

Fusão de imagens IRS-1C e Landsat 5 utilizando método aditivo de sub-bandas

Miguel Archanjo Bacellar Goes Telles Junior^{1,2,3}
Antônio Nuno de Castro Santa Rosa¹

¹ Universidade de Brasília –IG/UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro – ICC Sul – 70910-000 – Brasília-DF, Brasil
miguel@cic.unb.br – nunos@unb.br

² Centro de Ensino Universitário de Brasília – FAET/UniCEUB
SEPN 707/907 – Campus do UniCEUB – 70790-075 - Brasília-DF, Brasil
miguel045243@ceub.br

³ Ministério da Defesa – Comando do Exército - COTER
QG Ex bloco H – 1º piso –SMU – 70630-901 – Brasília – DF, Brasil

Abstract. The objective of this research is to present the results and analysis of a new method of image fusion based on the wavelet transform and multi-resolution analysis. The goal of image fusion is to aggregate the spatial and spectral advantages of two different images in a single synthetic product. The researched methods until now made fusion and resampling in one step. The proposed method splits fusion and resampling into two steps, and it can use different bases in the fusion and resampling steps. For this study we used remote sensing images from the following satellites: Landsat 5 and IRS-1C. The results were compared with those obtained by the IHS method. The proposed method is a new tool to fuse remote sensing images. The statistical analysis showed good results regarding this new method in the study case considered in this paper.

Palavras-chave: transformada *wavelet*, fusão de imagens, biortogonal, sensoriamento remoto, wavelet transform, image fusion, biorthogonal, remote sensing.

1. Introdução

A fusão das imagens dos satélites Landsat 5 e IRS-1C é realizada utilizando o método aditivo de sub-bandas Telles (2003). Este método é dividido em duas etapas: fusão e reamostragem, ambas utilizando a transformada *wavelet* (TW) e a análise em multiresolução (AMR). Os resultados obtidos com a fusão são comparados com os resultados encontrados com o método IHS Carper *et al.* (1990).

A aplicação da transformada *wavelet* em processamento digital de imagens (PDI) é uma consequência natural da evolução dos métodos baseados na análise do espectro das frequências obtido por intermédio da transformada. O tratamento computacional da transformada *wavelet* é feito por intermédio dos algoritmos que operam sobre os dados em diferentes escalas ou resoluções.

Para que a fusão de imagens possa ser realizada é necessário que elas estejam sob um mesmo sistema de coordenadas, ou que tenham sido pré-processadas, de tal forma que estejam representando a mesma região espacial. Isto é chamado de alinhamento ou georreferenciamento, após o qual as imagens podem ser superpostas e operações matemáticas podem ser realizadas em cada pixel. São diversos os fatores que têm influência na qualidade da fusão das imagens, entre eles, a data de aquisição, pois variações nas condições meteorológicas e de iluminação podem facilitar, restringir ou dificultar o processamento.

2. Transformada *wavelet* e análise em multiresolução

A transformada *wavelet* insere-se no conceito das imagens piramidais, às quais são imagens transformadas e onde se formam cópias da imagem em diferentes resoluções Watt e Policarpo

(1998). Uma imagem piramidal pode ser definida como a imagem base da pirâmide, sendo a mais alta e com maior resolução, junto a cópias mais baixas de menor resolução. A *wavelet* é definida como um tipo de banda passante, com a diferença de armazenar separadamente os detalhes da imagem por meio das informações horizontais (LH), diagonais (HH) e verticais (HL). As informações dos espectros das imagens são armazenadas na banda de aproximação (LL).

Os detalhes ou bordas em uma imagem são contornos simples e conectados, com espessura de um pixel, situados no centro de duas regiões adjacentes com uma considerável diferença entre seus níveis de cinza Vliet *et al.* (1988). As imagens de detalhes nada mais são que a representação das bordas, em cada uma das direções obtidas pela transformada.

