

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TÉCNICAS DE FUSÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL DO SATÉLITE QUICKBIRD

Ivo Augusto Lopes MAGALHÃES ¹
 Vagner Mauri QUINTO ²
 Flávio Eymard da Rocha PENA ³
 Moisés Savedra OMENA ⁴
 Marlene Leiko CHIBA ⁵
 Alexandre Rosa dos SANTOS ⁶

¹ Engenheiro Ambiental, Mestrando em Ciências Florestais – Universidade Federal do Espírito Santo- UFES. E-mail: ivo-magalhaes@hotmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Ciências Florestais/UFES. E-mail: quintouniversitario@hotmail.com

³ Licenciado em Ciências Agrícolas. Professor MSc. do Campus Ibatiba, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Espírito Santo – IFES. E-mail: flaviorochapena@ifes.edu.br

⁴ Bacharel em Sistemas de Informação. Analista de Sistemas e Professor do Campus de Ibatiba –IFES. E-mail: moisesomena@gmail.com

⁵ Engenheira Química. UFES. E-mail: marlenechib@hotmail.com

⁶ Prof. Dr. Associado do Depto. de Engenharia Rural, UFES. E-mail: mundogeomatica@yahoo.com.br

RESUMO. As imagens de satélite para estudos ambientais devem apresentar alta resolução espectral, radiométrica e espacial. A técnica que transforma imagens multiespectrais a partir da imagem pancromática em uma nova imagem com melhor resolução espacial é denominada fusão. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de quatro diferentes técnicas de fusão de imagens: transformação *IHS*, *ESRI*, *SIMPLE-MEAN* e *BROVEY* para análise ambiental e urbana na cidade de Vitória, ES. Foram geradas quatro imagens sintéticas por meio das técnicas de fusão com parâmetros de pesos referentes ao padrão adotado pelo aplicativo computacional *ArcGIS* 10.0. A partir das avaliações estatísticas, *REMQ*, *DPID*, *BIAS*, *CC* e *DV*, as técnicas *ESRI* e *IHS* apresentaram quantitativamente a melhor aplicabilidade para a fusão das imagens em estudo.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, imagem de satélite, fusão, análise qualitativa e quantitativa.

ABSTRACT. *Comparative analysis between image fusion techniques of high spatial resolution Quickbird satellite.* The satellite images for environmental studies must have high spectral resolution, radiometric and spatial. The multispectral imaging technique that transforms from the panchromatic image in a new image with better spatial resolution is called fusion. This study aimed to evaluate the performance of four different image fusion techniques: *IHS* transformation, *ESRI*, and *SIMPLE MEAN-BROVEY* for analysis and environmental conditions in the city of Vitória, ES. Four synthetic images were generated through the fusion techniques with parameters of weights for the standard adopted by the computer application *ArcGIS* 10.0. From the statistical evaluations, *resched*, *DPID*, *Bias*, *DC* and *DV* techniques *ESRI* and *IHS* had the best quantitative applicability to merge the images in the study.

Keywords: Remote sensing, satellite images, fusion, qualitative and quantitative analysis

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto está sendo utilizado como ferramenta de enorme importância em pesquisas científicas e no monitoramento dos fenômenos ambientais. Para um determinado estudo onde é necessário ter uma melhor nitidez, precisão e intervalo temporal do objeto de estudo, é imprescindível que as imagens de satélite adquiridas apresentem uma alta resolução espacial, espectral e temporal.

Matias et al. (2009) sustentam a afirmação acima dizendo que imagens de satélite ideais para estudos mais fidedignos devem ter alta resolução espectral, radiométrica, espacial e recobrir uma mesma área com pouco espaçamento temporal.

Na década passada as imagens adquiridas dos satélites mais antigos, como os da era *LANDSAT* e *CBERS* os quais apresentam média resolução espacial, são limitados para algumas análises. Já os satélites de alta resolução como o *IKONOS* e *QUICKBIRD*, mesmo com melhor qualidade e resolução, apresentavam alto custo dos produtos, tornando-os pouco acessível para a comunidade científica (CUNHA; COSTA, 2010).

Desta forma, torna-se evidente a necessidade da aplicação de técnicas de fusão em imagens de baixa resolução. A técnica de fusão de imagens surgiu para que fosse possível adquirir uma maior dimensão espacial e produzir uma imagem com maior qualidade de observação.

A fusão de imagens possibilita a integração da resolução espacial da banda pancromática com a melhor resolução espectral das demais bandas, produzindo uma imagem colorida (sintética) que reúne as melhores características de ambas as imagens utilizadas no processo (LEONARDI et al., 2009).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de quatro técnicas de fusão de imagens transformação *IHS*, *ESRI*,

SIMPLE-MEAN e *BROVEY* para análise ambiental e urbana na cidade de Vitória, ES.

