

## Seleção de métodos para aumentar a resolução de imagens dos sensores ETM+ e ASTER por meio de fusão de imagens

Luciano Teixeira de Oliveira <sup>1</sup>  
Luis Marcelo Tavares de Carvalho <sup>1</sup>  
Fausto Weimar Acerbi Júnior <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras – UFLA/DCF/LEMAF  
Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras-MG, Brasil  
oliveralt@yahoo.com.br  
passarinho@ufla.br  
fausto@ufla.br

<sup>2</sup> Wageningen University and Research Centre – WUR/GRS  
P.O. Box 47 – 4700 AA – Wageningen, The Netherlands  
fausto.acerbi@wur.nl

**Abstract.** The main objective of this paper was to select procedures to enhance the spatial resolution of images acquired by the ETM+ and ASTER sensors using image fusion. Images with spatial resolution degraded to 60 meters were simulated in order to compare different methods of data fusion and to produce images with spatial resolution enhanced to 30 meters. Qualitative and quantitative comparisons with the original images were achieved using the following statistical measures: bias, variance of the difference, standard deviation, correlation and the RMSE. The non-decimated biorthogonal wavelet transform with Antonini 7/9 filter was selected as the best method because it presented less modification of the spectral information when compared to the original images.

**Palavras-chave:** Landsat ETM+, ASTER, image fusion, wavelets, fusão de imagens, ondaletas.

### 1. Introdução

A fragmentação é um tema que nos últimos anos tem sido colocado em evidência devido à constante diminuição dos ambientes naturais levando ao surgimento de fragmentos florestais, os quais são encontrados nos mais diversos tamanhos, formas e níveis de degradação.

Todavia para manejar a paisagem, é necessário conhecer a localização dos fragmentos. Para isto é preciso buscar técnicas economicamente viáveis e de boa precisão, o que pode ser conseguido por meio da análise de dados advindos de imagens de satélite. Porém, estas imagens apresentam limitações quanto ao tamanho do pixel (i.e. resolução espacial), que, segundo Molenaar (1998), deve ser pelo menos três vezes menor que o do objeto em estudo.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo principal, comparar técnicas de fusão de imagens (Starck et al., 1998; Moretin, 1999) utilizadas para aumentar o poder de resolução espacial de imagens advindas dos sensores ETM+ e ASTER

### 2. Materiais e Métodos

#### 2.1. Área de estudos e dados de sensoriamento remoto

Foram utilizadas imagens geradas pelos sensores ETM+ (“Enhanced Thematic Mapper Plus”) e ASTER (“Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer”) para retratar uma área compreendida entre as latitudes S 18° 02’ 59,59’’ e S 18° 35’ 58,43 e entre as longitudes W 44° 35’ 25,14’’ e W 44° 25’ 28,91’’. Esta área recobre parte dos municípios de Curvelo, Morro da Garça, Corinto, Augusto de Lima e Lassanse, em Minas Gerais. A imagem gerada pelo sensor ETM+, cena 218-73 de 10 de abril de 2001, foi adquirida junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). A imagem gerada pelo sensor ASTER,

cena 224-208-1 de 01 de abril de 2001, foi gentilmente cedida pelo Dr. Hiroshi Watanabe do ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis Center).

## 2.2. Estruturação da Simulação

Primeiramente efetuou-se o recorte da imagem de forma que tivesse a mesma área representada nas imagens dos dois sensores, onde o número de linhas e colunas pudessem ser divididos por dois. Este procedimento é necessário para que as transformadas em múltiplas escalas que geram imagens ou pirâmides possam ser implementadas.

Por não haver imagens reais de resolução espacial reduzida (e.g., ETM+ multispectral com 15m de resolução espacial) para serem utilizadas como base de comparação com os resultados das fusões, foram geradas novas imagens de baixa resolução espacial (60m) e de alta resolução espacial (30m). Esta simulação foi necessária para definir a melhor transformação a ser aplicada em fusões das imagens, oferecendo uma melhor preservação dos padrões espectrais das mesmas. Para isto, utilizou-se uma degradação das imagens de alta e baixa resolução espacial, através da agregação de pixels, lançando mão de um interpolador por vizinho mais próximo. Assim, degradou-se a resolução de 15 para 30 metros (alta resolução simulada) e de 30 para 60 metros (baixa resolução simulada), em ambos sensores.

