

Análise da técnica de *blending* baseado na estratégia de múltiplas resoluções para mosaico de imagens SAR

Júlio Bandeira Guerra¹
Luís Henrique Monteiro²
Vantier Veronezi Bagli¹
Leila Maria Garcia Fonseca¹
José Claudio Mura¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{guerra, bagli, leila, mura}@itid.inpe.br

²Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA
CEP 12228-900 – São José dos Campos – SP – Brasil
lhmonteiro@terra.com.br

Abstract. Analysis of a large area requires the creation of an image mosaic, which is composed of several images. In an ideal situation, a perfect mosaic is that one where the seam line and the radiometric and geometric differences between the images are not visible. Recently, Bagli and Fonseca (2006) have proposed an image mosaic method based on multiresolution approach to eliminate visible seam line, and blurring effects. Therefore, this work aims to assess the visual quality of SAR mosaics, generated through two blending techniques: multiresolution analysis and geometric mean. The analysis were performed visually and using an Image Quality Index (IQI). The experiments pointed out the SAR mosaics generated with multiple resolution approach presented better quality than others.

Key-words: mosaic, blending, SAR images, mosaico, *blending*, imagens SAR.

1. Introdução

Mosaico de imagens é a combinação de um conjunto de imagens, que cobrem a mesma área de estudo, para produzir uma única imagem (Wolf, 1983). Os mosaicos são muito utilizados em projetos que envolvem imagens obtidas por sensores remotos, quando a área de estudos não é totalmente coberta por uma única cena.

Um dos problemas na geração de mosaicos é a diferença de radiometria na área de sobreposição (transição), o que pode gerar uma transição abrupta, como mostra a **Figura 1**. Para minimizar este problema, algumas técnicas de *blending* (mesclagem) têm sido desenvolvidas.

O processo de *blending*, aplicado ao mosaico de imagens digitais, consiste em determinar os valores de níveis de cinza na área de sobreposição para suavizar a transição e assim preservar a aparência geral das imagens originais (Bagli e Fonseca, 2005). O tipo mais simples e comum de *blending* é a média ponderada de níveis de cinza dentro da área de sobreposição. Neste método, é atribuído peso ao pixel de acordo com sua distância em relação à linha de corte (Hasegawa e Arruda, 2004). Entretanto, o problema de descontinuidade pode persistir devido a fatores como diferença de textura, área de transição pequena, linha de corte reta, entre outros (Bagli e Fonseca, 2005).

Para resolver este problema, alguns autores têm proposto a análise em múltiplas resoluções usando a transformada *wavelet* (Su et al., 2004). A idéia básica desta técnica é que, ao decompor uma imagem em múltiplas resoluções, feições de tamanhos diferentes podem ser analisadas em diferentes níveis de resolução, de acordo com sua dimensão. Em cada nível de resolução, o processo de interpolação por média ponderada é mais específico, pois o tamanho

da área de transição é diferente nos diferentes níveis de resolução. Além disso, outra estratégia que pode ser associada à análise em múltiplas resoluções é a definição da linha de corte considerando atributos de textura.



Figura 1. Problema de mosaico de imagens: necessidade de aplicação de técnicas de *blending* na área de sobreposição (destacada pela elipse em vermelho).

Bagli e Fonseca (2005, 2006) combinam as técnicas de *blending* baseada na análise em múltiplas resoluções e de definição de linha corte, baseada no gradiente, para gerar mosaicos de imagens. Esta técnica de mosaico de imagens mostrou-se eficaz na geração de mosaicos de imagens ópticas. Entretanto, a mesma estratégia ainda não havia sido testada para a geração de mosaicos de imagens de radar.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade de mosaicos de imagens obtidas com o SAR SIPAM R-99. Duas técnicas foram testadas: a técnica de *blending* baseada na análise em múltiplas resoluções e definição de linha de corte (BMR) proposta por Blagi e Fonseca (2006), e a baseada na média ponderada (BMP), que é mais comumente utilizada (Hasegawa e Arruda, 2004). Esta avaliação foi realizada por meio da análise visual, e também por meio do índice de qualidade de imagem (*Image Quality Index-IQI*) proposto por Wang e Bovik (2002).