A Estação Ecológica municipal Ilha do Lameirão, alvo deste estudo, foi criada em setembro de 1986 por intermédio de uma Lei Municipal da cidade de Vitória, ES, com o intuito de preservar uma área de manguezal acometida por intensa interferência antrópica. A área de estudo localiza-se entre as latitudes 20°14' e 20°17' S e longitude 40°16' e 40°20' W (Figura 1).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA CIDADE DE VITÓRIA, ES

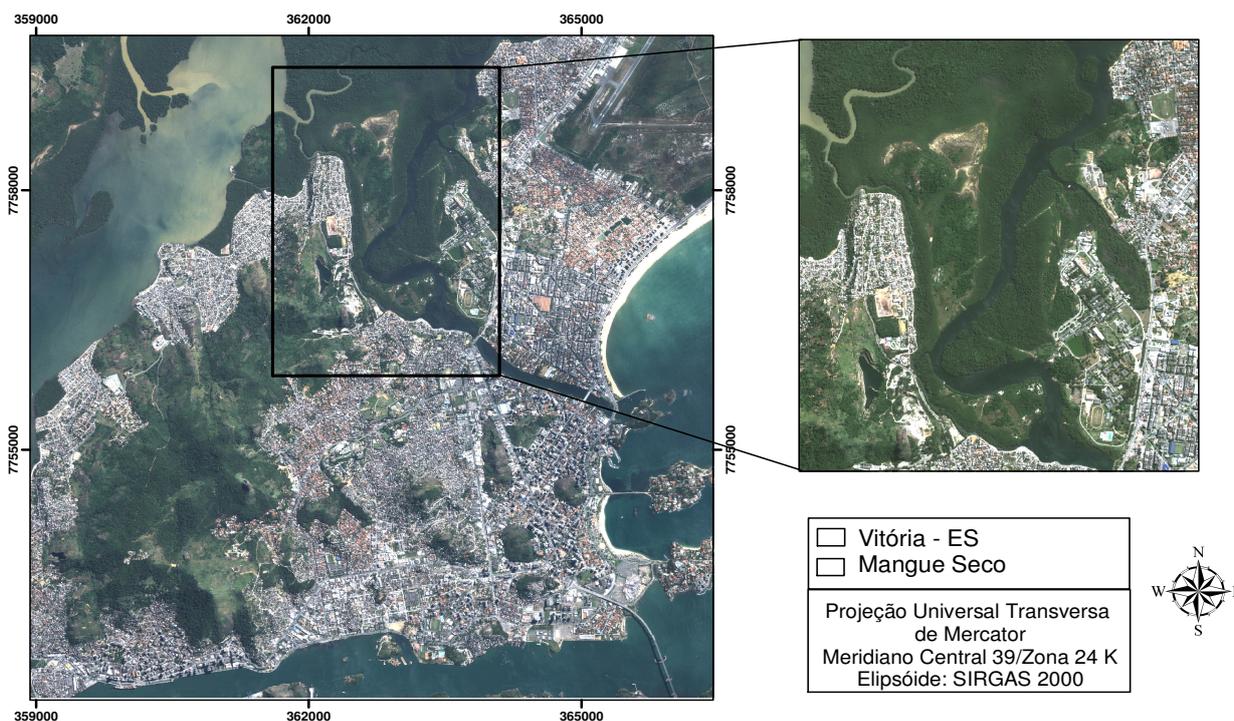


Figura 1. Localização da área de estudo na unidade de proteção Mangue Seco, Vitória, ES.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado sobre uma imagem do satélite *QUICKBIRD*, contemplando a unidade de proteção Mangue Seco na cidade de Vitória, ES. As imagens selecionadas foram pré-processadas para as aplicações das técnicas de fusão propostas no estudo, sendo desenvolvidas no *software ArcGIS 10.0*. Neste trabalho avaliaram-se as bandas 2 (Verde), 3 (Vermelho) e 4 (Infravermelho próximo) resultando uma imagem multiespectral em composição falsa-cor a partir da imagem pancromática por meio de quatro técnicas de fusão diferentes. Todas as etapas desenvolvidas no trabalho para a avaliação das

técnicas de fusão utilizadas podem ser observadas no fluxograma metodológico da Figura 2.

Imagens do Satélite QUICKBIRD

O satélite *QUICKBIRD* foi lançado em outubro de 2001, a 450 km de altitude. Heliosíncrono, ele gira em uma órbita quase polar, com inclinação de 98° em relação ao pólo. Foi desenvolvido com uma frequência de revisita de três dias, podendo percorrer uma volta na Terra em torno de 93,4 minutos e possui uma faixa imageadora de 16,5 km, sendo que o seu sensor opera em cinco faixas espectrais, conforme demonstrado no Quadro 1.