Com as imagens do sensor ASTER, houve necessidade de utilizar a transformação por Componentes Principais, para obter apenas uma imagem de alta resolução espacial, contendo o máximo de informação possível captada nas bandas 1, 2 e 3. Esta informação é representada na primeira componente resultante da transformação. Não houve a necessidade de se aplicar esse procedimento nas imagens do sensor ETM+ por este possuir apenas uma banda pancromática com 15 metros de resolução espacial.

## 2.3. Aplicação das Fusões

Praticamente todo o processamento das imagens, inclusive as fusões usando as transformações Gram Schmidt (Jianwen et al., 2001; Gong et al., 2003; Hauter et al., 1997) e Componentes Principais (Gonzalez & Woods, 2000) foram realizadas usando o programa ENVI - The Environment for Visualizing Imagens (Research Systems Inc., 2003). As outras fusões, baseadas em transformações em múltiplas escalas, foram realizadas usando o programa MR/1 - Multiresolution Environment (Multi Resolutions Ltd., 2003), o qual subdivide as transformadas pela produção de imagens pirâmides e cubos.

Nas fusões por Componentes Principais e Gram-Schmidt, levaram-se em consideração os interpoladores de vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica.

Para as fusões que utilizaram transformadas que produzem imagens, aplicou-se os algoritmos de Stéphanne Mallat (Mallat, 1989, Moretin 1989), Piramidal, Feauveau, (Starck et al., 1998), utilizando diferentes filtros peculiares a cada transformada citadas a seguir:

- Transformada Ondaleta bi-ortogonal
  - o Filtro de Antonini 7/9 (**T11a**)
  - o Filtro Daubechies 4 (**T11b**)
  - o Filtro de Haar 2/6 bi-ortogonal (**T11c**)
  - o Filtro de Haar 2/10 bi-ortogonal (**T11d**)
  - o Filtro de Odegard 7/9 (**T11e**)
- Transformada Ondaleta Feaveau (**T12**)
- Transformada G (utilizando um algoritmo morfológico min-max) (**T14**)
- Transformada Ondaleta de Haar (**T15**)
- Transformada Ondaleta via lifting scheme
  - o Transformada Ondaleta CDF (**T22a**)
  - o Predição média (**T22b**)
  - o Transformada Ondaleta Haar inteira (**T22c**)

- Transformada Ondaleta CDF inteira (T22d)
- Transformada interpolada (4,2) inteira (T22e)
- Filtro Antonini 7/9 (T22f)
- Filtro Antonini 7/9 inteiro (T22g)

Nas transformadas que produzem pirâmides a aplicação do algoritmo foi feita utilizando diferentes filtros citados a seguir:

- Transformada Ondaleta piramidal linear (T5)
- Transformada Ondaleta piramidal B-spline (T6)
- Transformada piramidal média (T7)
- Transformada piramidal laplaciana (T8)
- Transformada min-max piramidal morfológica (T9)
- Decomposição em função do escalonamento (T10)
- Transformada de meia-pirâmide (T16)
- Mistura de meia-pirâmide e MT (T17)
- Mistura de transformada ondaleta e método PMT (T19)

Já nas transformadas que produzem cubos a aplicação dos algoritmos não decimados foi feita utilizando os seguintes filtros:

- Transformada Ondaleta Linear (T1)
- Transformada Ondaleta B-spline (T2)
- Transformada Morfológica Mediana (T3)
- Transformada morfológica min-max (T4)
- Transformada Ondaleta Feaveau com reamostragem (T13)
- Transformada Ondaleta Diática (T18)
- Transformada Haar não-decimada (T20)
- Transformada Ondaleta bi-ortogonal não-decimada
  - Filtro de Antonini 7/9 (T21a)
  - Filtro Daubechies 4 (T21b)
  - Filtro de Haar 2/6 bi-ortogonal (T21c)
  - Filtro de Haar 2/10 bi-ortogonal (T21d)
  - Filtro de Odegard 7/9 (T21e)

## 2.4. Determinação das Estatísticas

Na avaliação da significância, utilizou-se o teste t, a 95% de probabilidade para observar se havia diferença significativa entre as imagens geradas pelas transformações.

