

Fusão de imagens e uso de algoritmos de extração de feições no mapeamento da vegetação nativa no Estado de Minas Gerais, Brasil

Fausto Weimar Acerbi-Junior¹
Eduarda Martiniano de Oliveira Silveira¹
Luis Marcelo Tavares de Carvalho¹
José Márcio de Mello¹.

¹ Universidade Federal de Lavras – UFLA
Caixa Postal 3037 - 37200-000 - Lavras-MG, Brasil
{fausto, passarinho, josemarcio}@ufla.br, dudalavras@hotmail.com

Abstract. The objectives of this paper were: (1) To assess the potential of using fused images between MODIS and Landsat TM images to improve classification accuracy; (2) To assess the potential of using fused images combined with feature extraction algorithms in order to improve image classification. In the multisensor image fusion process, the source image consisted of one NDVI image derived from a Landsat TM image acquired on July, 2005 and a 36 monthly NDVI images derived from MODIS sensor acquired yearly from 2003 till 2005. The NDVI-TM image was decomposed by the pyramidal in Fourier space (PFS) wavelet transform. Then, the approximation image was substituted by the NDVI-MODIS images and the wavelet transform was inverted to generate the fused images. In order to perform feature extraction the temporal signatures were transformed using the 1D version of the algorithm “à trous” with linear and cubic spline wavelets. After decomposition, the smoothed signatures were used as feature vectors in the classification process. The time series of NDVI-MODIS images as well as NDVI fused images and smoothed NDVI fused images were classified using a decision tree (DT) algorithm. The proposed data fusion approach and the feature extraction algorithm performed well in terms of overall and per class accuracies, and therefore, these images can be used for mapping and monitoring the vegetation dynamics.

Palavras-chave: wavelet transform, classification, MODIS, Landsat TM, transformada wavelet, classificação, MODIS, Landsat TM

1 Introdução

O avanço da tecnologia e o surgimento de novos sensores imageando a superfície da Terra em diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais estimularam cientistas e pesquisadores a desenvolver novas técnicas de processamento de imagens, capazes de efetivamente combinar informações advindas de diferentes fontes em uma única imagem. Em síntese, esse é o objetivo da fusão de imagens, ou seja, a combinação de informações produzidas por diferentes sensores para produzir uma única imagem, capaz de revelar importantes características da área de estudo que dificilmente poderiam ser extraídas das imagens originais.

Ao longo dos anos, muitas técnicas de fusão de imagens de satélites vêm sendo desenvolvidas, dentre elas destacam-se a transformada IHS (*intensity-hue-saturation*), a transformada Brovey, a análise dos componentes principais e a transformada *wavelet* (Acerbi-Junior et al., 2006; Pohl and Genderen, 1998; Shi et al., 2003). Estudos comparativos utilizando imagens multiespectrais e pancromáticas demonstraram a superioridade das transformadas *wavelet* durante o processo de fusão (Carvalho et al., 2004; Oliveira et al., 2005; Ranchin and Wald, 2000). A principal vantagem dessa técnica em relação as demais está na obtenção de uma imagem sintética (fusionada) com a mesma resolução espacial da imagem pancromática, porém com o mínimo de distorção da informação espectral.

Outro aspecto relevante é que o processo de fusão utilizando a transformada *wavelet* ocorre em um ambiente de múltiplas resoluções onde o sinal analisado é decomposto em várias escalas. Desta forma, a imagem original é decomposta, nas diferentes escalas, em duas imagens: a

imagem aproximação (que traz consigo a informação espectral) e a imagem detalhe (que contém a informação espacial). Em seguida o processo de transformação é invertido e a imagem original pode ser reconstruída utilizando apenas uma imagem aproximação e as imagens detalhes (Acerbi-Junior et al., 2006; Chibani and Houacine, 2003).

No mapeamento e monitoramento da vegetação não só as resoluções espaciais e espectrais são importantes, mas também a resolução temporal, uma vez que diferentes fisionomias apresentam diferentes épocas de floração, deciduidade, etc. De acordo com Bruce et al (2006), diferentes tipos de vegetação apresentam diferentes padrões de crescimento ao longo do tempo e isso irá afetar o perfil temporal do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) de cada fisionomia, possibilitando a extração de características singulares que podem auxiliar na discriminação de diferentes usos do solo.