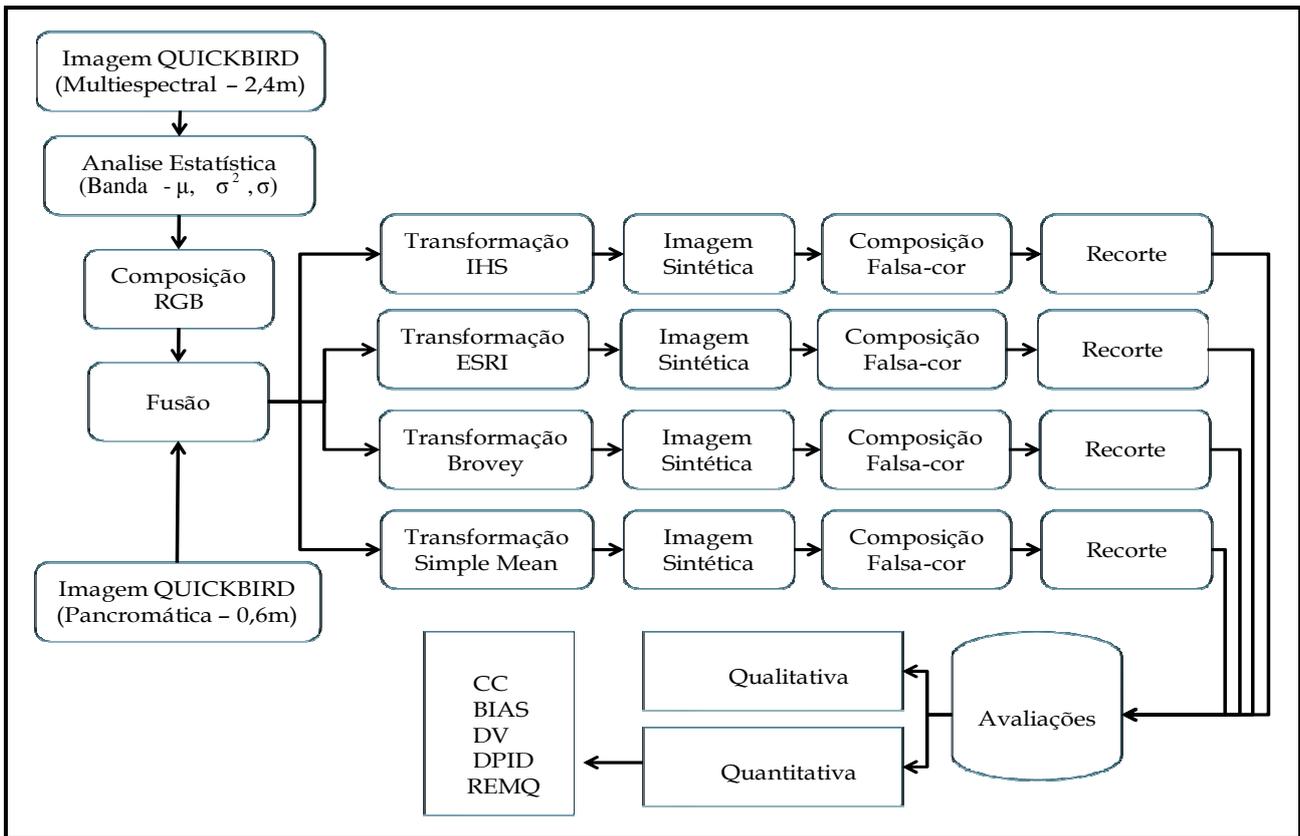


Figura 2. Etapas desenvolvidas na avaliação das técnicas de fusão.

Quadro 1. Características do sistema sensor do satélite *QUICKBIRD*.

Banda	Faixa espectral (nm)	Região do espectro	Resolução espacial (m x m)
GSD1	450 a 520	Azul	2,44
DSD2	520 a 600	Verde	2,44
GSD3	630 a 690	Vermelho	2,44
GSD4	760 a 900	IV próximo	2,44
PAN	450 a 900	Visível e IV próximo	0,61

Fonte: Moreira (2005).

Técnicas de Fusão de Imagens

As técnicas de fusão podem ser divididas em três grupos: as que utilizam um modelo de domínio espacial, as de domínio espectral e as que trabalham com operações algébricas (PINHO et al., 2005). Segundo estes autores as técnicas de modelos espaciais isolam a informação espacial de alta frequência provenientes da imagem de alta resolução e a combinam com a imagem multiespectral. O grupo de modelos de domínio espectral é formado pelos processos que realizam uma transformação na imagem multiespectral, resultando num novo conjunto de bandas onde uma delas é correlacionada com a imagem pancromática, e os modelos algébricos realizam funções aritméticas pixel-a-pixel.

Neste contexto, é válido ressaltar que as técnicas de fusão de imagens realizadas neste trabalho foram primeiramente confeccionadas a partir da reamostragem da banda multiespectral com menor resolução espacial para posteriormente transformá-la em uma imagem híbrida com maior resolução espacial a partir da fusão de imagens com a banda pancromática de maior resolução espacial. O Quadro 2 apresenta todas as técnicas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

Após a aplicação das técnicas de fusão de imagens supracitadas, foram geradas quatro imagens sintéticas através das técnicas de fusão com parâmetros de pesos (Quadro 3) referentes ao padrão adotado pelo *software ArcGIS 10.0*.