Para isto, calculou-se a variância e o erro padrão da média, conforme descrito a seguir:

$$Sdi^2 = \frac{\sum_{ij} di_{ij}^2 - \left( \sum_{ij} di_{ij} \right)^2}{N - 1} \quad S\bar{di} = \sqrt{\frac{Sdi^2}{N}}$$

Onde:

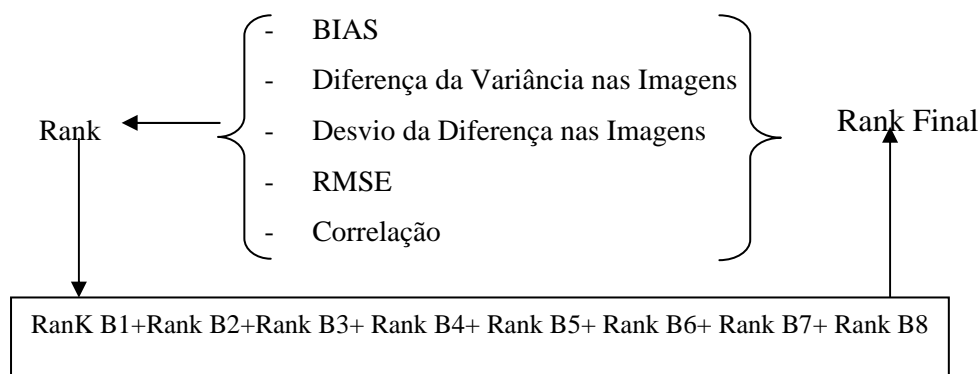
- $Sdi^2$  – Variância da imagem diferença entre a Imagem original e a transformada;
- $di_{ij}$  – Valor de brilho no pixel da linha  $i$  coluna  $j$ , da imagem diferença;
- $N$  – Número de pixels da imagem diferença (2176 x 1280).
- $S\bar{di}$  – Erro Padrão da Média da imagem diferença;

Para a avaliação das transformações, analisou-se a Bias (Viés), a Diferença da Variância, o Desvio da Diferença, o Erro Médio Quadrático (RMSE) e a Correlação (Teggi et al., 2003; Marcelino et al., 2003; Wald et al, 1997; Acerbi-Júnior et al., 2004).

De posse das estatísticas, realizou-se o ranqueamento individual das estatísticas no conjunto de transformações em cada banda, fazendo o somatório de todas as bandas dos conjuntos das imagens. Para cada resultado encontrado em cada transformação, aplicava-se

uma nova ordenação, de maneira que se tivesse a transformação com melhor desempenho dentro de cada estatística. Todo este procedimento foi repetido para selecionar o melhor método de fusão levando em consideração todas as estatísticas. Tal procedimento pode ser observado no esquema da **Figura 1**.

Para as imagens ASTER, recorreu-se ao mesmo procedimento da **Figura 1**, porém selecionando-se as cinco melhores transformações analisadas na imagem do ETM+.



**Figura 1.** Seleção da melhor transformada.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Avaliação das fusões da imagens Landsat

Com a aplicação do teste t, (**Tabela 1**), verificou-se que as imagens geradas a partir de fusões baseadas nas transformadas: T3, T4, T7, T11b, T11c, T11d, T14, T15, T17, T19, T22b, T22c, T22d, T22e, T22f e T22g apresentaram diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade em relação a imagem de referência. No entanto quando se analisou o ranqueamento total dos índices estatísticos da **Tabela 2**, constatou-se uma pior performance das transformadas T6, T9, T10, T11a, T11c, T11e, T12, T18, T20, T21b, T22a, Pc\_bili, PC\_cc, PC\_nn, GS\_bili, GS\_cc, GS\_nn, que apesar de não serem estatisticamente diferentes da imagem de referência, indicam que as referidas transformações não são as mais adequadas para utilização nas fusões de imagens geradas pelo sensor ETM+ por alterarem o padrão das mesmas.