Assim este estudo utilizou uma série temporal de três anos de imagens do sensor MODIS combinada com algoritmos de extração de feições e fusão de imagens utilizando a transformada *wavelet* na tentativa de melhorar a qualidade do mapeamento em uma área de estudo no norte do Estado de Minas Gerais. Os objetivos foram: (1) Analisar o potencial das imagens advindas da fusão entre imagens dos sensores Landsat TM e MODIS na melhoria da acuracidade da classificação; (2) Analisar o potencial das imagens advindas da fusão entre imagens dos sensores Landsat TM e MODIS combinadas com algoritmos de extração de feições na melhoria da acuracidade da classificação

2 Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 1) está localizada no Estado de Minas Gerais e é delimitada pelas coordenadas S 14° 47' 25.62'' - S 15° 53' 16.44'' e O 43° 52' 52.21'' - O 45° 6' 17.95''. A cobertura do solo na área de estudo é composta por três fisionomias principais: floresta decídua, floresta semidecídua e cerrado.

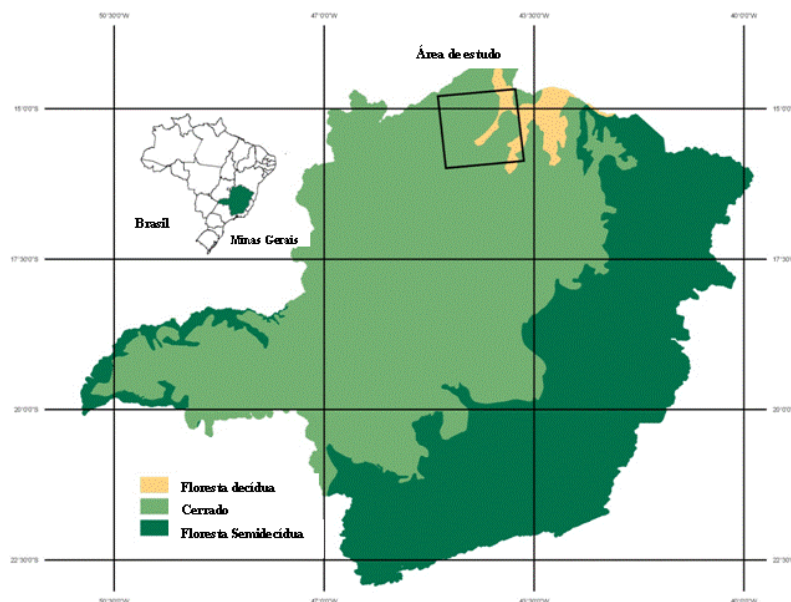


Figura 1 – Área de estudo.

2.2 Base de Dados

Devido as suas características espectrais, espaciais e principalmente temporais o sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*) é apontado por cientistas e pesquisadores de todo o mundo como um dos principais instrumentos para o estudo da dinâmica da vegetação. A base de dados utilizada neste estudo foi constituída de 36 imagens NDVI derivadas do sensor MODIS (de janeiro de 2003 a dezembro de 2005) e uma imagem NDVI derivada do sensor Landsat TM adquirida em julho de 2005.

Imagens índice de vegetação (composição 16 dias) do sensor MODIS com resolução espacial de 250m foram utilizadas para derivar a série temporal de imagens NDVI para os anos de 2003, 2004 e 2005.

Na fase de pré-processamento das imagens NDVI utilizou-se a imagem *quality assurance*, disponível junto com os dados MODIS, para certificar a qualidade de cada pixel na imagem. A imagem *quality assurance* é uma imagem codificada de 16 bits, onde os vários grupos desse código binário representam a qualidade radiométrica de cada pixel. Através do uso dessa imagem como máscaras, pode-se filtrar os dados, classificando-os como pixels de baixa, média ou alta qualidade.

2.3 O processo de fusão e avaliação da qualidade

Antes de realizar o processo de fusão as imagens NDVI advindas do sensor MODIS foram reamostradas para 240 m e seus histogramas foram equalizados ao histograma da imagem NDVI advinda do sensor TM, utilizando o método de equalização linear proposto por Pohl (1996).