A TW é capaz de diferenciar na imagem partes representadas em diferentes resoluções Watt e Policarpo (1998). Ela é um método adaptativo, pois consegue tratar partes de uma imagem de modos diferentes. Além de possuir suporte compacto, as *wavelets* possuem as seguintes características:

- O número de pixels da transformada é igual ao número de pixels da imagem;
- A transformada possui uma estrutura recursiva, com resolução em nível de árvore.

A TW contínua é obtida reunindo-se as propriedades de dilatação e translação em um único protótipo de função de base. Com isso, obtemos funções *wavelet* contínuas ortonormais, onde as dilatações e as translações são dadas por duas variáveis nomeadas a e b , respectivamente.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (1)$$

A série e a transformada *wavelet* discretas serão então definidas como:

$$f(t) = \sum_{m \rightarrow -\infty}^{\infty} \sum_{n \rightarrow -\infty}^{\infty} \langle f, \Psi_{m,n} \rangle \Psi_{m,n}(t) = \sum_{m \rightarrow -\infty}^{\infty} \sum_{n \rightarrow -\infty}^{\infty} C_{m,n} \cdot \Psi_{m,n}(t). \quad (2)$$

Nossa percepção do universo utiliza o conceito de escala, onde cada observação realizada é feita em uma escala adequada para a compreensão dos diferentes detalhes de que precisamos. Por intermédio da aplicação deste conceito podemos construir famílias de *wavelets* discretas e desenvolver algoritmos rápidos para o cálculo da transformada. A AMR parte da existência de duas funções básicas, uma função *wavelet* mãe $\Psi(t)$ e uma função de escala mãe $\phi(t)$, ortogonais entre si e tais que, ao longo dos diversos níveis de resolução, as várias funções de escala $\phi_{m,n}(t)$ e *wavelet* $\Psi_{m,n}(t)$ estão relacionadas às respectivas funções-mãe por meio das seguintes equações:

$$\phi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \phi(2^m t - n), \quad (3)$$

$$\Psi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \Psi(2^m t - n). \quad (4)$$

Os níveis de resolução são descritos sob a forma de um aninhamento de espaços de função, onde cada espaço de maior resolução contém os espaços de menor resolução, conforme expresso abaixo:

$$\dots \subset V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \quad (5)$$

A transformada *wavelet* bidimensional de uma imagem é obtida aplicando-se a transformada unidimensional às colunas da imagem depois, sobre as linhas. Isto é possível uma vez que a transformada *wavelet* é uma transformação unitária e, sendo assim, a transformada bidimensional torna-se separável caindo no caso da aplicação, da transformada unidimensional sobre cada dimensão da imagem.

3. Fusão de imagens

Fusão de imagens pode ser definida como a combinação de duas ou mais imagens diferentes que irão formar uma nova imagem pelo uso de um algoritmo Pohl (1998). Executar a fusão em nível de pixel significa: fundir no mais baixo nível de processamento e corresponde à fusão de parâmetros físicos da imagem. Neste método, dados em formato raster têm de estar registrados. Wald (1999).

A correção geométrica tem por objetivo assegurar que as imagens a serem fundidas representem o mesmo espaço independente de terem sido adquiridas por diferentes sensores e possuírem diferentes resoluções espaciais.

O objetivo de efetuar a fusão de imagens pancromáticas, com maior resolução espacial e imagens multiespectrais, com menor resolução espacial é incrementar os detalhes da imagem e preservar a informação espectral. O resultado é uma imagem sintética com resolução espacial da imagem pancromática e contendo informações espectrais.

Os métodos existentes para a execução da fusão de imagens são procedimentos aritméticos ou técnicas de substituição de componentes como *Intensity-Hue-Saturation* (IHS) e substituição de Componente Principal (PCA) Carper *et al.* (1990) e Shettigara (1992). Estas técnicas são válidas para produzir imagens para a interpretação visual, pois realçam a textura. Por outro lado, esses métodos podem levar a significantes distorções na resolução radiométrica das imagens sintéticas.