As fusões baseadas nas transformadas por Componentes Principais e Gram Schmidt tiveram as características visuais da imagem muito alteradas. Isto acontece, dado que a informação espectral sensoriada nestas bandas não é coincidente com a informação espectral sensoriada na banda pancromática.

Avaliando-se os índices estatísticos e as imagens geradas, verificou-se que as transformadas T2 e T16; 21c e 21e; GS\_bili e GS\_cc, geram imagens idênticas não justificando a análise das duplas.

Analisando-se o ranqueamento dos índices estatísticos que qualificam as demais transformações (**Tabela 2**), constata-se uma menor alteração nas imagens resultantes das transformadas T1, T21a, T13, T2 (T16) e T5 podendo-se utilizar qualquer uma das demais transformadas que não obtiveram diferenças significativas ao nível de 95% de probabilidade, já que estas são estatisticamente iguais. Porém recomenda-se usar a transformada T21a para fusões em imagens Landsat, por esta apresentar uma melhor correlação com a imagem original e um menor erro médio quadrático, os quais conseguem captar o deslocamento das curvas espectrais das bandas do sensor ETM+, também porque se nota as seqüelas das estruturas dos pixels da imagem de baixa resolução espacial na transformada T1, que pode ser verificado na **Figura 2**.

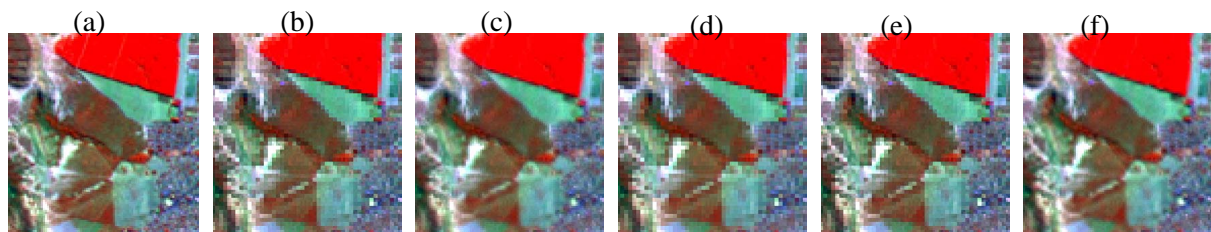
**Tabela 1.** Valores do t calculado para cada transformada, para um  $t_{\text{Tabelado}} = 1,959966$ , para as fusões no Landsat-7.