O processo de fusão em múltiplas escalas constituiu-se da decomposição da imagem NDVI-TM em 3 níveis utilizando-se a transformada piramidal *wavelet* no espaço Fourier (Acerbi-Junior et al., 2006). Em seguida a imagem aproximação foi substituída pelas correspondentes imagens NDVI-MODIS e, então, o processo de decomposição foi invertido permitindo a reconstrução da imagem original, porém agora com a informação espectral advinda das imagens NDVI-MODIS. A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada para o processo de fusão.

A avaliação da qualidade das imagens advindas da fusão é um passo necessário quando se deseja utilizar estas imagens para uma posterior classificação do uso do solo, uma vez que qualquer erro ou distorção da informação espectral durante a fusão irá resultar em erros de classificação (Meenakshisundaram and Couloigner, 2004).

A avaliação da qualidade da fusão foi baseada em análises qualitativas e quantitativas. As medidas qualitativas foram derivadas da análise visual, comparando as similaridades espectrais e espaciais de cada imagem advinda da fusão com as imagens NDVI-MODIS e NDVI-TM, respectivamente. Medidas quantitativas como o desvio da média e da variância e a raiz do erro quadrado médio foram utilizadas para quantificar as diferenças espectrais entre cada imagem advinda da fusão e as respectivas imagens NDVI-MODIS.

2.4 Extração de feições

Através da transformada *wavelet* é possível decompor um sinal qualquer em várias escalas utilizando-se para isso funções elementares (as *wavelets*) e funções escalares. Operacionalmente, a decomposição do sinal é feita utilizando-se filtros de passa baixa e filtros de passa alta sucessivamente nas diferentes escalas. Os filtros de passa baixa reduzem os componentes de alta frequência do sinal analisado, mantendo apenas os componentes de baixa frequência enquanto os filtros de passa alta removem os componentes de baixa frequência.