A correção radiométrica consiste no ajuste do brilho e do contraste da imagem pancromática, com o brilho e o contraste das bandas espectrais. Ela é necessária, pois a qualidade da fusão depende fortemente da correlação entre as imagens.

4. Método de fusão aditivo de sub-bandas

O método de fusão utilizado nesta pesquisa é realizado em duas etapas: fusão e reamostragem. o objetivo é permitir o uso de diferentes funções de base para a transformada *wavelet* em cada uma das etapas com diferentes possibilidades em relação aos níveis de fusão e reamostragem.

Antes da fusão e reamostragem, há uma etapa de pré-processamento na qual as imagens são avaliadas quanto à razão entre seus números de linhas e colunas. Isto é feito por dois motivos: verificar se a razão entre elas é uma potência de dois, e se não for uma reamostragem da imagem é feita para a potência de 2 mais próxima, e para isso, é utilizado o interpolador vizinho mais próximo.

A etapa de fusão é dividida em três fases: decomposição, soma de sub-bandas e fusão propriamente dita. A soma de sub-bandas é utilizada como uma etapa intermediária da fusão, e seu objetivo é enriquecer a sub-banda LL da imagem multiespectral, com os coeficientes de detalhes das sub-bandas LH, HL e HH da imagem pancromática por intermédio de uma soma direta entre os coeficientes das sub-bandas de detalhes da imagem pancromática e de aproximação da imagem multiespectral. Essa soma irá produzir uma imagem \tilde{B} , com informação espectral e detalhes da imagem pancromática no nível intermediário de fusão.

A fusão é feita a partir das imagens \tilde{B} e multiespectral. Nesta etapa as imagens possuem a mesma dimensão e são decompostas em um nível de fusão $I_{Fusão}$, ocorrendo nesse nível, a substituição da sub-banda LL de \tilde{B} pela sub-banda LL da imagem multiespectral, sendo produzida a imagem sintética $\tilde{\tilde{B}}$ que é reconstruída, terminando desta forma a etapa de fusão. A **Figura 3** apresenta o fluxograma da fusão de imagens.

Para a etapa de reamostragem é necessário que a imagem pancromática tenha seu histograma ajustado com o histograma da imagem multiespectral. Esse ajuste aproxima os valores de média e variância da imagem pancromática aos valores de média e variância da imagem multiespectral. O diagrama da reamostragem pode ser observado na **figura 4**.

O algoritmo de escala é utilizado para calcular a razão entre as imagens. O resultado é um nível mínimo de reamostragem l_R , a partir do qual as imagens podem ser decompostas pela transformada *wavelet*.

A reamostragem pela TW é realizada decompondo a imagem pancromática ajustada e a imagem \tilde{B} , em um nível de reamostragem $\geq l_R$. Uma vez decompostas no nível de reamostragem, é feita a substituição da sub-banda LL da imagem pancromática ajustada pela sub-banda LL da imagem \tilde{B} . Após a substituição, é utilizado o Algoritmo Aditivo com Fator de Compensação de Cor (AAFCC), proposto por Ventura (2002), para a seleção dos coeficientes de detalhes da transformada *wavelet* inversa.

O AAFCC é utilizado para permitir que parte dos coeficientes de detalhes da imagem multiespectral seja introduzida na imagem sintética para compensar a perda de informação espectral nas bordas dessa imagem. Os detalhes da imagem multiespectral são inseridos em função do fator de correlação entre a imagem pancromática ajustada e a imagem \tilde{B} .

Após a reconstrução é obtida a imagem sintética com resolução espacial da imagem pancromática original e com informação espectral da imagem multiespectral de menor resolução espacial.

5. Fusão de imagens Landsat 5 e IRS-1C

A fusão das imagens desta pesquisa é um experimento que utiliza múltiplos sensores, onde foram selecionadas as bandas espectrais dos satélites Landsat 5 e IRS-1C. As imagens utilizadas foram da região de Anápolis – GO e adquiridas em 8 e 9 de junho de 1999, respectivamente.