2. Mosaico por análise em múltiplas resoluções

A análise de dados de acordo com escalas variáveis no domínio do tempo e da frequência é a idéia básica da aplicação da teoria de *wavelets*. A Transformada *Wavelet* (TW) contínua de $f(t)$ é dada pela equação (Daubechies, 1992):

$$\psi(a,b) = \frac{1}{|a|} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi_{ab}(t) \cdot f^*(t) dt .$$

A função $\Psi(\mathbf{a},\mathbf{b})$, denominada “wavelet mãe”, e definida por:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{a} \psi_{ab} \left(\frac{t-b}{a} \right) .$$

Os parâmetros a e b estão relacionados, respectivamente, com as informações de escala (dilatação) e tempo (translação), e variam continuamente em \mathfrak{R} . A discretização dos parâmetros a e b origina a transformada *wavelet* discreta (TWD).

Devido à representação em múltiplas resoluções tempo-freqüência, a transformada *wavelet* estabeleceu-se como uma poderosa ferramenta para o processamento de imagens digitais. Sob o ponto de vista da teoria de processamento de imagens, as funções *wavelets* podem ser interpretadas como filtros passa-banda (Gonzales e Woods, 2002).

A decomposição de uma imagem em múltiplas resoluções por meio da transformada *wavelet* é realizada por um banco de filtros (Mallat, 1989): filtros passa-baixas e filtros passa-altas. O processo de decomposição de uma imagem é representado na **Figura 2**, onde \tilde{G} e \tilde{H} são os filtros passa-altas e passa-baixas, respectivamente. No processo de decomposição, a cada duas linhas ou colunas, somente uma linha/coluna é gerada pelos filtros de análise. Desta forma, em cada nível de resolução o tamanho da imagem é reduzido por 4.

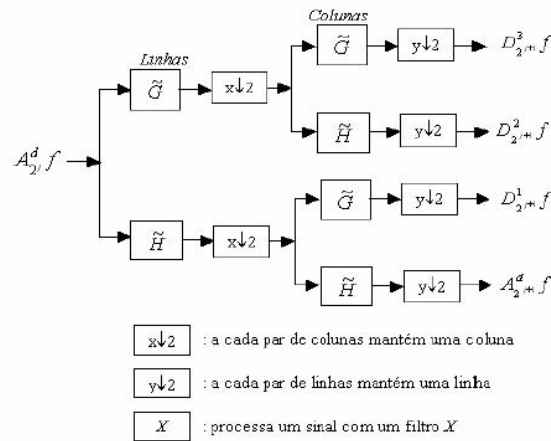


Figura 2. Decomposição de uma imagem em quatro sub-imagens (Fonte: Bagli e Fonseca, 2005).

A **Figura 2** representa a decomposição da imagem original $A_{2^j}^d f$ em quatro sub-imagens com resolução diferente. A imagem $A_{2^{j+1}}^d f$ corresponde às componentes de baixas frequências da imagem original, e as imagens $D_{2^{j+1}}^1 f$, $D_{2^{j+1}}^2 f$ e $D_{2^{j+1}}^3 f$ representam, respectivamente, as componentes de altas frequências ao longo das direções vertical (bordas horizontais), horizontal (bordas verticais) e diagonal (cantos) na resolução $2j$. As imagens $A_{2^{j+1}}^d f$, $D_{2^{j+1}}^1 f$, $D_{2^{j+1}}^2 f$ e $D_{2^{j+1}}^3 f$ são também chamadas, respectivamente, de bandas LL (*Low-Low*), LH (*Low-High*), HL (*High-Low*) e HH (*High-High*). A **Figura 3** mostra a disposição destas imagens na representação através da decomposição *wavelet* em duas dimensões e um exemplo de uma imagem decomposta.

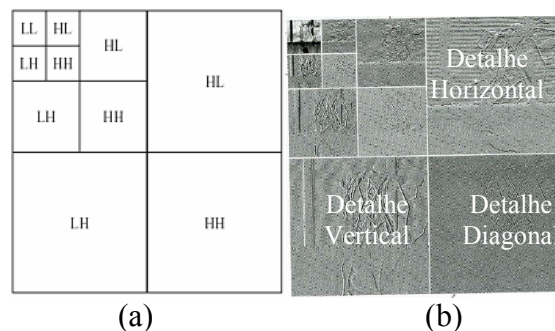


Figura 3. (a) Disposição das imagens (HH, HL, LH e LL) (Fonte: Bagli e Fonseca, 2005); (b) exemplo de decomposição de uma imagem em múltiplas resoluções (Gonzales e Woods, 2002).