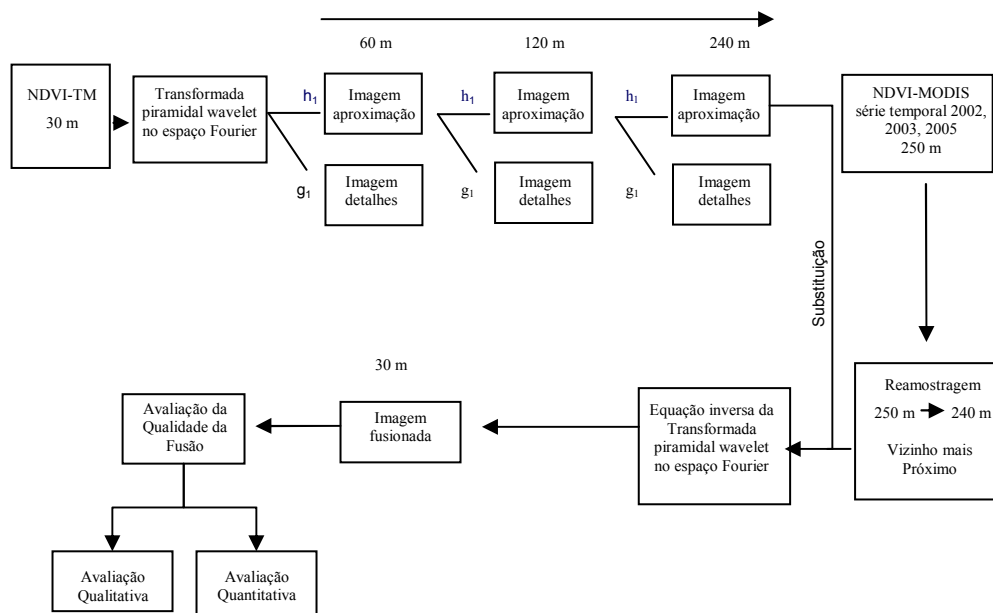


Figura 2 – Fluxograma do processo de fusão

Para extração das feições que caracterizam a assinatura espectral de cada classe de uso do solo utilizou-se a versão 1D do algoritmo “à trous”, proposto por Holschneider et al. (1989), implementado através do uso de filtros *spline* lineares e cúbicos. A transformada *wavelet* implementada através do algoritmo “à trous” é uma representação redundante do sinal, ou seja, possui o mesmo número de coeficientes em todas as escalas. Esta é uma propriedade importante deste algoritmo, uma vez que uma característica importante ou dominante do sinal numa determinada escala deve aparecer também nas escalas subseqüentes, enquanto que uma característica que não pertence realmente ao sinal, como por exemplo ruídos, não irá aparecer nas escalas subseqüentes. Portanto, uma determinada característica só será considerada dominante num dado sinal se esta se repetir em todas as escalas de análise.

Após a decomposição, as assinaturas espectrais, agora suavizadas, foram utilizadas como vetores de entrada no processo de classificação. Sete conjuntos foram gerados como vetores de entrada para o processo de classificação:

Conjunto 1 – série temporal original das imagens NDVI – utilizou-se 36 imagens NDVI mensais, dos anos 2003, 2004 e 2005, derivadas do sensor MODIS.

Conjunto 2 – série temporal das imagens NDVI advindas da fusão – utilizou-se 36 imagens NDVI mensais (2003, 2004 e 2005) advindas da fusão.

Conjunto 3 – Primeira escala da série temporal das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline linear – utilizou-se 36 imagens NDVI mensais (2003, 2004 e 2005) advindas da fusão suavizadas através do algoritmo “à trous” utilizando um filtro spline linear com apenas uma escala de decomposição.

Conjunto 4 – Segunda escala da série temporal das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline linear – utilizou-se 36 imagens NDVI mensais (2003, 2004 e 2005) advindas da fusão suavizadas através do algoritmo “à trous” utilizando um filtro spline linear com duas escalas de decomposição.

Conjunto 5 – Terceira escala da série temporal das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline linear – utilizou-se 36 imagens NDVI mensais (2003, 2004 e

2005) advindas da fusão suavizadas através do algoritmo “à trous” utilizando um filtro spline linear com três escalas de decomposição.

Conjunto 6 – Primeira escala da série temporal das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline cúbica – utilizou-se 36 imagens NDVI mensais (2003, 2004 e 2005) advindas da fusão suavizadas através do algoritmo “à trous” utilizando um filtro spline cúbico com uma escala de decomposição.

Conjunto 7 – Segunda escala da série temporal das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline cúbica – utilizou-se 36 imagens NDVI mensais (2003, 2004 e 2005) advindas da fusão suavizadas através do algoritmo “à trous” utilizando um filtro spline cúbico com duas escalas de decomposição.

Conjunto 8 – Terceira escala da série temporal das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline cúbica – utilizou-se 36 imagens NDVI mensais (2003, 2004 e 2005) advindas da fusão suavizadas através do algoritmo “à trous” utilizando um filtro spline cúbico com três escalas de decomposição.

2.6 Classificação

A série temporal original das imagens NDVI advinda do sensor MODIS bem como a série NDVI advinda da fusão e a série NDVI advinda da fusão suavizada pelo algoritmo “à trous” foram classificadas utilizando um algoritmo de árvore de decisão. A árvore de decisão é um procedimento de classificação que recursivamente particiona o conjunto de dados em subconjuntos uniformes a partir de um conjunto teste utilizado para treinar o algoritmo (Quinlan, 1993). As árvores de decisão apresentam vantagens em relação aos tradicionais algoritmos probabilísticos uma vez que elas são estritamente não paramétricas, livres de restrições quanto a natureza da distribuição dos dados, capazes de processar relações não lineares e insensíveis a problemas de descontinuidade dos dados ao longo de uma série temporal, sendo ainda possível a entrada de dados categóricos ou numéricos (Carvalho, 2001).

O classificador foi treinado com um conjunto de amostras de pixels coletados nas sete principais classes de cobertura do solo: cerrado, floresta semidecídua, floresta decídua, água, eucalipto, culturas agrícolas e pastagens. Posteriormente as classes água, eucalipto, culturas agrícolas e pastagens foram agrupadas na classe outros. Para avaliar a acuracidade das imagens classificadas utilizou-se os valores derivados da matriz de confusão como a acuracidade global, as acuracidades do produtor e do usuário por classe, representando os erros de inclusão e de exclusão, e o coeficiente kappa.

