

SEGMENTAÇÕES MULTIRESOLUÇÃO EM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Multiresolution Segmentation in High Resolution Images

**Selma Regina Aranha Ribeiro¹; Jorge Antonio Silva Centeno²
& Rodrigo Antonio La Scalea¹**

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG
Setor de Ciências Exatas e Naturais. Departamento de Geografia
Av General Carlos Cavalcanti, 4748, Uvaranas – Ponta Grossa – PR – 84030-900
selmar.aranha@gmail.com
mercuryrod@gmail.com

² Universidade Federal do Paraná - UFPR
Setor de Ciências da Terra. Departamento de Geomática
Rua Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210,
Jardim das Américas - Curitiba - PR, 81531-970
centeno@ufpr.br

Recebido em 07 de junho, 2011/ Aceito em 18 de setembro, 2011
Received on june 07, 2011/ Accepted on september 18, 2011

RESUMO

O enfoque deste estudo é a análise de segmentações multiresolução em imagens de alta resolução do sensor Quickbird geradas a partir da fusão entre as três bandas multiespectrais com resolução espacial de 2,8 m e a pancromática do mesmo sensor com resolução espacial de 0,70 m, mediante os métodos de fusão por substituição por Componentes Principais (CP) e Transformação do espaço de cores RGB-IHS (RGB-IHS). Foram realizadas segmentações multiresolução com diferentes fatores de escala, forma, suavidade e compacidade para as imagens multiespectrais, pancromática e as com as fusões por CP e RGB-IHS. Os resultados mostraram que, a segmentação multiresolução na imagem com fusão por CP, agrupa melhor os objetos da cena, do que a segmentação multiresolução realizada na banda pancromática, na imagem fusionada RGB-IHS e na imagem multiespectral. A comparação entre as segmentações supracitadas foi realizada visualmente e mediante o *Image Quality Index – IQI* (Wang e Bovik, 2002), separando-se cada um dos três termos: perda da correlação, distorção da intensidade e do contraste. Conclui-se que, a imagem com a fusão, proporciona melhor resultado na segmentação multiresolução, igualmente em uma análise visual ou qualitativa realizada pelo intérprete e que a técnica de fusão influencia na segmentação.

Palavras-chave: Fusão por Componentes Principais, Fusão por Espaço de Cores RGB-IHS.

ABSTRACT

This study focuses on the analysis of raw images into multiresolution segmentations high sensor resolution and Quickbird images generated from the merger of the three multispectral bands with spatial resolution of 2.8 meters and panchromatic sensor with the same spatial resolution of 0.7 meters, the fusion methods for replacing Principal Component

(PC) and Transformation of RGB color space, IHS (IHS-RGB). Multiresolution segmentations were performed with different scale factors, shape and softness to the images multispectral, panchromatic and the merger of CP e RGB-IHS. The results showed that multiresolution segmentation for images with a merger, by CP, group objects in the scene better than the multiresolution segmentation performed in the bands panchromatic, RGB-IHS fused image and multispectral. It follows that the image with the merger, provides better results in multiresolution segmentation, also in a visual or qualitative analysis performed by the interpreter and also that the segmentation depends on the fusion technique performed.

Keywords: Fusion of Principal Components, Fusion of Color Space RGB-IHS.

1. INTRODUÇÃO

As imagens digitais adquiridas por sensoriamento remoto (SR) e as técnicas de processamento de imagens digitais (PDI) tem atualmente papel significativo nos levantamentos e mapeamentos do espaço físico territorial, mediante a classificação de imagens digitais qualitativas e quantitativas. Tanto a classificação qualitativa quanto a quantitativa utiliza, normalmente, como elemento mínimo de cena das imagens de SR o pixel. De modo geral, a classificação qualitativa é subjetiva, pois muitas das vezes depende totalmente do intérprete e, a classificação quantitativa é menos subjetiva, pois o processamento é realizado com os dados de reflectância dos alvos, mas podendo ter resultados inferiores se comparada com a análise visual.

Nesse contexto é pertinente a utilização de técnicas de processamento de imagens digitais (PDI) que adicionem a classificação quantitativa não somente os dados de reflectância da cena, mas também outras características como forma e cor. Uma técnica adequada para incrementar a classificação de imagens digitais quantitativa é a segmentação na qual é possível se ter como elemento mínimo das imagens regiões ou segmentos, podendo dessa maneira associar as reflectâncias dos objetos mais informações. Outra solução encontrada em PDI é a técnica de fusão de bandas multiespectrais à pancromática com o intuito de se incorporar a maior resolução espacial e manter a resolução espectral, podendo, com as duas técnicas, agregar como na análise visual a reflectância dos alvos, a cor e a forma.

Neste artigo apresentam-se os resultados de um estudo comparativo no qual se analisa o efeito do uso de diferentes técnicas de fusão de uma imagem de alta resolução quando da segmentação das imagens híbridas. Para isto, são usadas imagens de alta resolução do sensor Quickbird e os métodos de fusão por substituição por Componentes Principais (CP) e Transformação do Espaço de Cores RGB-IHS (RGB-IHS).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Entende-se por fusão de imagens o processo que combina a informação de cor de uma imagem colorida, com baixa resolução espacial, com uma imagem pancromática, da mesma área, com maior resolução espacial. O objetivo deste processo é combinar estas duas imagens para gerar uma imagem colorida de alta resolução espacial.