Para recuperar a imagem original basta reverter o processo, ou seja, calcular a transformada *wavelet* inversa, que é implementada por um banco de filtros de síntese.

O mosaico de imagens por média ponderada pode ser otimizado usando a análise em múltiplas resoluções. Esta técnica consiste em uma interpolação, a partir da atribuição de pesos aos pixels da região de sobreposição e do cálculo da média ponderada. O critério para a ponderação é atribuir peso ao pixel, cujo valor é calculado conforme a distância euclidiana em relação à área de transição. O peso do pixel será maior quanto menor for a distância euclidiana em relação à linha de corte (Hasegawa e Arruda et al., 2004).

Portanto, a interpolação dos pixels da área de transição é realizada em diferentes resoluções, o que pode melhorar o tratamento de feições de dimensão diferentes. Este método ainda pode ser associado a técnicas de geração de linhas de cortes, que leva em conta as regiões de altas frequências, onde a linha de corte é menos perceptível pelo sistema visual humano. Esta técnica considera os atributos de textura e minimiza o erro de estimação da linha de corte (Kwatra, 2003). O método de mosaico proposto por Bagli e Fonseca (2006) é resumido pelo fluxograma da **Figura 4**.

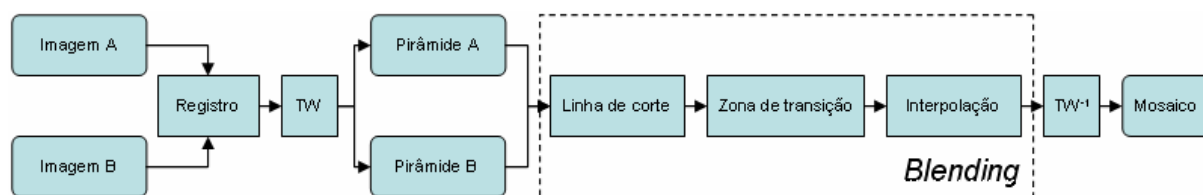


Figura 4. Esquema representativo de geração de mosaico com uso de *blending* baseado na análise em múltiplas resoluções (modificado de Bagli e Fonseca, 2005).

O método é aplicado nas seguintes etapas: registro das duas imagens a serem mosaicadas, cálculo da TW das imagens (duas pirâmides), processo de *blending* na área de sobreposição no domínio da TW, cálculo da TW inversa para retornar ao domínio do espaço.

3. Material e métodos

Neste trabalho foram utilizadas duas imagens da região de Tapajós, no Estado do Pará, obtidas pelo SAR SIPAM R-99 (**Figuras 5a e 5b**). Este é um sistema aerotransportado polarimétrico, que opera nas bandas L e X e executou o imageamento com ângulos de incidência entre 52° e 71°. As imagens em amplitude, utilizadas neste trabalho, foram obtidas em banda L, com polarização HH. Antes da geração dos mosaicos, as imagens foram convertidas para *ground range* e registradas.

Foram gerados seis mosaicos: mosaico sem *blending* (SB) e sem equalização (E) da média e variância das imagens (SB_SE); mosaico com *blending* por média ponderada (BMP) sem equalização (BMP_SE); mosaico com *blending* por média ponderada com equalização (BM_E); mosaico sem *blending* e com linha de corte (LC), definida pela função de erro mínimo, e sem equalização (SB_LC_SE); mosaico com *blending* por análise em múltiplas resoluções (BMR) sem equalização (BMR_SE); e mosaico com *blending* por análise em múltiplas resoluções com equalização (BMR_E). Os mosaicos gerados com *blending* por análise em múltiplas resoluções foram obtidos pelo algoritmo desenvolvido por Bagli e Fonseca (2006), descrito na secção 2. Este método foi implementado na TerraLib (Câmara et al., 2000) e está sendo integrado em um módulo de registro e mosaico de imagens.