3 Resultados e Discussão

3.1 Avaliação das Fusões

A análise visual comparando as imagens advindas da fusão com a imagem Landsat TM mostrou que a forma, o tamanho e a localização das feições que constituem a estrutura espacial das imagens, como cursos de rios, limites de fragmentos, etc, permaneceram inalteradas enquanto que, em comparação as imagens MODIS, a informação espectral foi similar nas respectivas datas. Como resultado pode-se observar que estruturas espaciais menores, que não eram visíveis nas imagens MODIS, tornaram-se visíveis nas imagens advindas da fusão. Isso significa que mudanças na dinâmica da vegetação em pequenos fragmentos não detectados pelo sensor MODIS, devido a sua moderada resolução espacial, podem agora ser detectadas e monitoradas utilizando as imagens advindas da fusão.

A análise quantitativa baseada nas medidas de precisão como a média, o desvio padrão e a raiz do erro quadrado médio (RMSE) corroboraram os resultados da análise visual (Tabela 1). Essas medidas de precisão mostram a similaridade espectral entre cada pixel das imagens MODIS com as imagens advindas da fusão.

Conforme pode ser visto na Tabela 1, os valores das médias de todas as imagens advindas da fusão são idênticos aos valores das médias das imagens MODIS, nas respectivas datas. Os valores do desvio padrão são uma medida da quantidade de informação perdida ou adicionada durante o processo de fusão. Para todas as imagens advindas da fusão os valores de desvio padrão foram similares aos valores das imagens MODIS, o que demonstra a eficiência da transformada *wavelet* utilizando o algoritmo “à trous” para a fusão das imagens. Outra medida que quantifica a similaridade espectral entre as imagens advindas da fusão e as imagens MODIS e a raiz do erro quadrado médio e de acordo com essa medida as imagens advindas da fusão são de excelente qualidade, uma vez que todas as imagens apresentaram valores próximos de zero.

3.2 Classificação

A Tabela 2 apresenta as medidas de acuracidade das imagens classificadas. Todas as imagens apresentaram valores de acuracidade global superiores a 80%, sendo que o maior valor de acuracidade global (95,41%) foi obtido utilizando-se como vetor de entrada a imagem NDVI advinda da fusão suavizada pelo filtro spline linear com duas escalas de decomposição.

A decisão de qual a melhor imagem classificada em termos de acuracidade depende do objetivo do mapeamento e principalmente das acuracidades por classe de cobertura do solo. Para o cerrado, por exemplo, o maior valor de acuracidade do produtor (99,33%) foi obtido utilizando-se como vetor de entrada a imagem NDVI advinda da fusão suavizada pelo filtro spline linear com três escalas de decomposição (Tabela 2). Uma elevada acuracidade do produtor significa um baixo percentual de erros de omissão, ou seja, a grande maioria das áreas coberta por cerrados estão bem representadas no mapa final. Considerando a acuracidade do usuário, que representa os erros de inclusão ou comissão, o maior valor de acuracidade (100%) foi obtido utilizando-se como vetor de entrada a imagem NDVI advinda da fusão suavizada pelo filtro spline linear com duas escalas de decomposição ou mesmo utilizando como vetor a série temporal de imagens NDVI advindas da fusão, sem suavização.

Para a classe floresta decídua, o maior valor de acuracidade do produtor (99,67%) foi obtido utilizando-se como vetor de entrada a imagem NDVI advinda da fusão suavizada pelo filtro spline cúbico com duas escalas de decomposição. Considerando a acuracidade do usuário, o maior valor de acuracidade (100%) foi obtido utilizando-se como vetor de entrada a imagem NDVI advinda da fusão suavizada pelo filtro spline cúbico com apenas uma escala de decomposição ou utilizando a imagem NDVI advinda da fusão suavizada pelo filtro spline linear com uma escala de decomposição. A acuracidade do usuário de 100% significa que todas as áreas cobertas por florestas decíduas no mapa são realmente florestas decíduas, portanto neste mapa não há erros de inclusão.