As bandas utilizadas foram as bandas TM3, TM4 e TM5 do sensor TM e a banda pancromática do IRS-1C, que teve seu histograma ajustado a cada uma das bandas do sensor TM. Todo o processamento foi feito a partir dessas bandas ajustadas.

A fusão foi realizada em um nível de decomposição 3 e a reamostragem em um nível de decomposição 4. Os filtros biortogonais utilizados foram propostos por Cheong *et al.* (1992).

Na **figura 6** é apresentada a imagem fundida pelo método IHS. Observa-se que houve variação da informação espectral e aumento da resolução espacial. Verifica-se que a resposta dos alvos, em geral, foi atenuada. Isto se deve ao fato de que as bandas 5 e 4 do TM encontram-se fora do intervalo espectral da banda pancromática do IRS-1C.

A **figura 7** apresenta a imagem sintética, resultado da fusão e reamostragem. Nela as bordas apresentam-se preservadas ocorrendo perda de contraste, pois as bandas 5 e 4 do sensor TM localizam-se fora do intervalo espectral da banda pancromática. No entanto, o espectro está mais próximo da imagem original quando comparado com a imagem IHS.

A **figura 5** apresenta detalhes das imagens multiespectral, sintética e pancromática. Na **figura 5a** mostra-se um detalhe da pista de pouso com problemas associados à aquisição ou ao pré-processamento. Na **figura 5b**, o problema aparece solucionado pois, no processo de fusão predominam os detalhes da imagem pancromática. A **figura 5c** apresenta a comparação das bordas preservadas na imagem sintética em relação à **figura 5d**, que corresponde à uma imagem pancromática. As **figuras 5e** e **5f** apresentam a preservação dos detalhes (bordas) em uma área pouco habitada. A **figura 5g**, aumentada em duas vezes, apresenta o espectro original da área das **figuras 5e** e **5f**. Percebe-se que o mesmo foi pouco alterado pela fusão.

As medidas estatísticas da fusão são apresentadas na **tabela 1**. Há uma forte correlação entre os dados. A baixa correlação na banda 4 ocorre porque o alvo predominante na cena é área urbana, a qual possui baixa resposta espectral nessa banda. As demais bandas apresentam uma correlação melhor, pois apresentam respostas espectrais mais altas para os alvos da cena. No caso das áreas urbanas, as banda 3 e banda 5 possuem respostas altas, maior nesta última. A vegetação apresenta uma resposta menor na banda 3 do que na 4 e 5, mas como o alvo predominante é a área urbana, a correlação da banda 3 não foi muito menor quanto a observada na banda 4.

Para a comparação entre o processo de reamostragem proposto e o método IHS, a imagem multiespectral original foi reamostrada ao tamanho da imagem pancromática original. Foi produzida uma imagem pancromática com o histograma ajustado a cada uma das bandas espectrais originais. A **tabela 2** apresenta os valores das estatísticas para essas imagens. Da análise da tabela, avalia-se que o método IHS teve o seu contraste melhorado neste caso, embora essa melhora não signifique espectro preservado. O método proposto obteve resultados inferiores na reamostragem ao método IHS, apresentando pouca variação de contraste.

O gráfico da **figura 1** apresenta uma medida de contraste obtida da subtração do valor do desvio padrão do valor da média. Esse gráfico mostra quanto o desvio padrão afasta-se da média, quanto maior, melhor o contraste na imagem. Verifica-se ainda que as imagens sintéticas e a TM reamostrada apresentam contraste maior do que a imagem IHS, pois seus valores de desvio padrão distanciam-se mais da média que aqueles da imagem IHS. A banda 3 apresenta baixo contraste, em diferentes valores, para todas as bandas, o que pode ser explicado pelos baixos valores da média encontrados para todas as bandas.