Em sensoriamento remoto a grande disponibilidade de imagens da superfície física em diferentes resoluções espaciais e espectrais em diferentes tempo e com vários sensores proporciona pesquisas sobre a fusão destes dados. Em diversas aplicações a fusão de imagens pode incrementar o estudo aliando a maior resolução espacial com a espectral (Joshn and Jalobean, 2010).

Atualmente existem diferentes métodos para a realização de fusão de imagem mediante técnicas de processamento digital. Os métodos mais conhecidos podem ser classificados em 4 grupos, a saber: (1) baseado em operações aritméticas, (2) em transformações do espaço de cor, (3) em transformações ortogonais e (4) na análise de frequência (Zhang, 2004). Neste artigo, os métodos de substituição, são alvo de estudo, por isso eles são apresentados em detalhes nos itens 2.1 e 2.2.

O estudo tem como foco a avaliação do efeito do método de fusão no resultado da segmentação, portanto as imagens híbridas são segmentadas com o algoritmo *Fractal Net Evolution Approach - FNEA*, descrito no item 2.3.

2.1 Método das Componentes Principais (CP)

A fusão por CP inicia-se com a transformação das bandas multiespectrais em um mesmo número de componentes não correlacionadas, mas que tiveram, antes da transformação, o tamanho do pixel redimensionado de acordo com a resolução espacial da banda pancromática. A primeira componente principal (CP1) é substituída pela banda pancromática, de maior resolução espacial, que

antes passa por um processo de equalização de média e variância, uma alteração do histograma, para que essa banda fique mais parecida possível com a CP1. Em seguida é realizada uma transformação inversa e obtém-se um novo conjunto de bandas com a mesma resolução espacial da pancromática e mantendo a resolução espectral (Richards, 1993).

Castro e Centeno (2010) quando do estudo de extração de rodovias mediante imagem orbital do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) usando morfologia matemática, realizaram o processo de fusão por CP. Utilizaram imagens de 2 sensores, AVNIR-2 e PRISM com diferentes resoluções espaciais, 10 metros e 2.5 metros respectivamente.

2.2 Transformação de Cores do Espaço RGB-IHS

A fusão mediante a transformação RGB-IHS inicia-se com o redimensionado do tamanho do pixel das 3 bandas multiespectrais de acordo com a resolução espacial da banda pancromática. A etapa seguinte é a transformação das bandas espectrais do espaço RGB para o espaço de cores IHS (Intensidade, Matiz e Saturação). Quando do retorno do espaço de cores IHS para o RGB, a banda intensidade é substituída pela banda pancromática, de maior resolução espacial, que antes passa por um processo de alteração do histograma, para que essa banda fique mais parecida possível com a intensidade. Da mesma forma que a fusão, por CP o resultados e um novo conjunto de bandas espectrais de maior resolução espacial e mantendo a resolução espectral (Gonzales, et. al., 2000).

2.3 Segmentação Multiresolução

A técnica de segmentação em imagens digitais é uma das primeiras etapas para a classificação temática em nível de segmentos, onde os elementos a serem analisados são regiões que resultaram do agrupamento de pixels com características espectrais similares e espacialmente próximas. O processo de segmentação ideal é finalizado quando os objetos de interesse, na aplicação, estiverem isolados (Venturieri & Santos., 1998).

Os algoritmos de segmentação para imagens coloridas se baseiam nas propriedades dos níveis digitais, a descontinuidade e a similaridade. A

segmentação que se baseia na descontinuidade particiona a imagem baseando-se nas mudanças bruscas dos níveis digitais e a de similaridade se baseia no agrupamento de pixels vizinhos com cores similares. Os métodos mais conhecidos são a limiarização, o crescimento de regiões e a divisão e fusão de regiões. O crescimento de regiões é um procedimento que agrupa pixels ou sub-regiões em regiões maiores num processo iterativo. A abordagem mais simples é a agregação de pixels, que inicia com um conjunto de pontos intitulados de “sementes” e, a partir deles, as regiões vão crescendo, anexando a cada ponto “semente” aqueles pixels adjacentes que possuem propriedades similares, tais como valor digital, textura ou cor (Gonzales & Woods, 2000).

Uma das técnicas de segmentação por crescimento de regiões é a segmentação multiresolução FNEA. Este método é executado utilizando as propriedades básicas de valores de níveis digitais, bem como as propriedades espaciais como a forma, a compacidade e a suavidade do contorno dos grupos formados a cada iteração.

Solberg et al. (1996) enfatizam que a interpretação da cena em nível de segmentos, onde é possível a inclusão de informação espectral e espacial, é importante pois mais parâmetros podem ser derivados para descrever os elementos. A dimensão espectral se refere às diferentes bandas do espectro eletromagnético e o contexto espacial é definido pela correlação espacial entre os pixels adjacentes e o contraste com regiões vizinhas. Basicamente, o método FNEA se diferencia por direcionar o crescimento das regiões anexando pixels com valores digitais similares e verificando se, as regiões semelhantes obedeçam a certos critérios espaciais fixados pelo usuário. Assim, o critério de uniformidade é o resultado da combinação de um critério espectral (cor) e outro espacial (forma). A vantagem desta abordagem é que os segmentos resultantes podem ser mais compactos comparando-se ao crescimento de regiões puramente espectral (FAN et al., 2001).