Quadro 2. Fusão das imagens do satélite *QUICKBIRD*, gerando imagens sintéticas.

Satélite	Técnicas de Fusão			
	IHS	ESRI	SIMPLE-MEAN	BROVEY
<i>Quickbird</i>	Fusão 1	Fusão 2	Fusão 3	Fusão 4
Banda (2,3 e 4)	Banda Pan (0,6m)	Banda Pan (0,6m)	Banda Pan (0,6m)	Banda Pan (0,6m)

Quadro 3. Pesos padrão estabelecidos pelo *ArcGIS* 10.0 referentes a cada banda e método de fusão.

Bandas	Técnicas de Transformação		
	IHS	ESRI	BROVEY
Vermelho	0,334	0,166	0,334
Verde	0,333	0,167	0,333
Azul	0,333	0,167	0,333
Infra-Vermelho	0,000	0,500	0,000

Fonte: ESRI (2011)

Transformação IHS

Consiste em projetar a informação de cores representadas no espaço vermelho, verde e azul (RGB) para outro conjunto de eixos de medição de cores. O sistema *IHS* possui a vantagem de apresentar as cores de uma forma mais aproximada àquela utilizada pelo sistema de visão humano, pois os tons são descritos em termos de Intensidade, Matiz e Saturação. A transformação *IHS* permite um maior controle individual sobre os componentes cromáticos (Matiz) e acromáticos (Saturação) da imagem (SANTOS et al., 2010).

O sistema *IHS* pode ser representado por um cone onde a Intensidade refere-se à distância de origem ou ápice do cone, a Matiz à sequência radial ao redor dos círculos de saturação e do eixo de intensidade e a Saturação à distância radial do ponto até o eixo central do cone. Por serem independentes, os três parâmetros podem ser analisados e modificados separadamente para um melhor ajuste das cores às características do sistema visual por meio da utilização de diferentes sensores e resolução espacial. A intensidade pode ser calculada conforme a equação 1 (ESRI, 2011).

$$I = VBP - VBIVP * PBIV \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

I: intensidade;

VBP: valor da banda pancromática;

VBIVP: valor da banda do infra-vermelho próximo;

PBIV: peso da banda do infra-vermelho próximo.

O resultado da aplicação desta técnica pode ser observado na Figura 3a.

Transformação ESRI

Consiste na aplicação de uma média ponderada, cujo resultado gera um valor de ajuste, e a banda adicional do infravermelho-próximo, opcionalmente, para calcular os valores de saída, usando o algoritmo *ESRI* com base em modelos espectrais para a fusão de dados, conforme equação 2 (ESRI, 2011).

$$VBF = 0,5 * (VBO + VBP) \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

VBF: valor da banda fusionada;

VBO: valor da banda original;

VBP: valor da banda pancromática.

O resultado da aplicação desta técnica pode ser observado na Figura 3b.

Transformação SIMPLE-MEAN

Consiste na aplicação de uma equação de média aritmética simples para cada combinação de bandas de saída. Utiliza o valor médio entre o vermelho, verde e azul e valores de pixel da imagem pancromática, conforme equação 3 (ESRI, 2011).

$$VBF = \frac{(VBO + VBP)}{2} \quad (\text{eq. 3})$$

em que:

VBF: valor da banda fusionada;

VBO: valor da banda original;

VBP: valor da banda pancromática.

O resultado da aplicação desta técnica pode ser observado na Figura 3c.

Transformação BROVEY

Esta técnica consiste numa combinação aritmética entre uma imagem multiespectral de baixa resolução espacial representada no espaço *RGB* e uma imagem pancromática de alta resolução. Nessa transformação, cada banda da imagem multiespectral é dividida pela soma das bandas da imagem multiespectral multiplicadas pela banda pancromática, conforme equação 4 (ESRI, 2011).

A fusão *BROVEY* e a *IHS* possuem duas limitações semelhantes, em que, o número de bandas serem utilizadas é restrita a apenas três imagens híbridas de saída com resolução radiométrica de 8 bits, pois trabalha no sistema de cores *RGB*.

$$VBF = \frac{VBO}{(VB_R + VB_G + VB_B) * VBP} \quad (\text{eq. 4})$$

em que:

VBF: valor da banda fusionada;

VBO: valor da banda original;

VB_R: valor da banda vermelha;

VB_G: valor da banda verde;

VB_B: valor da banda azul;

VBP: valor da banda pancromática.

O resultado da aplicação desta técnica pode ser observado na Figura 3d.