No gráfico da correlação da **figura 2**, observa-se que as bandas pancromáticas e IHS apresentam boa correlação. As imagens sintéticas e a TM reamostrada correlacionam-se bem em todo o espectro. A banda 4 apresenta a mais baixa correlação em relação à banda pancromática, devido à sua baixa resposta espectral para o alvo dominante na cena e por não estar no intervalo da banda pancromática.

6. Conclusão

A divisão do método em duas etapas (fusão e reamostragem), trouxe o benefício de se poder realizar a fusão e a reamostragem em diferentes níveis, independentes entre si, assim como o uso de diferentes bases (filtros) para cada uma dessas etapas.

A análise dos resultados permitiu concluir que:

- O método proposto preserva melhor a informação espectral que o método IHS;
- No método IHS, há uma perda de resolução espectral, principalmente para as bandas não compreendidas no intervalo espectral da banda de maior resolução;
- A imagem sintética produzida pelo método proposto apresenta as mesmas dimensões da banda de maior resolução, o que, via de regra não acontece com o método IHS.

As imagens utilizadas nesse estudo apresentaram diferentes: intervalos espectrais, resoluções espaciais, datas de aquisição e geometrias de aquisição possibilitando a demonstração de uma grande flexibilidade do método proposto em fundir imagens de diferentes sensores, com bases e níveis de decomposição e fusão diferentes.

Os experimentos realizados demonstraram também as possibilidades da aplicação das imagens sintéticas produzidas pelo método proposto em atividades de monitoramento ambiental, defesa, uso do solo, ocupação urbana, entre outras.

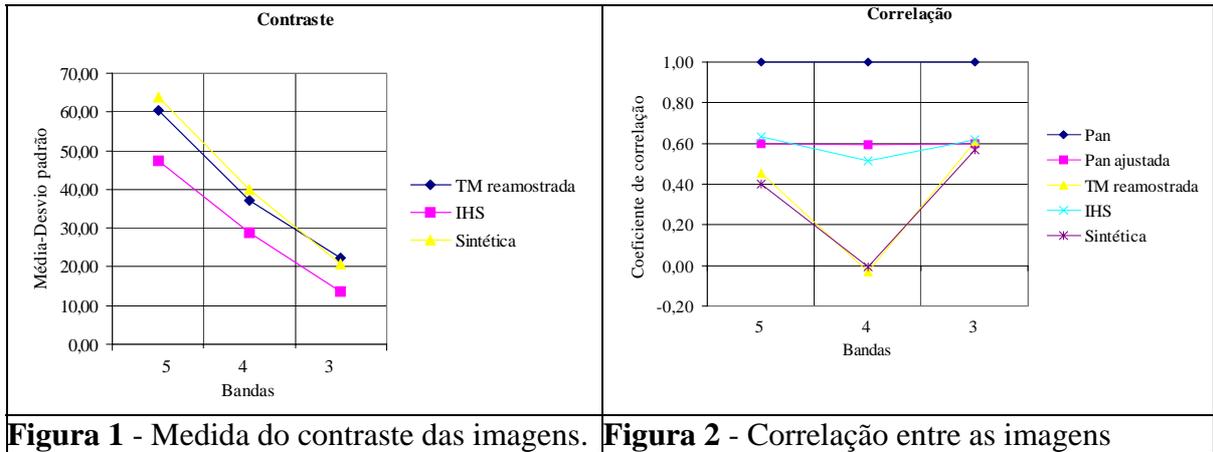


Figura 1 - Medida do contraste das imagens. **Figura 2** - Correlação entre as imagens

Tabela 1 - Estatísticas da fusão.