3. MATERIAL

Para os processamentos das imagens digitais foram utilizados os materiais e programas listados:

- Imagem digital do satélite Quickbird com resolução espacial de 2,8 m e 0,70 m para as tres bandas multiespectrais e pancromática, respectivamente;

- Programa eCognition versão “demo”- Segmentação Multiresolução;
- Programa de PDI ENVI 4.7 – Processamento da fusão de imagem digital por CP e no espaço de cores RGB – IHS;
- Programa MatLab 5.3 laboratório matemático realizado para a comparação das imagens pelo IQI.

A Figura 1 mostra as imagens brutas do sensor Quickbird, sendo: (a) da banda pancromática com resolução espacial de 0,7m e (b) a imagem multiespectral composição colorida verdadeira cor com resolução espacial de 2,8 m da mesma cena.

4. MÉTODOS

Neste trabalho foram realizadas tres etapas, sendo: (I) a fusão das imagens pelas técnicas de CP e RGB-IHS; (II) a segmentação multiresolução das imagens originais (PAN e três canais multiespectrais) e das imagens fusionadas; (III) a verificação por IQI, separado em tres termos (diminuição da correlação, distorções de intensidade e de contraste), das imagens pancromática, das fusões por RGB-IHS e por CP com e sem a segmentação.

A Figura 2 explica, mediante o Bloco Diagrama, o desenvolvimento das etapas necessárias para a realização da técnica de fusão, por CP. As mesmas etapas são seguidas para a concretização da fusão pela técnica por substituição do espaço de cores RGB-IHS ressaltando que, a diferença desta em relação à CP é que nesta a banda intensidade é substituída pela imagem pancromática, quando do retorno do espaço de cores IHS para o RGB, com

o seu histograma ajustado, tal qual ao histograma da banda intensidade.

A segmentação multiresolução ou FNEA, utiliza dois critérios de heterogeneidade para separar os objetos, a cor e a forma. Após a análise da heterogeneidade espacial e espectral inicia-se o processo de fusão de pixels, como na técnica de crescimento de regiões. Finalizada as regiões cada segmento é discriminado por meio de variáveis espectrais ou espaciais. No presente estudo cada segmento ou região recebeu o descritor espectral valor médio de brilho.

As equações 1, 2 3 e 4 mostram os cálculos da heterogeneidade dos domínios espectral e espacial e também o critério de homogeneidade, observando-se a heterogeneidade entre objetos adjacente e finalmente a fusão entre regiões ou segmentos vizinhos.

$$H_c = \sum W_c \cdot \sigma_c \quad (1)$$

Na equação 1 a homogeneidade de cor H_c é composta pela somatória dos desvios padrão dos níveis digitais σ_c de uma banda espectral ponderados pelos pesos W_c .

Para a homogeneidade forma (espacial) H_f tem-se a relação entre o comprimento de borda L e o número total de pixels que compõe o segmento N . Como mostra a equação 2:

$$H_f = \frac{L}{N^{1/2}} \quad (2)$$

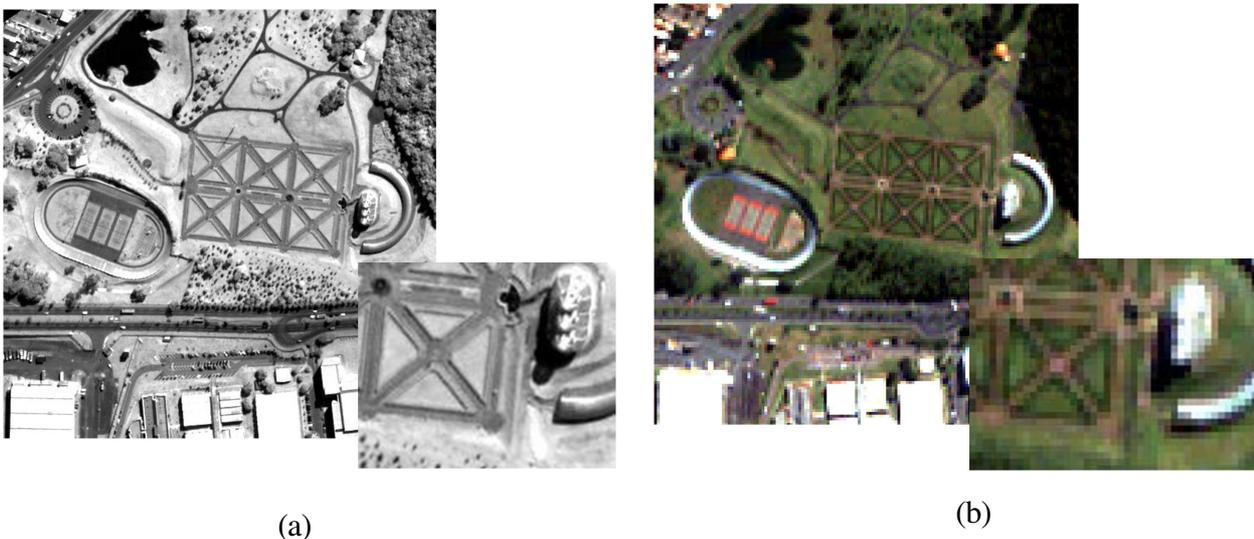


Fig. 1 - Imagens brutas do sensor Quickbird. A imagem (a) é a banda pancromática e a (b) a multiespectral, com resolução espacial de 0,7m e 2,8m respectivamente.

