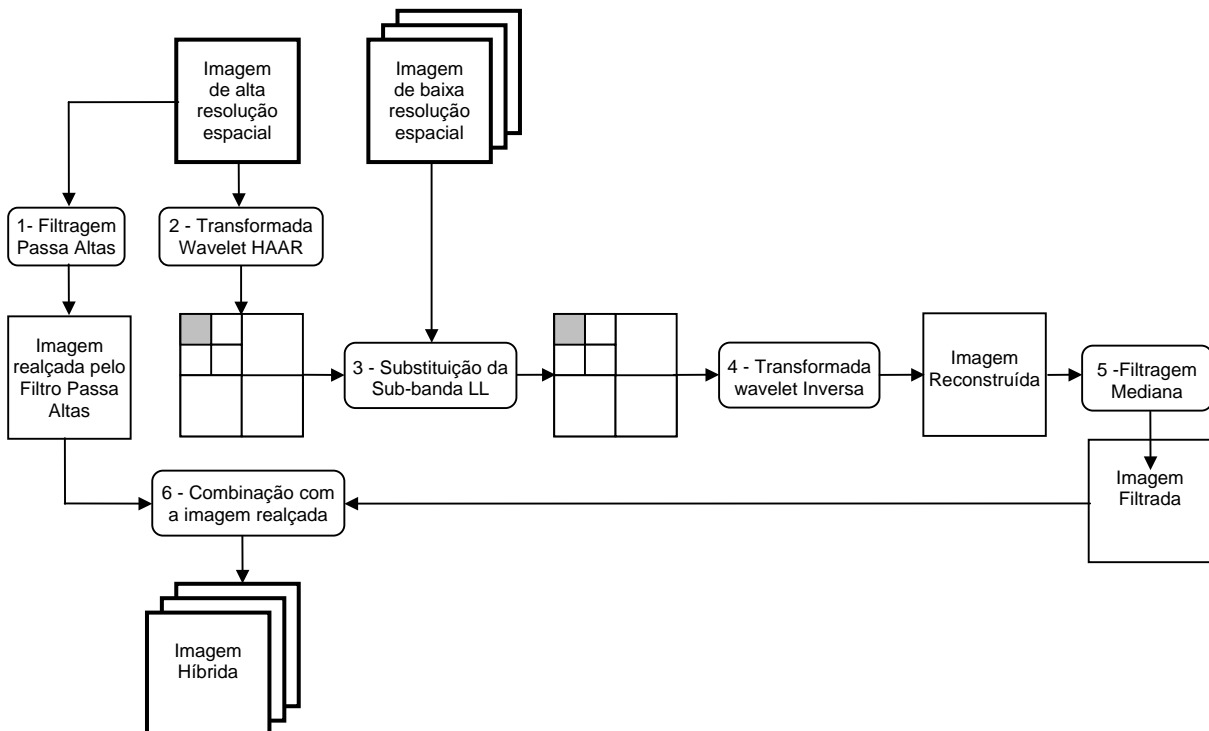


Figura 5 – Algoritmo proposto para a Fusão de imagens baseada na Transformada Haar.

A imagem de alta resolução espacial é filtrada por um passa-altas Laplaciano para gerar uma imagem realçada. Esta imagem realçada é combinada com a imagem híbrida, gerando assim a imagem híbrida final.

Esta combinação é realizada através de uma média ponderada pixel a pixel, atribuindo-se peso 3 para o pixel da imagem híbrida e peso 1 para o pixel da imagem realçada. Os pixels que extrapolarem o intervalo de 0 a 255 são corrigidos respectivamente para 0 e 255.

6. Resultados

No experimento apresentado foi utilizada uma imagem do sensor ETM+ do Landsat-7 do município de Cristalina no Estado de Goiás, abrangendo parte da área agrícola do município, destacando-se a presença de vários pivôs centrais de irrigação na imagem, com objetivo de estudar a transferência espectral espacial do processo de fusão proposto, embora a transferência espacial seja pouco evidente pela falta de feições lineares na amostra.

A fusão foi realizada com a banda pancromática (15 metros) e as bandas multiespectrais 1, 2 e 3 (30 metros). O resultado é comparado, visualmente e por meio de parâmetros estatísticos, com o resultado da fusão pelo método convencional de IHS. As imagens são associadas ao sistema RGB, respectivamente, pelas bandas 3, 2 e 1. A imagem colorida original R3G2B1 e a banda pancromática são ilustradas na **Figura 6a e 6b**, respectivamente.

As **Figuras 6c e 6d** apresentam os resultados da fusão IHS e fusão baseada na transformada Haar na composição R3G2B1, respectivamente. Pode-se observar, na **Figura 6d**, o ganho efetivo na resolução espacial como contribuição da imagem pancromática, quando comparado com a imagem original (**Figura 6a**) e a semelhança espacial com a imagem híbrida IHS (**Figura 6c**). Ou seja, os dois métodos de fusão IHS e TW foram eficientes na transferência dos detalhes (informação espacial), presentes na banda pancromática, para o produto híbrido, resultado do processo de fusão.