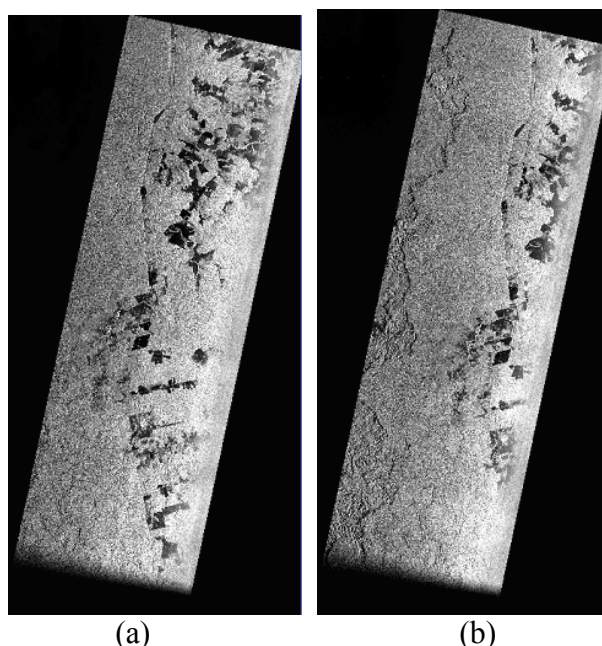


Figura 5. (a) e (b) Imagens SAR SIPAM R-99 originais e registradas.

A avaliação dos mosaicos foi realizada por meio da análise visual, e também pelo *Índice de Qualidade de Imagem* (IQI), definido como (Wang e Bovik, 2002):

$$IQI = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2\bar{x}\bar{y}}{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2},$$

onde x e y são as imagens de referência e de teste (mosaico). A primeira componente representa o coeficiente de correlação entre x e y (varia de -1 a 1). A segunda componente mede a variação de brilho entre x e y (varia entre 0 e 1). A terceira componente mede o quão similar é o contraste entre as imagens (varia de 0 a 1) e seu maior valor é obtido quando a variância de x é igual à variância de y . Os valores de *IQI* variam de -1 a 1. Quando as imagens de referência e de teste são iguais ($x = y$) o valor máximo (1) é alcançado.

Como o objetivo é avaliar a qualidade do mosaico na área de transição por onde passa a linha de corte, uma área teste nesta região foi selecionada (**Figura 6b**). Esta mesma área foi selecionada em uma das imagens SAR originais, e tomada como imagem de referência. A imagem de referência deve ser comparada com a área teste do mosaico (**Figura 6a**) por meio do IQI. Devido às diferenças radiométricas e o ruído speckle presente nas imagens de radar, o valor de IQI final foi normalizado pelo valor do IQI calculado em uma pequena área comum entre as duas imagens dentro da área de transição. Este procedimento foi realizado para cada um dos mosaicos obtidos e os valores de IQI normalizados são apresentados na **Tabela 1**.

4. Resultados obtidos

Os mosaicos gerados e os valores de IQI para os seis experimentos são apresentados na **Figura 7** e **Tabela 1**, respectivamente. O experimento sem *blending* e sem equalização (mosaico SB_SE) obteve o pior resultado. Neste caso, a linha de corte reta é facilmente percebida, e as diferenças de contraste e brilho na zona de transição entre as imagens prejudicam a qualidade visual do mosaico (**Figura 7a**). O seu valor de IQI é o menor (**Tabela 1**).

Nos casos de mosaicos com *blending* (BMP_SE, BMP_E, BMR_SE), uma melhora na qualidade visual e também nos valores dos índices IQI é observada. Nos mosaicos gerados com a técnica de *blending* por média ponderada, a linha de corte é praticamente

imperceptível. Entretanto, a interpolação causa um efeito de borramento na área de sobreposição entre as imagens prejudicando a discriminação dos alvos (**Figuras 7b e 7c**).