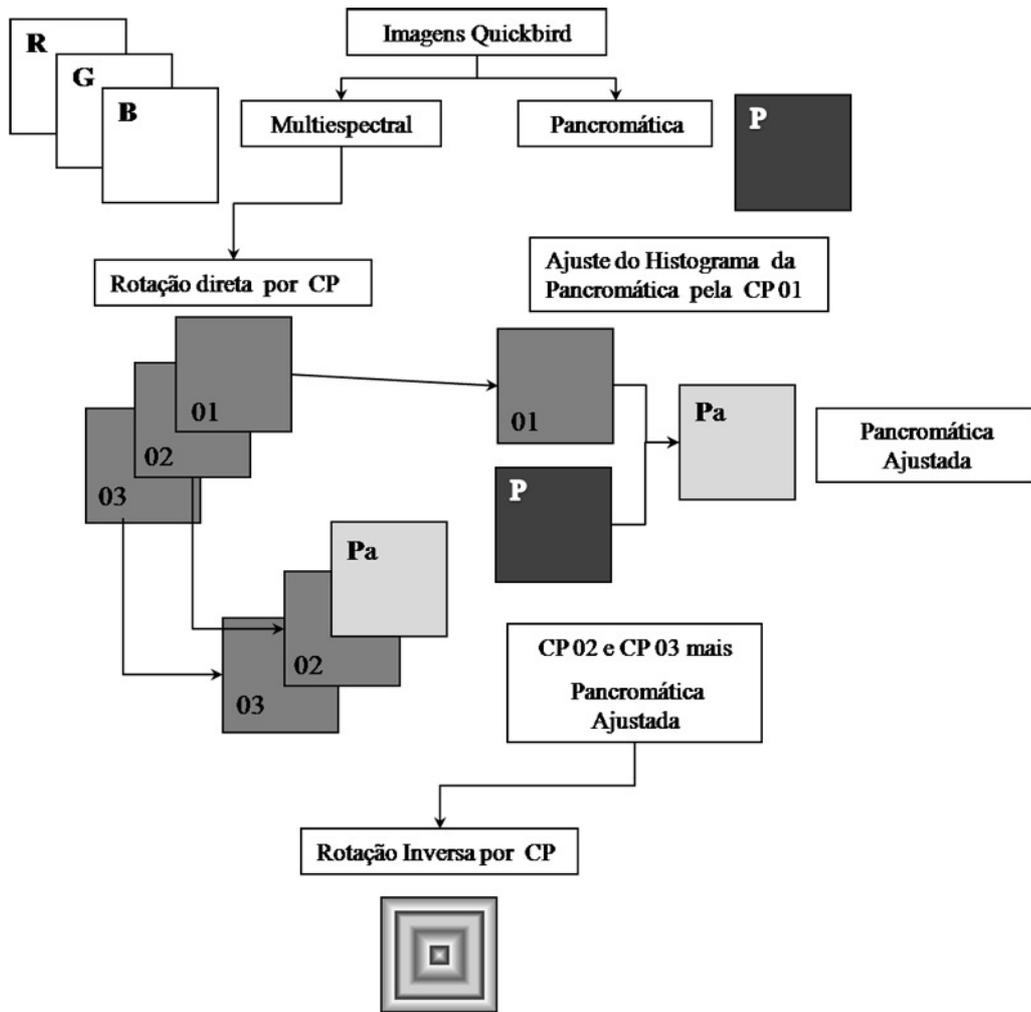


Fig. 2 - Diagrama de Blocos: Processamentos para a realização de Fusão por CP.