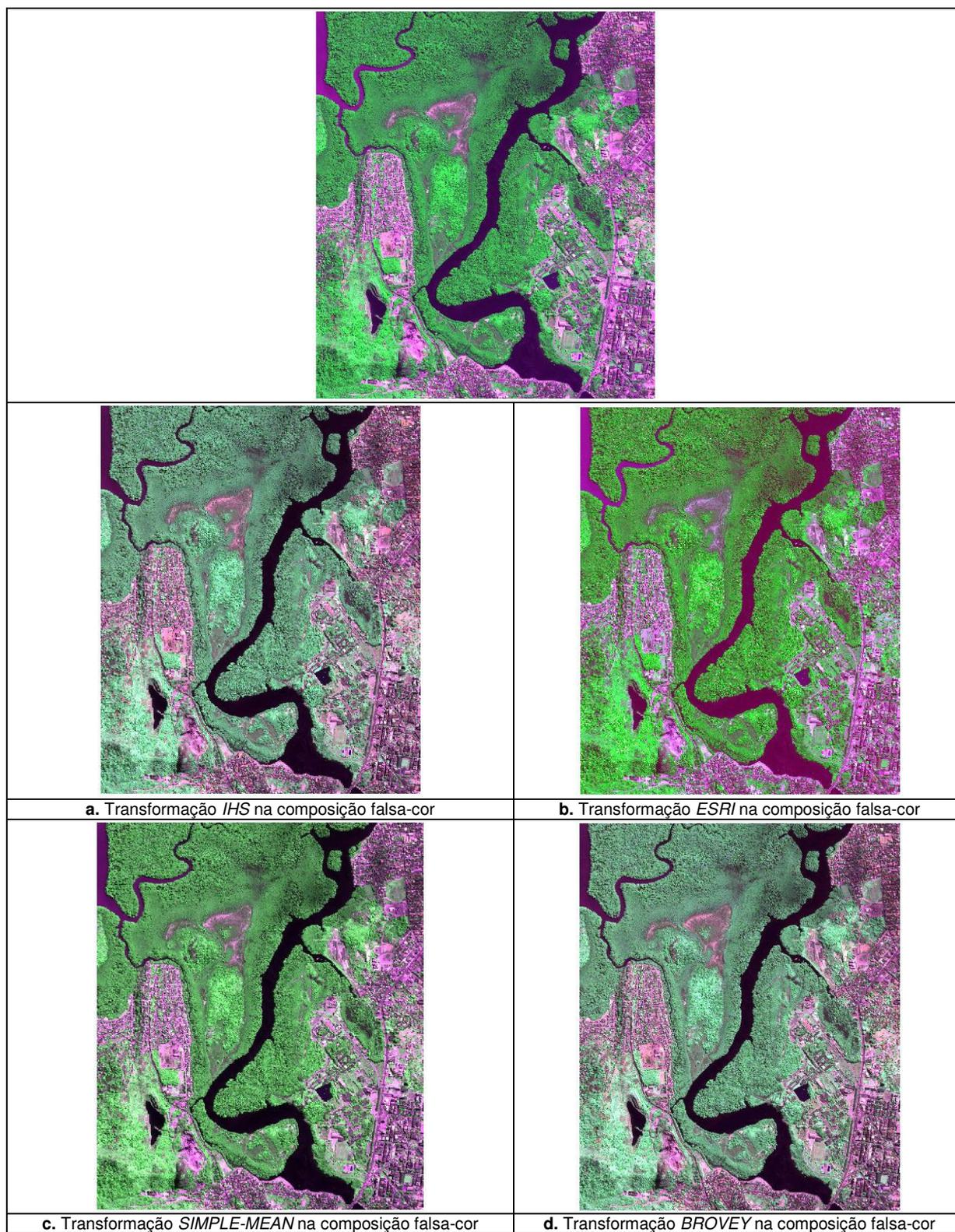


Figura 3. Imagem multiespectral na composição falsa-cor e transformações aplicadas.

Avaliação Qualitativa e Estatística

Para Leonardiet et al. (2009), a utilização de métodos de fusão de imagens tem como objetivo avaliar a qualidade espacial e espectral das imagens fusionadas, desejando-se o aumento da resolução espacial sem que sejam acrescentados falsos alvos, preservando assim a informação

espectral na imagem. Pinho et al. (2005) afirmam que existem indicadores visuais e estatísticos. No entanto, não existe um padrão definido de medidas de qualidade em processamento digital de imagens.

De maneira geral, a avaliação visual é o primeiro método utilizado, permitindo ao

observador avaliar o resultado geral da fusão no que se refere à preservação das bordas e do espectro da imagem de alta resolução em relação à imagem de baixa resolução. No entanto, esse processo é de caráter subjetivo e depende do observador (LEONARDI et al., 2005). Por isto, este processo de avaliação não pode ser o único utilizado para se avaliar os métodos de fusão empregados, necessitando-se, assim, da utilização de métodos estatísticos.

Segundo Telles Jr. (2008), a avaliação estatística dos métodos de fusão de imagens pode ser feita por meio dos seguintes indicadores: Coeficiente de Correlação (CC), BIAS, Diferença da Variância (DV) e Desvio Padrão da Imagem Diferença (DPID). Outro método de avaliação que também pode ser utilizado é a Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ).