Banda	ETM+ 1	ETM+ 2	ETM+ 3	ETM+ 4	ETM+ 5	ETM+ 6	ETM+ 7	ETM+ 8
T1	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0,011535	0,011027	0,00643	0,009075	0,004314	0,011393	0,010823	0,005148
T3*	-140,447	-141,669	-93,851	-123,633	-64,1852	-133,778	-130,073	-75,7322
T4*	-1011,8	-957,401	-595,802	-796,183	-407,825	-1029,42	-983,498	-483,959
T5	-0,86021	-1,54145	-1,78019	-1,43468	-1,59597	-0,47997	-0,78136	-1,4689
T6	-0,76128	-1,513	-1,84228	-1,46135	-1,62413	-0,37181	-0,63399	-1,49195
T7*	-145,078	-150,357	-94,8345	-130,55	-62,8067	-133,242	-129,378	-73,6276
T8	-0,79189	-1,56223	-1,89663	-1,51916	-1,65606	-0,40196	-0,65088	-1,52627
T9*	-1051,66	-1E+09	-572,917	-807,147	-377,633	-1027,23	-976,543	-450,661
T10*	-1578,5	-1619,16	-1041,98	-1406,67	-692,882	-1462,56	-1421,52	-819,475
T11a	-0,80973	-1,46143	-1,74566	-1,47922	-1,58985	-0,45017	-0,7271	-1,45734
T11b*	-1,19374	-1,79593	-2,1032	-1,68331	-2,01484	-0,7788	-1,15443	-1,86579
T11c*	-1,14356	-1,77075	-2,08361	-1,71415	-1,99053	-0,71627	-1,09985	-1,83305
T11d*	-1,12693	-1,7413	-2,06389	-1,70162	-1,9793	-0,72243	-1,091	-1,82026
T11e	-0,80308	-1,43392	-1,71341	-1,46718	-1,56557	-0,45281	-0,7272	-1,43416
T12	0,831194	1,448609	1,687869	1,379265	1,538697	0,590708	0,880102	1,408951
T13	-0,04488	-0,03483	-0,01835	-0,02668	-0,01258	-0,06556	-0,05412	-0,01503
T14*	-1391,96	-1515,78	-1006,48	-1342,98	-655,728	-1259,82	-1246,23	-778,642
T15*	15748,23	9365,603	5570,996	10823,87	6350,333	39526,63	33438,39	4916,005
T16	0,011535	0,011027	0,00643	0,009075	0,004314	0,011393	0,010823	0,005148
T17*	-113,635	-112,718	-70,9363	-95,8303	-48,0074	-109,283	-105,43	-56,9634
T18	0,929246	1,827665	1,939863	1,703058	1,628901	0,494	0,740955	1,538843
T19*	-120,951	-123,004	-73,9803	-104,079	-48,8851	-112,349	-108,351	-57,4551
T20	-1,27137	-1,1638	-0,71371	-0,97029	-0,49097	-1,33004	-1,25623	-0,57937
T21a	-0,02571	-0,04954	-0,0436	-0,11839	-0,02528	-0,00902	-0,00393	-0,02391
T21b	-0,95113	-1,54793	-1,77443	-1,42819	-1,64084	-0,57271	-0,90191	-1,51498
T21c	-0,82753	-1,48324	-1,73468	-1,43274	-1,57096	-0,43561	-0,73945	-1,44286
T21d	-0,81334	-1,46506	-1,73436	-1,43417	-1,57807	-0,43376	-0,73671	-1,44661
T21e	-0,82753	-1,48324	-1,73468	-1,43274	-1,57096	-0,43561	-0,73945	-1,44286
T22a	-0,75464	-1,40104	-1,67826	-1,36123	-1,52492	-0,3976	-0,67432	-1,40113
T22b*	80,30996	119,1505	90,77007	159,268	36,49889	28,27832	36,24822	63,30975
T22c*	499,1473	587,4827	308,893	469,7982	186,0372	419,1106	412,4761	225,9738
T22d*	322,9213	305,8631	158,1216	234,3314	105,5908	328,496	308,2855	126,5407
T22e*	339,148	306,3245	169,7925	249,2852	114,7978	355,4635	331,9581	137,2004
T22f*	15425,44	8900,881	5377,797	10363,48	6200,087	43052,09	34568,41	4775,32
T22g*	12362,68	8045,77	5019,721	9416,393	5604,845	31203,45	28515,78	4371,283
PC_bili	0,523698	0,706954	0,745704	0,954909	0,688584	0,452284	0,458259	0,653486
PC_cc	0,522891	0,706047	0,76184	0,994713	0,691956	0,444915	0,451918	0,656156
PC_nn	-0,97478	-0,4645	0,057519	0,494342	0,132863	0,321701	0,301146	-0,09521
GS_bili	0,171608	0,075309	-0,00997	-0,49944	-0,0293	0,21816	0,230406	0,025164
GS_cc	0,171608	0,075309	-0,00997	-0,49944	-0,0293	0,21816	0,230406	0,025164
GS_nn	0	0	0	0	0	0	0	0

\*Transformações significativas ao nível de 95% de probabilidade.