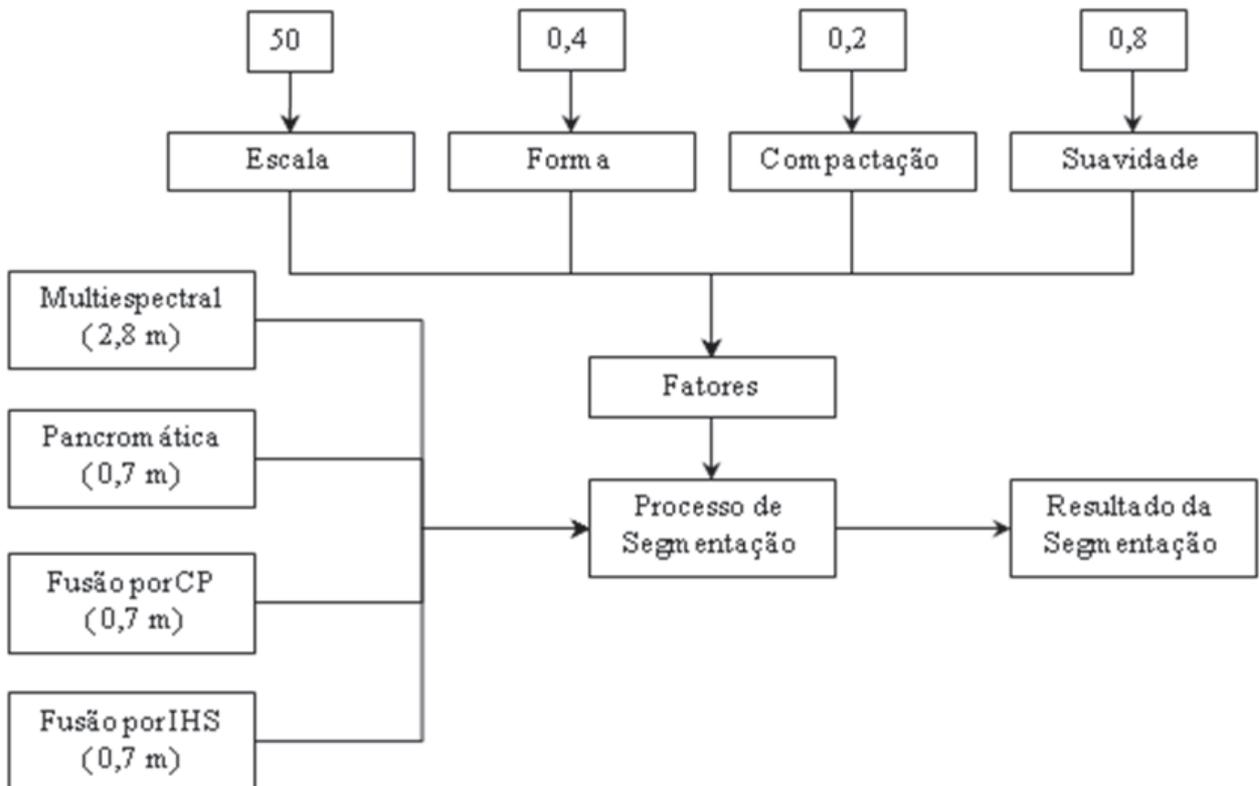


Fig. 3 - Diagrama de Blocos: Processamentos das Segmentações Multiresolução.

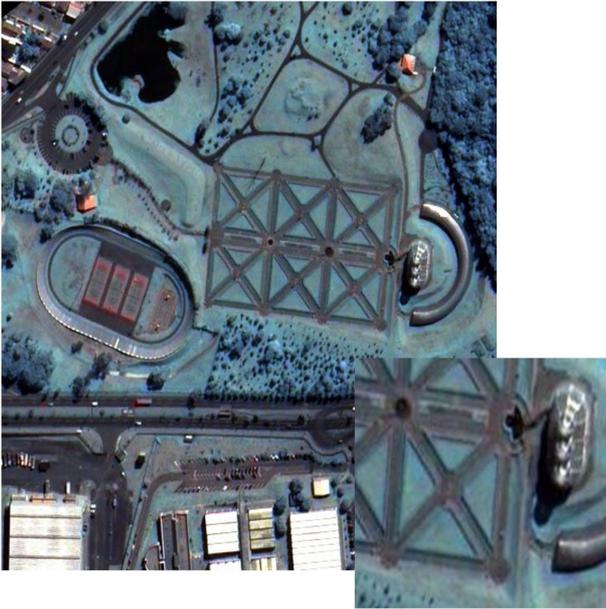


Fig. 4 – Resultado da fusão por RGB-IHS.

Na equação 3 tem-se o critério de f , mostrando a heterogeneidade H_c e H_f ponderadas pelo peso W_c e $(1 - W_c)$.

$$f = W_c.H_c + (1 - W_c)h_f \quad (3)$$

Para a diferença de heterogeneidade h_{dif} é usada h_m , a heterogeneidade após a fusão virtual e n – tamanho dos objetos, como mostra a equação 4.

$$h_{dif} = h_m(h_1.n_1 + h_2.n_2)n_1 + n_2 \quad (4)$$

A Figura 3 exemplifica no Diagrama de Blocos, as etapas dos testes da segmentação multiresolução das imagens originais e das imagens resultantes das fusões por CP e RGB-IHS.

O diagrama de blocos exibe as etapas da segmentação e, mostra os testes realizados com os fatores de escala 50 e forma com 0,4 sendo 0,2 para a compactação e 0,8 para a suavidade dos objetos. Exibe que as imagens multiespectral, a pancromática foram segmentadas assim como as fusões por CP e pelo método IHS.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra imagem híbrida mediante a fusão por substituição do espaço de cores RGB-IHS e a Figura 5 o resultado da fusão por substituição por CP.

A seguir são exibidos os resultados da segmentação com fator de escala 50, com 0,4 para

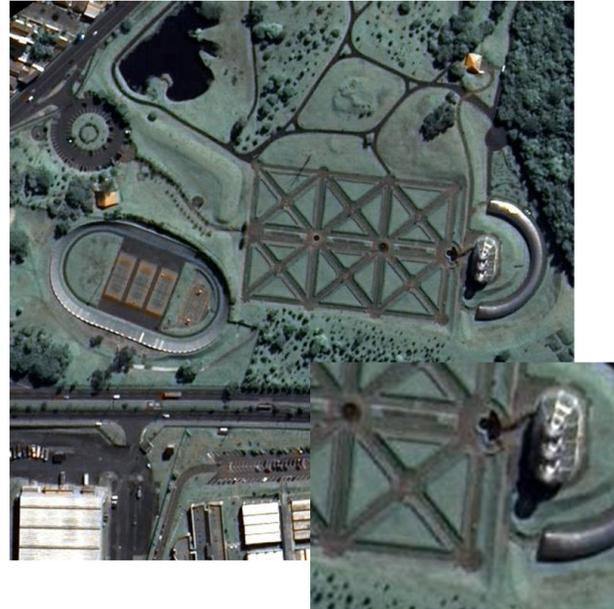


Fig. 5 – Resultado da fusão por CP.