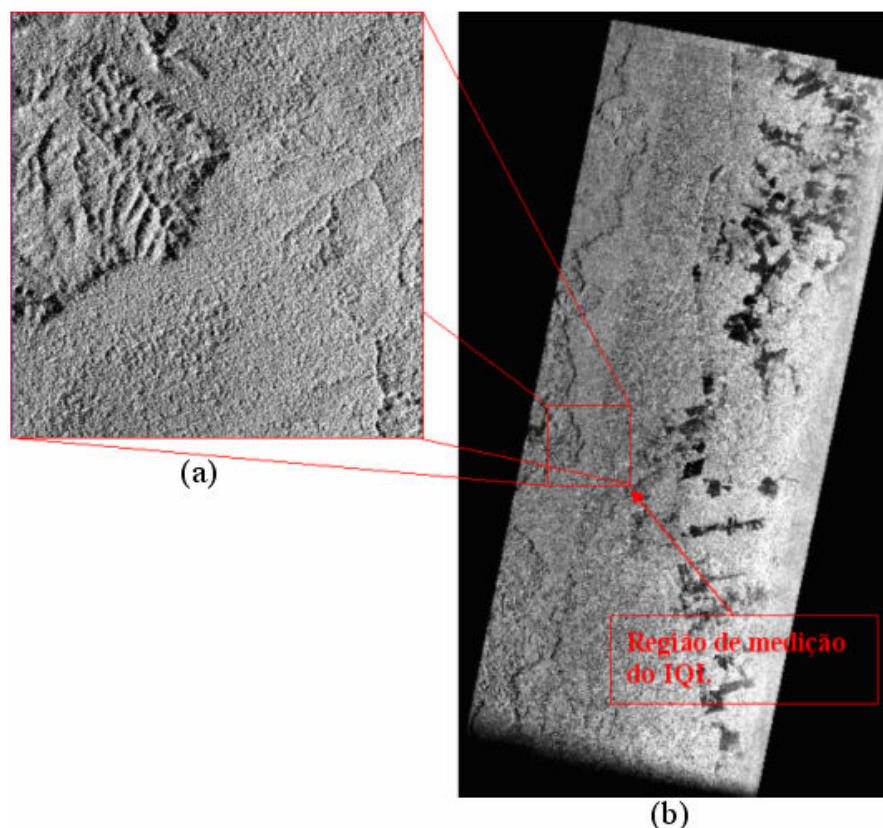


Figura 6. (a) Imagem de referência (obtida da imagem original). (b) Mosaico com região de medição do IQI em destaque (SB_SE).

Os melhores resultados foram obtidos pelos mosaicos gerados com uso de *blending* por meio da análise em múltiplas resoluções. Neste caso, tanto a análise visual dos mosaicos, quanto os valores do índice IQI foram coerentes na indicação de melhoria de qualidade do mosaico causada pelo uso da técnica de *blending* em múltiplas resoluções.

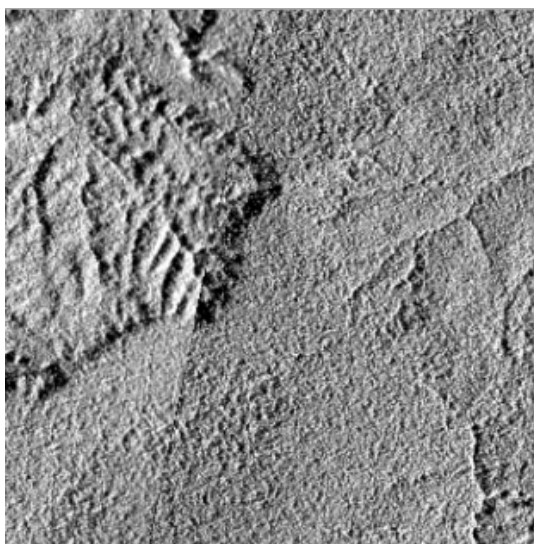
É importante, também, destacar a importância da técnica de definição da linha de corte. O mosaico gerado somente com o uso da linha de corte, ainda sem a análise em múltiplas resoluções (SB_LC_SE), já apresenta uma melhora na qualidade visual em relação ao mosaico gerado com *blending* por média ponderada (BMP_SE). Isto se deve a definição da linha de corte em regiões de altas frequências, o que a torna menos perceptível na região de transição. Finalmente, podemos observar pelos valores de IQI na **Tabela 1**, que à medida que a técnica de mosaico torna-se mais elaborada (análise em MR, definição de LC e equalização), a qualidade do mosaico melhora.

Tabela 1. Valores de IQI referentes a cada mosaico.