**Tabela 2.** Valores do ranqueamento de todas as estatísticas, para as transformações no Landsat-7.

Banda	Bias	Diferença da Variância	Desvio da Diferença	Correlação	RMSE	RMSE X Correlação	Rank Total
T1	1	3	2	2	2	2	1
T2	3	15	6	4	5	4	4
T5	18	6	5	7	4	6	6
T6	15	17	10	8	9	8	10
T8	21	18	12	8	11	11	12
T11a	19	4	14	16	14	14	11
T11e	22	1	19	21	17	18	14
T12	20	10	21	25	19	21	16
T13	5	9	4	4	3	3	3
T16	3	15	6	4	5	4	4
T18	23	33	13	13	13	13	16
T20	17	8	24	26	22	25	18
T21a	6	14	1	1	1	1	2
T21b	26	20	27	28	25	27	24
T21c	13	11	8	10	7	8	7
T21d	16	7	11	14	10	12	9
T21e	13	11	8	10	7	8	7
T22a	12	24	16	19	16	17	15



**Figura 2.** Imagem original (a); algumas fusões resíduos de estruturas dos pixels de baixa resolução (b) T1, (d) T13 e (c) T2; e algumas fusões sem resíduos (e) T21a e (f) T5.

### 3.2. Avaliação das fusões na Imagem ASTER

Para otimizar a avaliação das transformadas no conjunto de imagens ASTER, selecionou-se as transformadas T1, T21a, T13, T2 e T5, as quais tiveram o melhor desempenho no sensor ETM+ e geraram imagens estatisticamente iguais pelo teste t.

Analisando-se a **Tabela 3**, observou-se que não houve diferença significativa estatisticamente pelo teste t a 95% de probabilidade.

**Tabela 3.** Valores do t calculado para cada transformada, para um  $t_{\text{Tabelado}} = 1,959966$ , para as fusões no ASTER.

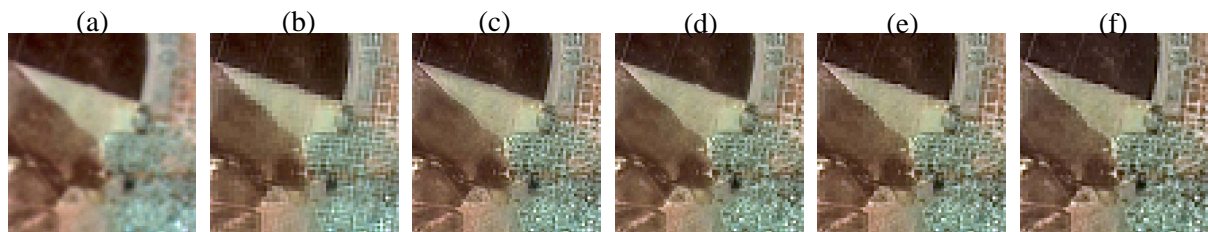
Banda	ASTER 4	ASTER 5	ASTER 6	ASTER 7	ASTER 8	ASTER 9
T1	0	0	0	0	0	0
T2	-0,00514	-0,0051	-0,00511	-0,00513	-0,00515	-0,00516
T5	-1,12354	-0,94413	-0,88975	-1,36807	-0,97782	-0,78422
T13	0,020536	0,022634	0,02116	0,021441	0,020975	0,023481
T21a	0,017169	0,025192	0,025157	0,047311	0,03474	0,025366

\* Transformações significativas ao nível de 95% de probabilidade.

Na **Tabela 4**, observou-se o melhor desempenho da transformada T13. Porém ao analisar as imagens da **Figura 3**, constatou-se nesta a presença da arquitetura dos pixels de baixa resolução, provenientes da interpolação por vizinho mais próximo necessário as transformações estacionárias. Sendo assim, a transformada com melhor desempenho passou a ser a T21a. Esta também evidenciada para o conjunto de imagens ETM+, corroborando a hipótese da Transformada Ondaleta bi-ortogonal não decimada com filtro 7/9 de Antonini (T21a) preservar melhor a características espectrais, das imagens de baixa resolução espacial, como também elucidar os detalhes provenientes da imagem de alta resolução espacial, representada pela primeira componente das imagens de alta resolução espacial do sensor Aster.

**Tabela 4.** Valores do ranqueamento de todas as estatísticas, para as transformações no ASTER.

Banda	Bias	Diferença da Variância	Desvio da Diferença	Correlação	RMSE	RMSE X Correlação	Rank Total
T1	1	4	4	4	4	4	4
T2	2	5	5	5	5	5	5
T5	5	1	3	3	3	3	3
T13	3	2	1	1	1	1	1
T21a	4	3	2	2	2	2	2



**Figura 03.** Imagem original (a) e algumas fusões resíduos de estruturas dos pixels de baixa resolução (b) T13, (e) T1 e (f) T2; e algumas fusões sem resíduos (c) T21a e (d) T5.