o fator forma, sendo 0,2 pra compacidade e 0,8 para a suavidade. Destaca-se aqui que, a imagem pancromática, com resolução espacial de 0,7m, também foi segmentada da mesma maneira que as duas imagens híbridas e que é utilizada no processamento do índice de qualidade IQI, na comparação dos resultados das fusões por substituição no espaço de cores RGB – IHS e por CP, ambas segmentadas. A Figura 6 exibe o resultado da segmentação realizada na imagem pancromática.

O resultado da segmentação na imagem híbrida por meio da fusão por substituição do espaço de cores RGB-IHS está na Figura 7 e a imagem resultado da fusão por substituição por meio de CP e segmentada é apresentada na Figura 8, ambas, figuras 7 e 8, com resolução espacial de 0,7m de coloridas.

Para comparar visualmente os resultados, exibe-se na Figura 9 três detalhes das segmentações nas imagens, pancromática, na fusão por RGB-IHS e na fusão por CP. A figura apresenta somente uma porção da área de estudo após a segmentação das imagens pancromática, híbrida RGB-IHS e CP. São as porções em destaque das Figuras 6, 7 e 8. Esta figura procura ilustrar o detalhe dos segmentos sem a sobreposição dos vetores.

Nota-se na Figura 9, os resultados semelhantes quanto à segmentação das imagens híbridas e pancromática, isto é, com segmentos compatíveis aos detalhes relativos a vias,

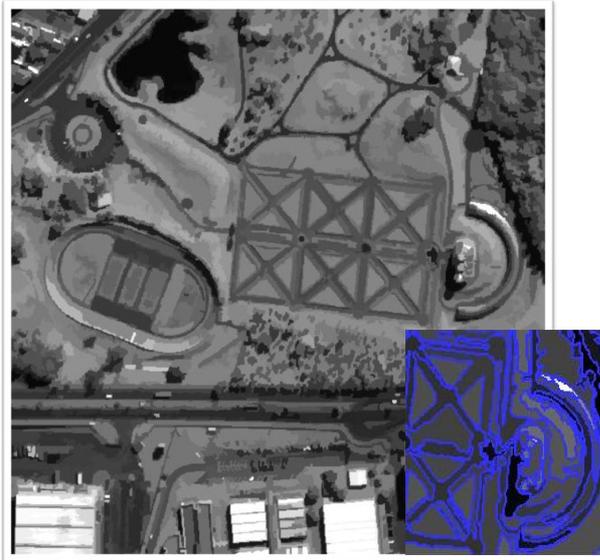


Fig. 6 - Resultado da segmentação na imagem pancromática.

construções e ruas, entretanto as imagens das fusões têm coloração diferente, numa análise qualitativa.

Optou-se por realizar-se uma análise quantitativa, uma vez que os segmentos das três imagens, pancromática, fusão RGB-IHS e fusão CP são visualmente semelhantes. Portanto, mediante a análise estatística do *Image Quality Index* (IQI) de WANG e BOVIK (2002), verificou-se a qualidade entre as imagens pancromáticas e híbridas. Ressalta-se que, Weidner (2010) em seu estudo com imagens com fusão utilizou o IQI, desenvolvido pelos autores supracitados, para verificar a qualidade dos agrupamentos gerados quando da classificação digital de diferentes imagens híbridas. Este índice, IQI, apresenta três fatores: (a) perda da correlação; (b) distorção da luminosidade e; (c) distorção do contraste, índice esse apresentado na

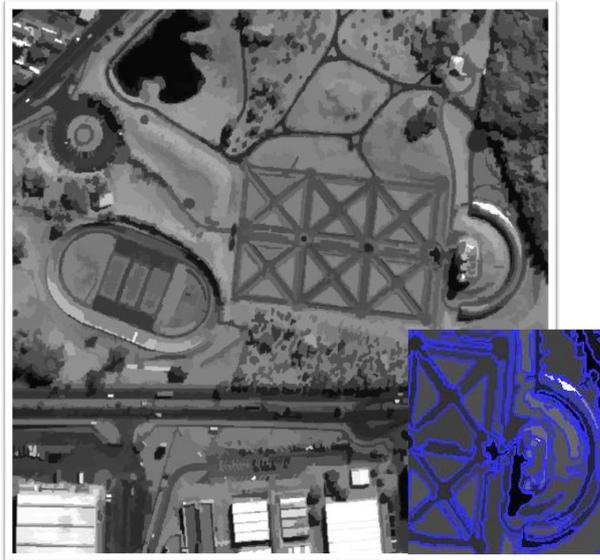


Fig. 7 – Resultado da segmentação na imagem híbrida mediante o processo de substituição dos espaços de cores RGB-IHS.