Por outro lado, a imagem híbrida TW apresentou cores bem mais próximas às cores da imagem original, evidenciando melhor eficiência do método proposto com relação a transferência da informação espectral da imagem original para a imagem híbrida. A imagem híbrida IHS produziu, em vários pontos da imagem, alterações visuais significativas nas cores herdadas da imagem de alta resolução espacial (pancromática).

A **Tabela 1** apresenta os valores de coeficientes de correlação entre as imagens original e as híbridas IHS e TW. Os valores dos coeficientes de correlação são um indicativo da semelhança das informações espectrais entre as imagens híbridas e a original.

Tabela 1 - Coeficientes de Correlação

Bandas	Modelo de Fusão	
	<i>Wavelet</i> Haar	IHS
Banda 1 - Azul	0,9881	0,6758
Banda 2 - Verde	0,9891	0,6942
Banda 3 - Vermelho	0,9890	0,8138

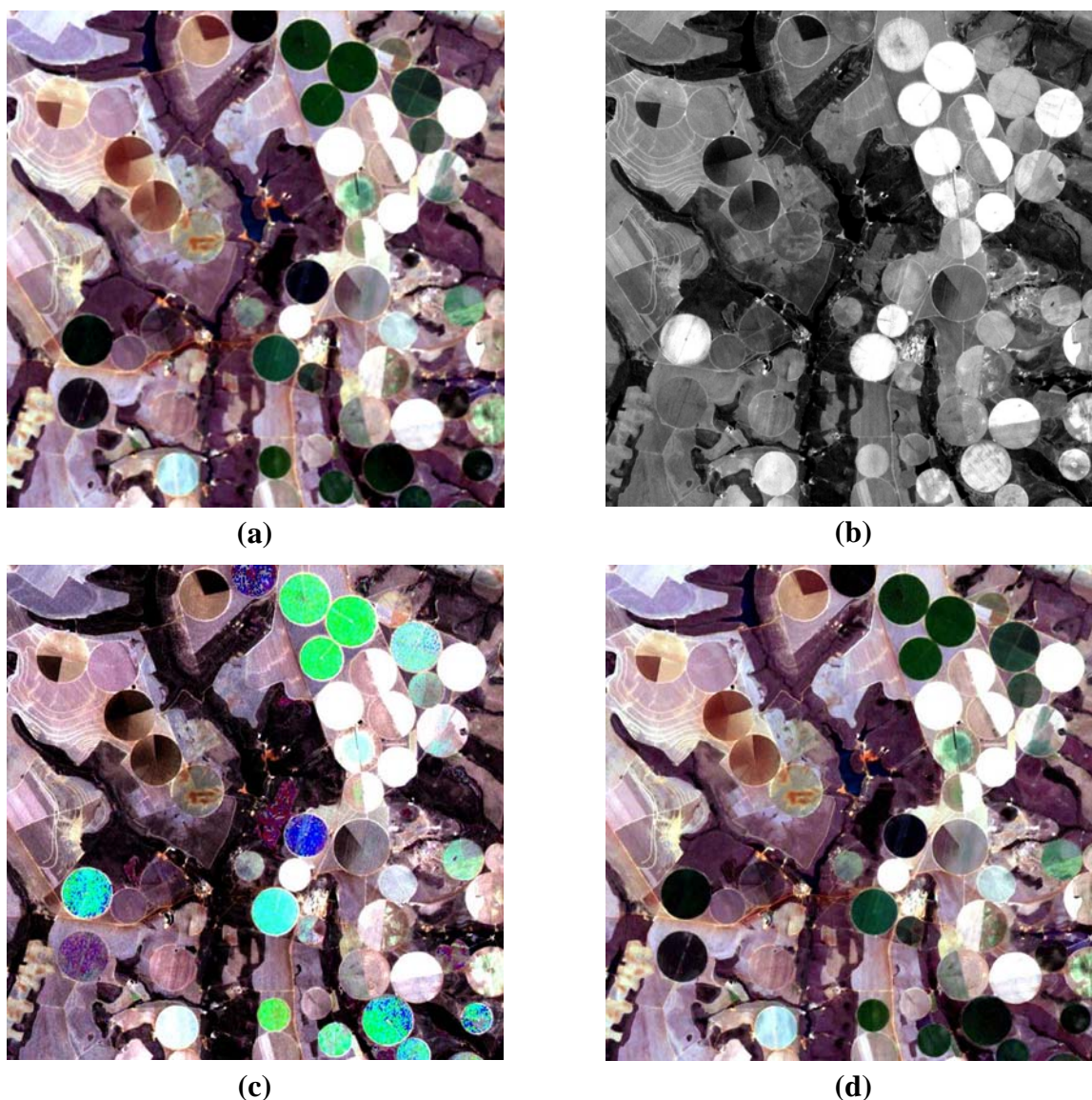


Figura 6 – Comparação dos resultados da fusão IHS e da transformada Haar. (a) imagem Ikonos R3G2B1 original (30 m); (b) imagem Ikonos pancromática (15 m); (c) imagem híbrida IHS (15 m); (d) imagem híbrida TW (15 m).