Coeficiente de Correlação (CC)

O coeficiente de correlação indica o grau de relação linear existente entre duas variáveis quantitativas. Este método pode assumir valores variando de -1 (sem correlação) a 1 (totalmente correlacionado).

$$CC = \frac{C_{kl}}{\sqrt{\sigma_k \sigma_l}} \quad (\text{eq. 5})$$

em que:

C_{kl} : covariância entre as imagens v_k e v_l ;

σ_k : desvio padrão de v_k ;

σ_l : desvio padrão de v_l .

BIAS

O BIAS é definido pela diferença da média da imagem de baixa resolução pela de alta resolução em relação à imagem de baixa resolução, conforme observado na equação 6, sendo zero o valor de referência ideal. Emprega-se essa avaliação em todas as bandas espectrais da imagem avaliada.

$$BIAS = \frac{\mu_{LR} - \mu_{HR}}{\mu_{LR}} \quad (\text{eq. 6})$$

em que:

μ_{LR} : média da banda espectral da imagem de baixa resolução (imagem original); e

μ_{HR} : média da banda espectral da imagem de alta resolução.

Diferença da Variância (DV)

A diferença da variância é a relação normalizada entre a diferença das variâncias da imagem de baixa resolução pela de alta resolução em relação à variância da imagem de baixa resolução, conforme evidenciado na equação 7. Este método indica se houve perda ou adição de informações à imagem durante o processo de fusão. Valores positivos indicam perda de informação e valores negativos indicam adição de informação na imagem pelo processo de fusão aplicado. O valor ideal é um valor negativo

próximo de zero. Emprega-se essa avaliação em todas as bandas espectrais da imagem avaliada.

$$DV = \frac{\sigma_{LR}^2 - \sigma_{HR}^2}{\sigma_{LR}^2} \quad (\text{eq. 7})$$

em que:

σ_{LR}^2 : variância da banda espectral da imagem de baixa resolução (imagem original); e

σ_{HR}^2 : variância da banda espectral da imagem de alta resolução.

Desvio Padrão da Imagem Diferença (DPID)

O desvio padrão da imagem diferença é a diferença do desvio padrão da imagem de baixa resolução pelo de alta resolução em relação à média da imagem de baixa resolução, conforme equação 8. Esse método indica o nível de erro nos pixels da imagem (WALD, 1997). O valor ideal é zero. Emprega-se essa avaliação em todas as bandas espectrais da imagem avaliada.

$$DPID = \frac{\sigma_{LR} - \sigma_{HR}}{\mu_{LR}} \quad (\text{eq. 8})$$

em que:

σ_{LR} : desvio padrão da banda espectral da imagem de baixa resolução (imagem original);

σ_{HR} : desvio padrão da banda espectral da imagem de alta resolução; e

μ_{LR} : média da banda espectral da imagem de baixa resolução.

Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ)

A raiz do erro médio quadrático é a raiz quadrada da soma dos quadrados do BIAS e DPID, conforme equação 9. Este método indica o grau de similaridade entre as imagens de baixa e alta resolução, sendo o valor ideal igual a zero. Este método também tem que ser empregado em todas as bandas espectrais da imagem avaliada.

$$REMQ = \sqrt{BIAS^2 + DPID^2} \quad (\text{eq. 9})$$

em que:

REMQ: raiz do erro médio quadrático.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação qualitativa

A avaliação qualitativa é feita com base nos conhecimentos do observador sobre as imagens, por isso, apresenta alto grau de subjetividade. Segundo Telles Jr. (2008), com o intuito de minimizar a subjetividade na análise visual, o comitê IRARS (*Image Resolution Assessment and Reporting Standards*) estabeleceu normas para a avaliação visual sobre imagens multiespectrais de observação da Terra.

Estes critérios podem ser observados no Quadro 4. A escala de avaliação é denominada MSIIRS (*multispectral imagery interpretability rating scale*) (IRARS, 1995).

Quadro 4. Escalas de interpretação MSIIRS.

Nível MSIIRS	Capacidade de Interpretação
1	Distinguir entre áreas urbanas e rurais. Identificar áreas alagadiças ou pantanosas. Delinear linha costeira. Detectar pontes sobre corpos d'água. Delinear extensões com cobertura de neve ou gelo.
2	Detectar rodovias com mais de uma pista. Determinar a direção das correntes nos corpos d'água pela diferença de cores. Detectar áreas de extração vegetal. Delinear extensões de áreas agricultáveis. Delinear áreas inundadas.
3	Detectar diferentes misturas solo/vegetação ao longo de uma feição linear, indicando a presença de cercas. Identificar grandes avenidas em áreas urbanas. Identificar nas linhas costeiras a direção predominante de correntes de água. Distinguir entre edificações residenciais, comerciais e industriais em uma área urbana. Detectar vertentes de reservatórios.
4	Detectar posições de armas baseado na presença de embasamentos, revestimentos, bermas e clareiras em áreas com vegetação. Distinguir entre características de pavimentação em rodovias com duas pistas. Detectar indicações naturais de manutenção ou melhorias de pistas de pouso. Detectar deslizamentos de terra ou rochas suficientes para obstruir uma rodovia de pista única. Identificar áreas para utilização para aeronaves leves de asa fixa.