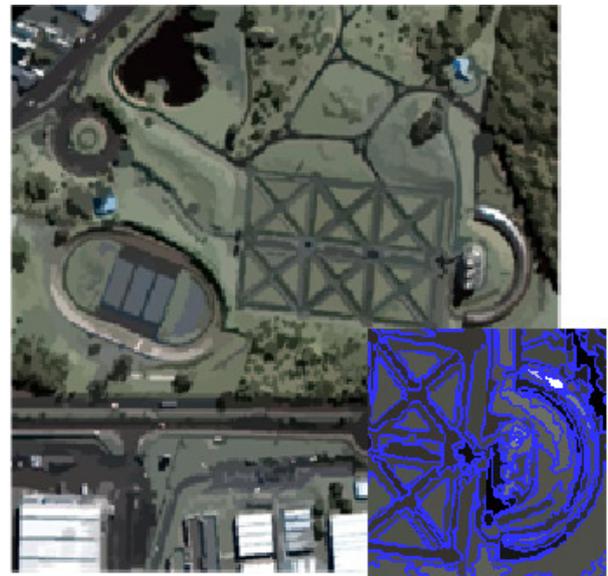
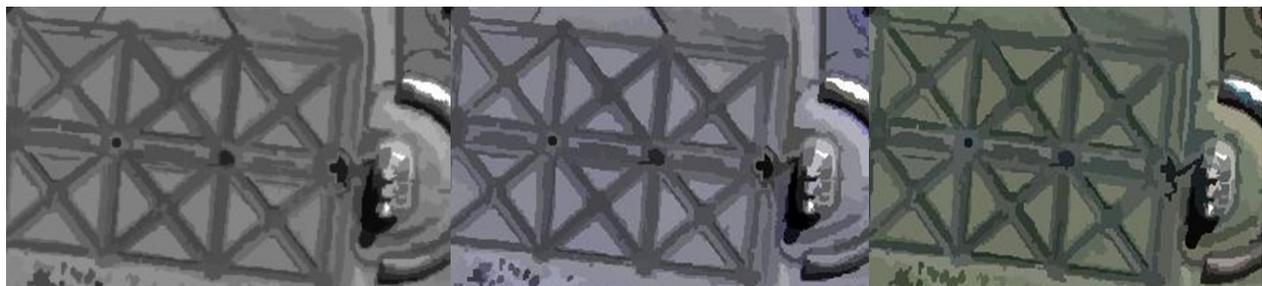


Fig. 8 - Resultado da segmentação na imagem híbrida mediante o processo de substituição por CP.



(a)

(b)

(c)

Fig. 9 – Detalhes dos resultados das imagens segmentadas: pancromática (a) e as duas híbridas RGB – IHS (b) e CP (c), respectivamente.

Tabela 1- Resultado do IQI apresentando cada termo: perda da correlação, distorção da intensidade e distorção do contraste.

	Segmento		
	PAN X Fusão CP	PAN X Fusão RGB/IHS	Fusão CP x Fusão RGB/IHS
Intensidade	0,9998	0,9999	0,9995
Contraste	0,9733	0,9983	0,9847
Correlação	0,1607	0,1423	<u>0,0537</u>

equação 5; realizou-se o cálculo separado de cada um dos fatores.

$$Q = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2 \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{(\bar{x})^2 \cdot (\bar{y})^2} \cdot \frac{2 \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2} \quad (5)$$

Onde:

σ_x e σ_y = variância x e y

σ_{xy} = covariância de x e y

\bar{x} = média de x

\bar{y} = média de y

σ_x^2 e σ_y^2 = desvio padrão de x e y

Cabe aqui salientar que, cada um dos termos (a), (b) e (c) da equação 5 foi desmembrado e calculado separadamente. Os termos do IQI variam de 0 a 1 onde os valores próximos a 1 os melhores resultados. A Tabela 1 apresenta os resultados numéricos de cada termo do IQI, calculados entre as imagens, pancromática não segmentada e segmentada, a fusão por CP e por RGB- IHS também segmentadas e não segmentadas e pode-se verificar o valor de cada termo do IQI entre elas

Analisando a Tabela 1, nota-se que o termo Intensidade é alto nas três comparações, sendo o maior índice na comparação entre as fusões CP e RGB – IHS, com valor de 0,9999. Considerando que os valores de Intensidade são praticamente iguais, cabe concentrar a análise nos dois outros fatores do índice.: Contraste e Correlação.

No caso do contraste, a variação entre as três comparações foi da ordem de 0,0250 e 0,0136 levando-se em consideração o maior valor de 0,9983 para a comparação do contraste entre PAN versus fusão RGB - IHS. Estes valores também são muito próximos da unidade, apontando pouca diferença entre as imagens resultantes. Diferenças de contraste, porém, podem ser atribuídas ao processo de ajuste radiométrico e devido a sua dimensão podem ser desprezadas.

Em relação à correlação, nota-se que, após a segmentação, houve diminuição significativa nos termos comparando-se as imagens segmentadas com fusão e com a pancromática resultado da segmentação. A maior diminuição do termo correlação ocorreu quando da comparação entre as imagens fusão CP versus fusão RGB-IHS com valores de 0,0537, sublinhados na Tabela 1. No caso das imagens PAN versus fusão por CP o valor numérico do termo correlação também diminuiu, mas menos, de 0,4705 para 0,1607 (em negrito na tabela) se comparado com os demais.