Para a classe floresta semidecídua, o maior valor de acuracidade do produtor (86%) foi obtido utilizando-se como vetor de entrada a imagem NDVI advinda da fusão suavizada pelo filtro spline linear com apenas uma escala de decomposição ou utilizando a imagem NDVI advinda da fusão suavizada pelo filtro spline cúbico com duas escalas de decomposição. Considerando a acuracidade do usuário, o maior valor de acuracidade (87,31%) foi obtido utilizando-se como vetor de entrada a imagem NDVI advinda da fusão suavizada pelo filtro spline cúbico com duas escalas de decomposição.

Tabela 1. Medidas de precisão do processo de fusão

2003	Média		Desvio padrão		RMSE	2004	Média		Desvio padrão		RMSE	2005	Média		Desvio padrão		RMSE
	Fusão	MODIS	Fusão	MODIS			Fusão	MODIS	Fusão	MODIS			Fusão	MODIS	Fusão	MODIS	
Jan	0.781214	0.781214	0.096306	0.094456	0.062751	Jan	0.758471	0.758471	0.118036	0.122016	0.087178	Jan	0.742355	0.742355	0.108854	0.104724	0.067794
Fev	0.779549	0.779549	0.102091	0.09923	0.065381	Fev	0.771181	0.771181	0.136808	0.133972	0.087803	Fev	0.740529	0.740529	0.157716	0.157816	0.107929
Mar	0.754012	0.754012	0.106167	0.103562	0.068942	Mar	0.781832	0.781832	0.10797	0.104775	0.068971	Mar	0.780843	0.780843	0.104785	0.100723	0.064807
Abril	0.721803	0.721803	0.091469	0.087761	0.057409	Abril	0.775631	0.775631	0.098172	0.094559	0.061756	Abril	0.741399	0.741399	0.100348	0.095733	0.061761
Mai	0.682263	0.682263	0.103278	0.097643	0.062809	Mai	0.704811	0.704811	0.115884	0.107944	0.067725	Mai	0.678149	0.678149	0.116217	0.107855	0.067420
Jun	0.558148	0.558148	0.126918	0.115479	0.069533	Jun	0.631169	0.631169	0.140202	0.127331	0.076279	Jun	0.609677	0.609677	0.125334	0.11187	0.070383
Jul	0.528947	0.528947	0.130422	0.119008	0.071946	Jul	0.57984	0.57984	0.148682	0.134426	0.079729	Jul	0.740529	0.740529	0.157716	0.119611	0.070776
Ago	0.435768	0.435768	0.116133	0.10637	0.065069	Ago	0.491478	0.491478	0.139093	0.124739	0.072709	Ago	0.464598	0.464598	0.131014	0.117551	0.069002
Set	0.447261	0.458461	0.151868	0.13615	0.063003	Set	0.458339	0.458339	0.138137	0.124211	0.073089	Set	0.477426	0.477426	0.133948	0.120305	0.070176
Out	0.421778	0.421778	0.11396	0.10405	0.071506	Out	0.458371	0.458371	0.151967	0.13628	0.079198	Out	0.443056	0.443056	0.127286	0.115338	0.068506
Nov	0.511257	0.511257	0.111966	0.106014	0.066831	Nov	0.616991	0.616991	0.151365	0.139831	0.085207	Nov	0.640998	0.640998	0.1502051	0.143551	0.091215
Dez	0.685198	0.685198	0.142295	0.134042	0.084812	Dez	0.769383	0.769383	0.105783	0.100864	0.064466	Dez	0.749316	0.749316	0.140648	0.132721	0.082654

Tabela 2. Medidas de acuracidade global e por classe de cobertura do solo.