Constatou-se também uma oscilação na classificação do ranqueamento. Esta oscilação pode estar associada à menor amplitude do espectro em cada banda, como também à primeira componente do conjunto de imagens de alta resolução referentes as bandas 1, 2 e 3 do sensor ASTER, as quais realçaram muito os detalhes, ou pelo fato do conjunto de imagens ASTER, terem sofrido uma reamostragem por vizinho mais próximo no pré-processamento da imagem pelo distribuidor, esta última diferenciada da Landsat que estava pré-processada por um interpolador de convolução cúbica.

#### 4. Conclusões

As imagens geradas pelas T3, T4, T7, T9, T10, T11b, T11d, T14, T15, T17, T19, T22b, T22c, T22d, T22e e T22g, demonstraram-se impróprias, quando analisadas pelo teste t a 95% de probabilidade;

As transformadas T2 e T16; T21c e T21e; GS\_bili e GS\_cc geraram resultados idênticos;

A transformada ondaleta bi-ortogonal não decimada, com filtro de 7/9 de Antonini (T21a), preservou melhor as características espectrais e espaciais das imagens originais, nas imagens Landsat e ASTER.

#### Referências

- ACERBI-JÚNIOR, F. W.; CARVALHO, L. M. T.; WACHOWICZ, M.; CLEVERS, J. G. P. W. **Are we using quality measures in multi-resolution data fusion? New strategies for European Remote Sensing.** Dubrovnik. Croatia, 2004. (in press).
- GONG, P.; MAHLER, S. A.; BIGING, G. S.; NEWBURN, D. A. Vineyard identification in an oak woodland landscape with airborne digital camera imagery. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 24, n. 6, p. 1303-1315, 2003.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais.** São Paulo: Edgard Blucher, 2000. 509 p.
- HAUTER, A.; CHANG, K. C.; KARP, S. **Polarimetric fusion for synthetic aperture radar target classification.** Elsevier Science, v. 30. n. 5, p. 769-775, 1997.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS. DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS (INPE-DPI). **SPRING, Manual do usuário [on line].** São José dos Campos, 2003.
- JIANWEN, M. A.; HUADONG, G.; CHANGLIN, W.; CHEN, G. E.; SINGHROY, V. Extraction of polymetallic mineralization information from multispectral Thematic Mapper data using the Gram-Schmidt Orthogonal Projection (GSOP) method. **International Journal of Remote Sensing.** London, v. 22, n. 17, p. 3323-3337, 2001.
- LILLESSAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** 4. ed. USA: John Wiley, 1999. 724 p.
- MALLAT, S. G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Los Alamitos, v. 11, p. 674-693, 1989.

MARCELINO, E. V.; FONSECA, L. M. G.; VENTURA, F.; ROSA, A. N. C. S. Evaluation fo IHS,PCA and Wavelet transform fusion techniques for the identification of Landslide scars using satellite data. [CD-ROM]. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 487-494.

MOLENAAR, M. **An introduction to theory of Spatial object modelling for GIS**. Enschede, The Netherlands: Taylor & Francis, 1998. 246 p.

MORETIN, P. A. **Ondas e ondaletas**: da análise de Fourier à análise de ondaletas. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999. 275 p.

MULTI RESOLUTION. **The Multi Resolution Analysis Software**. Multi Resolution, 2003.

STARCK, J. L.; MURTAGH, F.; BIJAOU, A. **Image processing and data analysis**: the multiscale approach. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 287 p.

RSI. **The Enviroment for visualizing images (ENVI)**: ENVI. user's guide. Research Systems, 2003. 1084 p.

TEGGI, S.; CECCHI, R.; SERAFINI, F. TM and IRS-1C-PAN data fusion using multiresolution decomposition methods base don the 'a tróus' algorithm. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 24, n. 6, p. 1287-1301, 2003.

WALD, L.; RANCHIN, T.; MANGOLINI, M. Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 63, n. 6, p. 691-699, 1997.