Bandas	Correlação	Média	Desvio padrão
TM5	1,00	78,05	17,71
Fundida_5	0,70	77,91	18,08
TM4	1,00	46,23	9,21
Fundida_4	0,65	46,29	10,01
TM3	1,00	33,72	11,29
Fundida_3	0,71	33,79	12,17

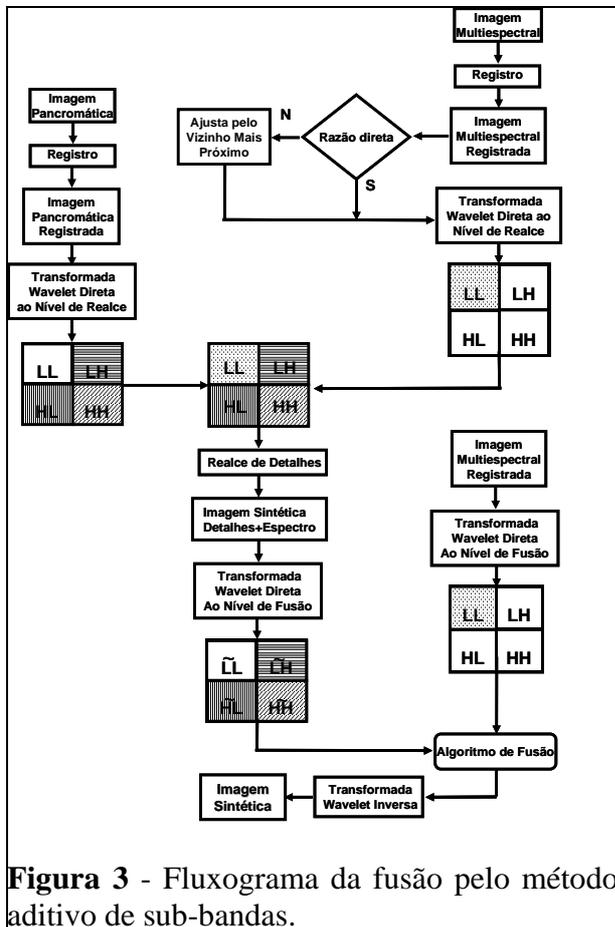


Figura 3 - Fluxograma da fusão pelo método aditivo de sub-bandas.

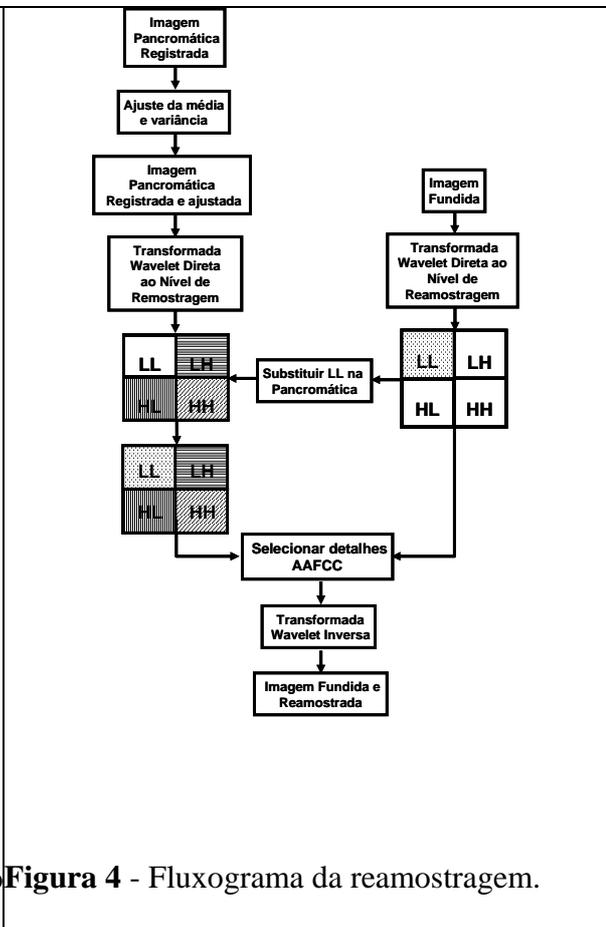


Figura 4 - Fluxograma da reamostragem.

Tabela 2 - Estatísticas da reamostragem.