Vetores de Entrada	Valores Globais		Cerrado		Floresta Decidua		Floresta Semidecídua	
	Acuracidade Global	Coefficiente Kappa	Acuracidade do Produtor	Acuracidade do Usuário	Acuracidade do Produtor	Acuracidade do Usuário	Acuracidade do Produtor	Acuracidade do Usuário
Série temporal de imagens NDVI	89.93	0.86	90.17	90.62	89.67	98.90	75.00	78.95
Série temporal de imagens NDVI advindas da fusão	94.09	0.91	97.50	100.00	95.67	97.29	82.00	85.42
Primeira escala das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline linear	83.95	0.77	98.17	79.17	94.00	100.00	86.00	86.87
Segunda escala das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline linear	89.30	0.85	96.67	99.83	98.67	82.91	71.50	81.25
Terceira escala das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline linear	92.50	0.89	99.33	97.07	98.67	83.08	81.00	83.94
Primeira escala das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline cúbica	92.48	0.90	96.67	99.49	98.33	100.00	72.50	84.80
segunda escala das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline cúbica	95.41	0.93	97.67	100.00	99.67	98.03	86.00	87.31
Terceira escala das imagens NDVI advindas da fusão suavizadas pela função spline cúbica	90.90	0.87	93.50	93.39	93.67	89.78	81.00	81.82

4 Conclusão

Baseado na análise visual bem como nas medidas quantitativas, conclui-se que as imagens advindas da fusão são de excelente qualidade, uma vez que preservam a informação espectral das imagens MODIS ao mesmo tempo em que mantêm as estruturas e a resolução espacial da imagem Landsat TM.

A avaliação da acurácia da classificação revelou o potencial das imagens advindas da fusão para o mapeamento, aperfeiçoando a delimitação das fisionomias cerrado, floresta estacional decidual e semidecidual na área de estudo

Utilizando as imagens advindas da fusão é possível mapear e monitorar a dinâmica de pequenos fragmentos de vegetação nativa, que não poderiam ser detectados nas imagens originais MODIS, devido a moderada resolução espacial dessas imagens.

5 Referências Bibliográficas

Acerbi-Junior, F.W., Clevers, J.G.P.W. and Schaepman, M.E. The assessment of multi-sensor image fusion using wavelet transforms for mapping the Brazilian Savanna. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 8(4): 278-288. 2006.

Bruce, L.M., Mathur, A. and Byrd Jr., J.D. Denoising and Wavelet-Based Feature Extraction of MODIS Multi-Temporal Vegetation Signatures **GIScience & Remote Sensing**, 43(1): 67-77. 2006.

Carvalho, L.M.T., Acerbi-Junior, F.W., Fonseca, L.M., Clevers, J.G.P.W. and De Jong, S.M. Multi-scale Feature Extraction from Images using Wavelets. In: S.M. De Jong and F.D. Van der Meer (Editors), **Remote Sensing Image Analysis: including the spatial domain**. Book series: Remote Sensing and Digital Image Processing. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, pp. pp. 237-270. 2004.

Chibani, Y. and Houacine, A. Redundant versus orthogonal wavelet decomposition for multisensor image fusion. **Pattern Recognition**, 36: 879-887. 2003.

Meenakshisundaram, V. and Couloigner, I. **Image fusion of Ikonos pan and multispectral images for classification of the urban environment**. In: M. Oluic (Editor), Proceedings of the 24th EARSeL Symposium "New Strategies for European Remote Sensing". Millpress, Dubrovnik, Croatia, pp. pp. 335-342. 2004.

Oliveira, L.T., Carvalho, L.M.T. and Acerbi-Junior, F.W. **Seleção de métodos para aumentar a resolução de imagens dos sensores ETM+ e ASTER por meio de fusão de imagens**, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, Goiânia, Brasil, pp. p. 4185-4192. 2005.

Pohl, C. **Geometric aspects of multisensor image fusion for topographic map updating in the humid tropics**, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences - ITC, n° 39, 159 p. pp. 1996.

Pohl, C. and Genderen, J.L.v. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. **International Journal of Remote Sensing**, 19(5): 823-854. 1998.

Ranchin, T. and Wald, L. Fusion of High Spatial and Spectral Resolution Images: The ARSIS Concept and its Implementation. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 66(1): 49-61. 2000.

Shi, W., Zhu, C., Zhu, C. and Yang, X. Multi-band wavelet for fusing SPOT panchromatic and multispectral images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 69(5): 513-520. 2003.