De forma análoga, foi realizado um outro experimento utilizando uma imagem IKONOS (convertida de 11 para 8 bits), do município de Guaxupé-RS. A fusão foi realizada com a banda pancromática (1 metro) e as bandas multiespectrais 1, 2 e 3 (4 metros). O resultado é comparado tal como o experimento anterior. A imagem colorida original R3G2B1 e a banda pancromática são ilustradas na **Figura 7a e 7b**, respectivamente.

As **Figuras 7c e 7d** apresentam os resultados da fusão IHS e fusão baseada na transformada Haar na composição R3G2B1, respectivamente. Percebe-se, portanto, que o método proposto também é eficiente para um conjunto de imagens de alta resolução. Esta eficiência fica comprovada ao serem analisadas as feições lineares herdadas da imagem pancromática e a transferência de cores herdada da composição colorida.

A **Tabela 2** apresenta os valores de coeficientes de correlação entre as imagens original e as híbridas IHS e TW. Os valores dos coeficientes de correlação são um indicativo da semelhança das informações espectrais entre as imagens híbridas e a original.

Tabela 2 - Coeficientes de Correlação

Bandas	Modelo de Fusão	
	<i>Wavelet Haar</i>	IHS
Banda 1 - Azul	0,8715	0,3161
Banda 2 - Verde	0,8541	0,2348
Banda 3 - Vermelho	0,8871	0,3255



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6 – Comparação dos resultados da fusão IHS e da transformada Haar. (a) imagem IKONOS original (4 m); (b) imagem IKONOS pancromática (1 m); (c) imagem híbrida IHS (1 m); (d) imagem híbrida TW (1 m).

7. Conclusão

Este trabalho apresentou um método de fusão de imagens de Sensoriamento Remoto baseado na Transformada Wavelet Haar. O método foi testado primeiramente para combinar a informação espacial da banda pancromática e a informação espectral das bandas 1, 2 e 3 do sensor ETM+ do Landsat 7 e num outro experimento combinar a informação espacial da banda pancromática e a informação espectral das bandas 1, 2 e 3 do IKONOS. O produto híbrido obtido pelo método de fusão TW foi comparado com o produto híbrido obtido pela fusão IHS.

Pelos resultados, foi observado que o método de fusão TW foi eficiente na transferência da informação de detalhes e da informação espectral das bandas pancromática e multiespectrais, respectivamente, para o produto híbrido. Em termos de transferência de informação de detalhes para a imagem híbrida, os métodos IHS e TW tiveram resultados semelhantes. Em contrapartida, o método de fusão TW foi mais eficiente do que o método IHS na preservação das cores do produto híbrido.

8. Referências Bibliográficas

Fonseca, L.M.G., **Registro automático de imagens de sensoriamento remoto baseado em múltiplas resoluções**, thesis, INPE, São Jose dos Campos, 1999 (INPE-7502-TDI/717)

Gonzalez, R.C.; Woods, R.E. **Digital Image Processing**. Second Edition. Prentice-Hall, Inc, 2002. ISBN 0-201-18075-8.

Leonardi, S.S.; Ortiz, J. O.; Fonseca, L.M.G. Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12.,2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 4111-4113.

Fonseca, L.M.G; Costa, M. H. M.; **Automatic Registration of Satellite Images**. X Brazilian Symposium of Computer Graphic and Image Processing, Campos de Jordao, SP, p.219-226, October 13-16, 1997.

Norum, C.J.; **The Discrete Wavelet Transform**. A Software Demonstration Package, 2002. Disponível em: <<http://www.norum.ca/carl/wavelet/wavelet.tgz>>. Acesso em julho, 2006.

Sandberg, K. The Haar wavelet transform. University of Colorado at Bourder. Dept of Applied Mathematics. Disponível em: <<http://amath.colorado.edu/courses/4720/2000Spr/Labs/Haar/haar.html>>. Acesso em junho, 2006.

Ventura, F.; Fonseca, L.M.G.; Rosa, A.N.S. **Remotely Sensed Image Fusion Using The Wavelet Transform** . In: 29th International Symposium on Remote Sensing of Environment. 8-11 April 2002 Buenos Aires, Argentina.