Os resultados da comparação das imagens híbridas dos métodos RGB-IHS e CP são os que apontam maior divergência entre as imagens, ou seja, existe uma diferença significativa entre as imagens segmentadas por estes dois métodos. O cálculo da correlação se baseia na análise dos desvios padrão e covariância entre as imagens. Em uma imagem segmentada, a variação dos valores digitais é menor, visto que as regiões são uniformizadas em termos de valor digital, logo a diminuição é esperada. Porém, diferenças nas bordas dos segmentos podem causar grandes diferenças em termos de correlação. Considerando que a informação espacial, e por conseguinte grande parte da informação das bordas e fronteiras na imagem está contida na imagem pancromática, a inclusão da informação espectral (cor) mediante a fusão pelo método das CP é aquela que produz melhores resultados.

6. CONCLUSÕES

As imagens brutas pancromática com resolução espacial de 0,7m e multiespectral com resolução espacial de 2,8m fornecem ao intérprete informações relevantes a respeito do uso do solo urbano atual, mas carece de detalhes limítrofes nas bandas da cena multiespectral e de cor na imagem pancromática de maior resolução espectral .

Na comparação de métodos de fusão, tendo como base as imagens brutas e pancromáticas os resultados da fusão por CP e RGB-IHS melhoram a informação para o intérprete, que agora possui novas imagens com resolução espacial de 0,7m e colorida, como já detalhado pela bibliografia em Richards, 1993 e Gonzalez e Woods, 2000.

A segmentação da imagem multiespectral fica prejudicada devido a sua resolução espacial de 2,8m; tentou-se contornar esse problema utilizando-se para a segmentação a mesma imagem com o pixel redimensionado para a resolução da pancromática (0,70 m), mas o resultado foi insatisfatório, consequentemente não apresentado. O mesmo ocorreu com segmentação da imagem multiespectral, com resolução espacial de 2,8m, que com escala 50, 0,4 para o fator forma, sendo 0,2 pra compacidade e 0,8 para a suavidade os arruamentos desapareceram e segmentos grandes foram gerados englobando informações de interesse dentro de uma região ou segmento e, devido a este fato estas imagens segmentadas não foram apresentadas.

Quando da comparação visual das fusões das imagens, tendo como base a imagem pancromática e levando-se em consideração o nível de informação de segmento, com os mesmos fatores de forma e cor, os melhores resultados das segmentações ocorrem em ambas as segmentações, da fusão por CP e da cena fusão RGB-IHS.

Na análise numérica mediante o IQI desmembrado termo a termo, pode-se afirmar que os métodos não influenciam significativamente a variação de Intensidade e Contraste. Porém, sua diferença é visível no termo de correlação. A análise comparativa revela que o método das CP é aquele que mais se assemelha à imagem produzida segmentando a imagem pancromática.

E finalmente, a segmentação multiresolução é uma técnica de segmentação complexa e exige a interação do intérprete quando da segmentação que é realizada por tentativa e análise visual em termos do que se deseja agrupar. Neste contexto elucidase que os resultados são realizados mediante testes em escala, para o agrupamento dos *pixels* e também em relação à cor e forma, compacidade e suavidade, dos objetos presentes na cena e que também cada região ou segmento poderá ser descrito pelo valor médio do brilho, mas que existem outros descritores de cor e de forma. Portanto,

sugere-se que após os testes da segmentação das imagens com fusões realizem-se comparações com outros descritores e ainda uma medida de comparação diferente do IQI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná – UFPR. 2 ed., 2004, 168p.

FAN, G.; XIA, X.. **A joint multicontext and multiscale approach to Bayesian image segmentation**. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing. v. 39, n. 2, p. 2680- 2688. 2001

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitias** São Paulo, Editora Edgard Blucher , 2000. 716p.

JOSHN, M. & JALOBÉANU, A. **MAP Estimation for multiresolution fusion in remotely sensed images using an IGMRF prior mode**. IEE Transactions on Geoscience an Remote Sensing, v. 48, n. 3 , 2010.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. . 2a Edition. New York. John Wiley & Sons. 2000. 721p

RIBEIRO, S. R. A. **Delimitação automática de unidades fisionômicas da paisagem utilizando a técnica de redes neurais artificiais**. Curitiba, 2003, 264p.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Springer, Heidelberg, New York, 1993. 281 p.

CASTRO, F. S. P.; CENTENO, J. A. S. **Road extraction from alos images using mathematical morphology** In: Wagner W., Székely, B. (eds.): ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part, 2010, p. 457-461

SOLBERG, A.H.S.; VOLDEN, E. **Incorporarion of prior knowledge in automatic classification of oil spills in ERS SAR images**. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium '97, Singapore, 1997. Proceedings. Picataway: IEEE Publications, 1997. v. 1, p. 157-159.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. dos. **Técnicas de Classificação de Imagens para Análise de**

Cobertura Vegetal. In: ASSAD, E.D. e SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. p. 351-371. SPI/Embrapa-CPAC, 1998. Capítulo 18, pp. 351-371.

WANG Z.; BOVIK A. C. **A Universal Quality Index**. IEEE Signal Processing Letters, v.10, p. 81 – 84, 2002.

WEIDNER, U. **Pansharpening – relating quantitative quality measures to impact on results of subsequent processing steps**. In: Wagner W., Székely, A. (eds.): ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part, 2010. p. 287-292.

ZHANG, Y. Understanding image fusion. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 70, n. 6, p. 657 – 661, 2004.