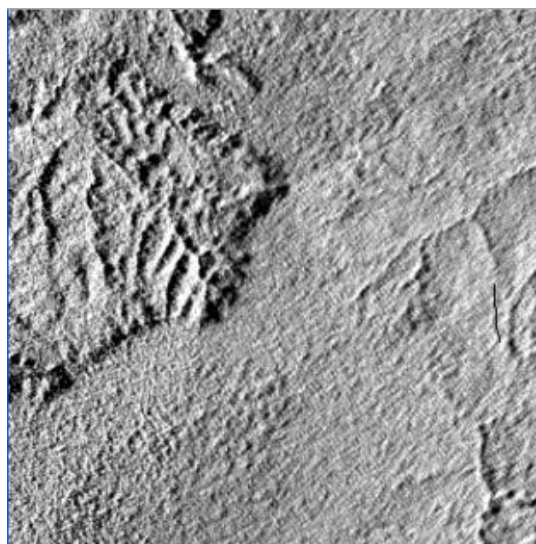
Mosaico	Tipo de Blending	$IQI_{\text{normalizado}}$
a. (SB_SE)	Sem <i>blending</i> e sem equalização	0,28287
b. (BMP_SE)	Média ponderada sem equalização	0,62319
c. (BMP_E)	Média ponderada com equalização	0,62788
d. (SB_LC_SE)	Linha de Corte sem equalização	0,69541
e. (BMR_SE)	Multi-resolução sem equalização	0,71095
f. (BMR_E)	Multi-resolução com equalização	0,75336

5. Considerações Finais

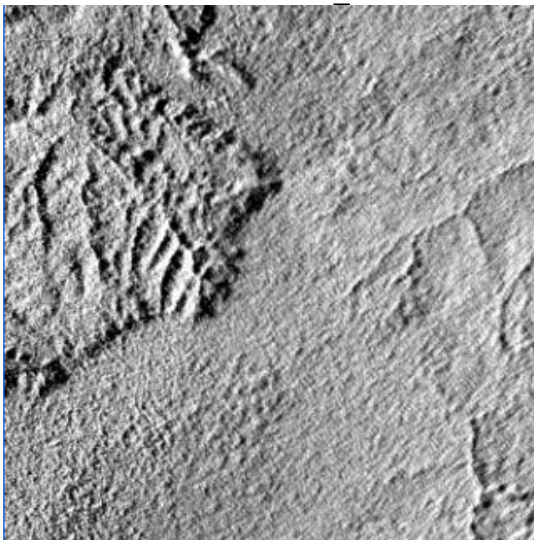
Este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade de mosaicos de imagens gerados por meio de técnicas de *blending* por média ponderada e por análise em múltiplas resoluções e definição de linha de corte. A avaliação dos mosaicos foi realizada de forma visual e por meio de um índice de qualidade de imagem (IQI). Os resultados obtidos mostraram um ganho de qualidade visual significativo entre os mosaicos sem *blending* e com *blending*. A comparação entre os mosaicos com uso de *blending* por média ponderada e com uso de *blending* por análise em múltiplas resoluções mostra o melhor desempenho da segunda técnica, apesar das diferenças não serem muito grandes. A análise dos índices IQI confirma a análise visual. Os mosaicos com uso de *blending* por análise em múltiplas resoluções, que apresentaram melhor qualidade visual, obtiveram os maiores valores do índice. Além disso, o aumento gradual do valor do IQI demonstrou que este índice foi capaz de captar até mesmo pequenas variações entre os mosaicos, o que possibilitou a análise da qualidade relativa entre os resultados dos experimentos.



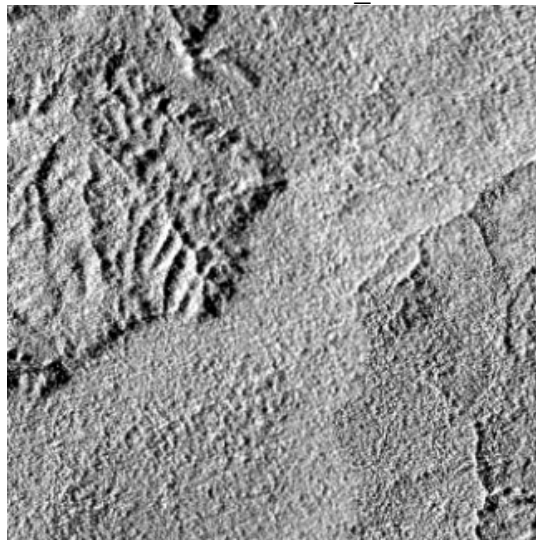
a. Mosaico SB_SE.



b. Mosaico BMP_SE.