Banda	Correlação	Média	Desvio padrão
Pan	1,00	90,76	12,24
Pan_TM5	0,60	84,73	22,64
TM5_R	0,45	78,05	17,71
IHS_TM5	0,63	103,61	56,32
Sintética 5	0,40	85,04	21,15
Pan	1,00	90,76	12,24
Pan_TM4	0,60	50,90	11,23
TM4_R	-0,03	46,24	9,21
IHS_TM4	0,51	59,21	30,32
Sintética 4	0,06	50,71	12,30
Pan	1,00	90,76	12,24
Pan_TM3	0,60	33,22	11,41
TM3_R	0,61	33,72	11,30
IHS_TM3	0,62	47,38	33,89
Sintética 3	0,57	33,42	12,63

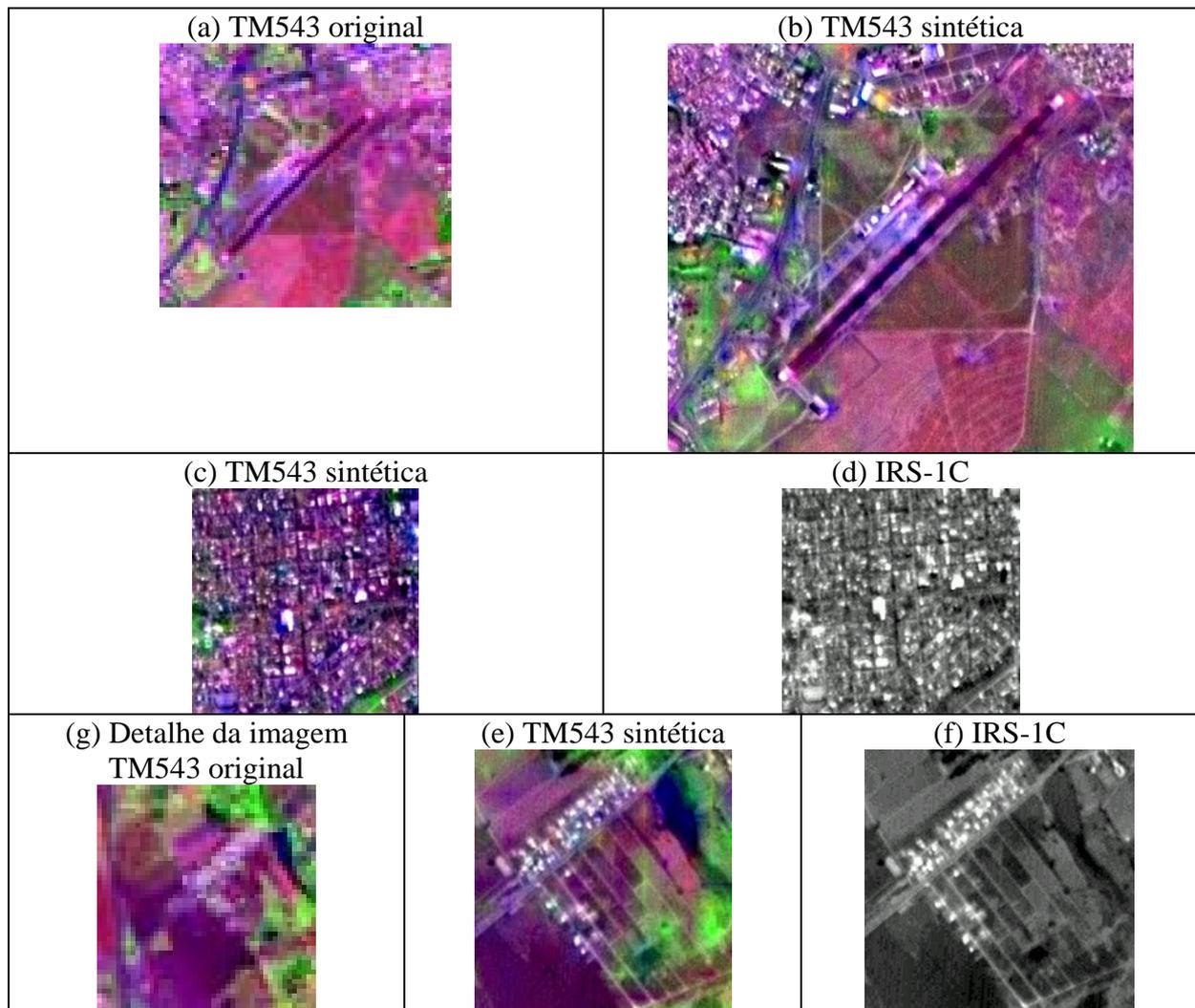


Figura 5 – Imagens de detalhes.



Figura 6 - Imagem TM543 fundida pelo método IHS.

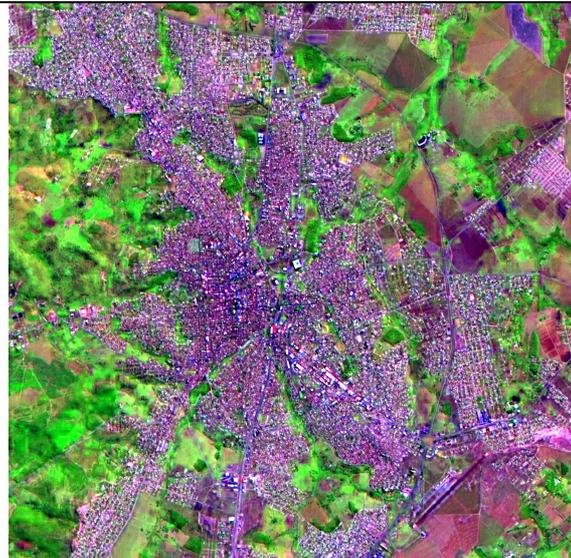


Figura 7 - Imagem sintética TM543.

7. Referências bibliográficas

- Carper, W. J.; Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 56, n. 4, p. 459-467, 1990.
- Cheong, C.; Aizawa, K.; Saito, T; Hatori, M. Subband image coding with biorthonormal wavelets, **EICE Trans. Fundamentals of Eletronics, Communications and Computer Sciences**. p. 871-881. 1992.
- Fonseca, L. M. G.; Manjunath, B.S. Registration techniques for multisensor remotely sensed imagery. **Journal of Photogrammetry Engineering & Remote Sensing**. Vol. 62 (9). p. 1049-56, Sep. 1996.
- Garguet-Duport, B; Girel, J; Chassery, J; Pautou, G. The use of multiresolution analysis and wavelets transform for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. Vol. 62. n. 9. p. 1057-1066. Sep. 1996.
- Mallat, S. A Theory form multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.11, n. 7, p. 674-693, 1989.
- Pohl, C., Genderen, J.L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 19, n. 5, p.823- 854. 1998.
- Shettigara, V. K. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v 58, n. 5, p.561-567, 1992.
- Telles Jr, M. A. B. G. **Fusão de Imagens de Sensoriamento Remoto Utilizando a Transformada Wavelet**. 2003. 127p. Dissertação de Mestrado em Computação – Universidade de Brasília, Brasília. 2003.
- Ventura, F. N. **Fusão de imagens de sensores remotos utilizando a transformada wavelet**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2002.
- Vliet, L.J. V., Young, I.T., Beckers, A.L.D. An edge detection model based on nonlinear Laplace filtering. **Pattern Recognition and Artificial Intelligence**, E.S. Gelsema and L.N Kanal (eds), Elsevier Science Publishers B.V., North-Holland. p. 63-73. 1988.
- Wald, L. Definitions and terms of reference in data fusion. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 32, part 7-4-3, W6, 1999.
- Watt, A.; Policarpo, F. **The Computer Image**, New York: Addison-Wesley, 1998.