Fonte: IRARS (1995, adaptado por TELLES JR., 2008).

A análise visual das imagens em uma escala constante de 1:2.500 possibilitou a observação de diferentes cenários quando se observou a mesma área sobre as diferentes formas de fusão. Como exemplo, podemos citar a superestimação da área coberta com pastagem pelo método ESRI (Figura 4), bem como a subestimação da mesma área pelos métodos IHS (Figura 5) e Brovey (Figura 6). Já o método Simple-Mean (Figura 7) foi o que apresentou o resultado mais próximo da imagem de referência.

No entanto, apesar de visualmente ser possível distinguir diferentes características entre a imagem de referência e as imagens fusionadas, não podemos inferir que um método seja melhor ou pior do que o outro, pois baseado no Quadro 3 proposto por IRARS, é possível observar as mesmas características em ambas as imagens fusionadas. Como exemplo podemos observar a distinção de pistas duplas, áreas urbanas edificadas, detecção de ponte sobre cursos d'água, delinear áreas inundadas, entre outras características.



Figura 4. Superestimação do método *ESRI* (resolução espacial de 0,6 m) quando comparado com a imagem de referência (resolução espacial de 2,4m).



Figura 5. Subestimação do método *IHS* (resolução espacial de 0,6 m) quando comparado com a imagem de referência (resolução espacial de 2,4m).



Figura 6. Subestimação do método *BROVEY* (resolução espacial de 0,6 m) quando comparado com a imagem de referência (resolução espacial de 2,4m).



Figura 7. Estimação aproximada do método *SIMPLE-MEAN* (resolução espacial de 0,6 m) quando comparado com a imagem de referência (resolução espacial de 2,4m).

Avaliação estatística

Para a avaliação estatística das técnicas de fusão, foram utilizados índices de qualidade da imagem e os seus resultados podem ser observados nas Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5.

Pela análise do CC, a técnica de fusão *ESRI* é a que apresentou os melhores resultados, com os seus coeficientes variando de 0,8976 a 0,9667 (Tabela 1). No entanto, a técnica *SIMPLE-MEAN* apresentou resultados próximos ao da *ESRI*. Deste modo, podemos inferir que estas duas técnicas são adequadas para a fusão de imagens e consequentemente proporcionam uma melhor visualização dos objetos da imagem, devido à melhor resolução espacial apresentada pela imagem fusionada.

O elevado valor do CC entre as bandas da imagem original e fusionada indica que a maioria das informações na imagem fusionada é verídica, por isso pode-se realizar análises precisas sobre esta nova imagem de melhor resolução espacial sem a preocupação de se estar inferindo algo inverídico.

De acordo com a análise do método *BIAS*, a técnica *ESRI*, novamente foi a que apresentou os melhores resultados, com os seus valores variando de 0,0712 a 0,0000 (Tabela 2). Já a técnica *BROVEY* apresentou os piores

resultados, pois o valor de referência é zero.

A técnica *IHS* apresentou os melhores resultados pelo método da DV, com os seus valores variando de -0,1346 a 0,0700 (Tabela 3), comprovando assim a eficiência do uso desta técnica para o processo de fusão de imagens. Resultados semelhantes foram encontrados por Magalhães et al. (2011) em um estudo sobre comparação e análise de técnicas de fusão de imagens.

Analisando o DPID, descobre-se o nível de erro nos pixels da imagem. A técnica *IHS* apresentou os melhores resultados, variando de -0,0347 a 0,0164 (Tabela 4), ou seja, foi a que apresentou os menores erros pixel a pixel quando comparada uma imagem com a outra. Resultados como os encontrados por Magalhães et al. (2011) em um estudo sobre comparação e análise de técnicas de fusão de imagens corroboram para a utilização desta técnica para o processo de fusão.

A *REMQ* indica o grau de similaridade entre as imagens. Sendo assim, a técnica *ESRI* apresentou os maiores graus de similaridade com a imagem original, estando os seus valores variando de 0,1397 a 0,0164 a 0,0164 (Tabela 5). A técnica *BROVEY* novamente foi a que apresentou os piores resultados, pois o valor de referência é zero.

Tabela 1. Análise estatística do Coeficiente de Correlação (CC) das técnicas de fusão da imagem *QUICKBIRD*.

Bandas	CC			
	IHS	ESRI	SIMPLE-MEAN	BROVEY
Banda_2	0,3798	0,8976	0,7915	0,3858
Banda_3	0,7167	0,8183	0,8172	0,7239
Banda_4	0,6531	0,9667	0,8752	0,6581

Tabela 2. Análise estatística do *BIAS* das técnicas de fusão da imagem *QUICKBIRD*.