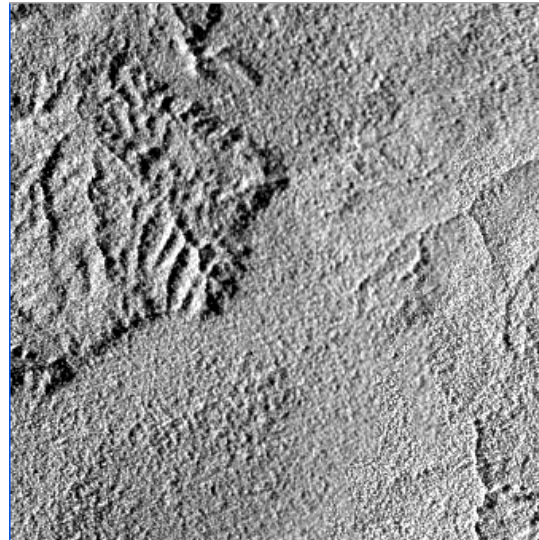
c. Mosaico BMP_E.



d. Mosaico SB_LC_SE.



e. Mosaico BMR_SE .



f. Mosaico BMR_E

Figura 7. Mosaicos obtidos: (a) mosaico sem *blending* e sem equalização (SB_SE); (b) mosaico com *blending* por média ponderada e sem equalização (BMP_SE); (c) mosaico com *blending* por média ponderada e com equalização (BMP_E); (d) mosaico com definição de linha de corte e sem equalização (SB_LC); (e) mosaico com *blending* por análise em múltiplas resoluções e sem equalização (BMR_SE); (f) mosaico com *blending* por análise em múltiplas resoluções e com equalização (BMR_E).

6. Referências Bibliográficas

- Bagli, V. V.; Fonseca, L. M. G. Aplicação de *blending* em múltiplas resoluções para mosaico de imagens de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens , 18, 2005, Natal. **Anais...** Natal –RN: SIGGRAPI, 2005.
- Bagli, V.V.; Fonseca, L.M.G., Seamless mosaicking via multiresolution analysis and cut line definition. In: International Conference on Signal and Image Processing, 8, 2006, Hawaii. **Anais...** Hawaii, USA: IASTED, 2006.
- Câmara, G.; Cartaxo, R. C. M. S.; Pedrosa, B. M.; Vinhas, L.; Monteiro, A. M. V.; Paiva, J. A.; Carvalho, M. T.; Gatass, M. TerraLib: Technology in support of GIS innovation. In: Simpósio Brasileiro de Geoinformática (GeoInfo), 2, 2000, São Paulo. **Anais...** São José dos Campos, SP: INPE, 2000.
- Daubechis, I. Ten lectures on wavelets. In: Regional Conference in Applied Mathematics, 1992, Philadelphia. **Anais...** Philadelphia, PA, 1992.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., **Digital Image Processing**. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- Hasegawa, J. K.; Arruda, E. R. J. Mosaico de imagens digitais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 10, n. 1, jan-jun, 2004.
- Kwatra, V.; Schodl, A.; Essa, I.; Turk, G.; Bobick, A. Graphcut textures: image and video synthesis using graph cuts. In: International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 30, 2003, San Diego. **Anais...** San Diego, California: SIGGRAPH, 2003.
- Mallat, S. G., A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 11, p. 674-693, jul. 1989.
- Su, M. S.; Hwang, W. L.; Cheng, K. Y., Analysis on multiresolution mosaic images. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 13, n. 7, jul. 2004.
- Wang, Z.; Bovik, A. C. A universal image quality index. **IEEE Signal Processing Letters**, vol. 9, no. 3, pp. 81-84, March, 2002.
- Wolf, P. R. **Elements of Photogrammetry**. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1983.