Bandas	BIAS			
	IHS	ESRI	SIMPLE-MEAN	BROVEY
Banda_2	-0,2725	0,0712	-0,4275	0,5032
Banda_3	-0,3329	0,0866	-0,3386	0,4792
Banda_4	-0,3353	0,0000	-0,1605	0,4793

Tabela 3. Análise estatística da Diferença da Variância (DV) das técnicas de fusão da imagem *QUICKBIRD*.

Bandas	DV			
	IHS	ESRI	SIMPLE-MEAN	BROVEY
Banda_2	-0,1346	-0,5980	0,0511	0,8371
Banda_3	-0,5330	-1,3748	-0,8098	0,7200
Banda_4	-0,700	-0,5151	0,1313	0,7965

Tabela 4. Análise estatística do Desvio Padrão da Imagem Diferença (DPID) das técnicas de fusão da imagem *QUICKBIRD*.

Bandas	DPID			
	IHS	ESRI	SIMPLE-MEAN	BROVEY
Banda_2	-0,0347	-0,1783	0,0175	0,4026
Banda_3	-0,0861	-0,1956	-0,1248	0,1703
Banda_4	0,0164	-0,1228	0,0362	0,2920

Tabela 5. Análise estatística da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) das técnicas de fusão da imagem *QUICKBIRD*.

Bandas	REMQ			
	IHS	ESRI	SIMPLE-MEAN	BROVEY
Banda_2	0,2730	0,1397	0,4279	0,6444
Banda_3	0,3439	0,2117	0,3609	0,5086
Banda_4	0,3374	0,0164	0,1645	0,5612

CONCLUSÃO

Nas condições em que os estudos foram realizados, a análise dos resultados permitiu-se apresentar as seguintes conclusões:

As quatro técnicas de fusão de imagens utilizadas no trabalho apresentaram ganho na qualidade da imagem devido à melhoria na resolução espacial desta, proporcionando uma maior distinção entre os objetos como rodovias, pontes, delimitações de cursos d'água, entre outros fatores, quando comparados com a imagem original;

a análise qualitativa das técnicas de fusão indicou a técnica *Simple-Mean* como sendo a mais apropriada para a fusão das imagens, tendo em vista que esta apresentou o resultado mais próximo ao da imagem original;

As análises qualitativas e estatísticas apresentaram resultados diferentes, comprovando o porquê de não se poder usar somente a análise visual para inferir sobre qual método é o mais adequado;

As técnicas *ESRI* e *IHS* foram as que apresentaram os melhores resultados estatísticos, indicando seu uso como o mais recomendado para a fusão das imagens.

AGRADECIMENTOS

FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo) e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

CUNHA, A. C., COSTA, F. P. M. Fusão de imagens dos satélites CBERS 2B HRC e LANDSAT 5 TM. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2010, Recife. **Anais...**, Recife: 2010, p. 001-005.

ESRI. ArcGIS – **ArcMap 10**, help on line. Disponível em: <<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//00170000009r000000>>. Acesso em: 8 out. 2011.

IRARS, Image Resolution Assessment and Reporting Committee. 1995. Multispectral Imagery Interpretability Rating Scale Reference Guide. Washington DC. Disponível em: <http://www.fas.org/irp/imint/niirs_ms/msiirs.htm>. Acesso em 14 fev. 2011.

LEONARDI, S. S. Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005, p. 4111-4113.

LEONARDI, F.; OLIVEIRA, C. G.; FONSECA, L. M. G.; ALMEIDA, C. M. Fusão de Imagens CBERS 2B: CCD-HRC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...**, Natal: INPE, 2009, p. 6951-6958.

MAGALHÃES, I. A. L.; THIAGO, C. R. L.; GOMES, J. B. O.; SANTOS, A. R. Comparação e análise das técnicas de fusão de imagens com o auxílio do satélite de alta resolução espacial QuickBird. In: V SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, III SEMINÁRIO DE GEOTECNOLOGIAS, 2011, Feira de Santana. **Anais...**, Feira de Santana: UEFES, 2011, p. 400-404.

MATIAS, L. F.; CAPORUSSO, D.; CRUZ, J. R. da; CARVALHO, J. C. B. de. Análise comparativa de técnicas de fusão de imagens CBERS-2B (CCD e HRC) utilizando o software ArcGIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...**, Natal: INPE, 2009, p. 2071-2077.

MOREIRA, M. A. (Coord.). **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa, MG: 3ªed. Viçosa - UFV, 2005, p. 250.

PINHO, C. M. D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. J. H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005, p. 4225-4232. 2005.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. de O.; SAITO, N. S. (Coord.). **SPRING 5.1.2 passo a passo: aplicações práticas**. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 2010, 155 p.

TELLES JUNIOR, M. A. B. G. **Super-resolução de imagens de sensoriamento remoto**. 2008. 123f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2008.

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