

## Uniformização radiométrica de imagens multitemporais para composição de mosaicos

Marcos Antonio Timbó Elmiro<sup>1</sup>  
Evandro Luís Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG/IGC  
Av. Antonio Carlos, 6627 – Belo Horizonte - MG, Brasil  
mtimbo@ufmg.br  
bioecologia@yahoo.com.br

**Abstract.** Remote sensing images are available in individual scenes that have limited spatial extent. Projects that cover large geographical areas require several individual scenes that need to be joined by means of mosaics. These images that come from neighboring orbits generally have an overlapping zone. The problem is that the junction between two adjacent images in mosaics is generally apparent and so causes interpretation errors and presents non esthetical effects. There are many approaches in literature for solving this problem, but several of those presents some drawbacks in terms of providing an adequate junction. So this paper presents a simple method for equalizing the radiometry of adjacent images in mosaic composition. The method firstly adjusts the gray levels of adjacent images based in statistics of the images overlapping area. In a second step, the method creates an irregular junction line for merging the images based in the minimal local radiometric difference. Finally, the algorithm creates a smoothing effect for merging the images in the vicinity of junction area. The results of tests using LANDSAT images of adjacent orbits, acquired in different times, showed mosaics of very good quality, without the presence of visible joints and with very well balanced radiometry. The resulting mosaics using this approach can be applied in activities requiring extended landscape overviews, as in the case of mapping and cartography applications.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, mosaics, sensoriamento remoto, processamento de imagens, mosaicos.

### 1. Introdução

As imagens de Sensoriamento Remoto, seja por questões práticas ou por limitações operacionais, são disponibilizadas em cenas com extensão geográfica de tamanho limitado. Assim, nos projetos de grandes coberturas geográficas é necessário juntar várias dessas cenas por meio de mosaicos para produzir uma cena única cobrindo a área de interesse. As imagens individuais de um mesmo sensor resultantes de órbitas adjacentes sempre possuem algum espaço de superposição. O problema é que na montagem de mosaicos digitais, a partir de duas ou mais imagens multitemporais com alguma área de superposição entre elas, decorrente de órbitas vizinhas ou de faixas de voo adjacentes, a junção entre as imagens vizinhas fica geralmente aparente, produzindo linhas ou bordas. Geralmente, estas bordas artificiais são mais visíveis que a informação verdadeira contida na imagem, e podem interferir na interpretação, prejudicar processamentos posteriores, além de causarem um efeito estético indesejável. As bordas são resultantes, principalmente, das mudanças ocorridas entre as épocas de aquisição das imagens. Neste intervalo de tempo, as condições atmosféricas podem ter variado, a umidade do solo pode estar diferente, mudanças sazonais podem ter ocorrido na vegetação, problemas de calibração do sensor podem ter acontecido, dentre outras causas possíveis. Todos estes fatores contribuem para que a junção entre as imagens individuais fique aparente. Vários métodos para solução dessa questão foram identificados na literatura, porém muitos deles sempre deixam pequenos resquícios indesejáveis na zona de junção das imagens (Milgran, 1977; Hood et al., 1989; Miler, 1989; Clark, 1990 ).

Assim, o presente trabalho tem objetivo de propor uma metodologia para uniformização da radiometria de imagens multitemporais para montagem de mosaicos digitais dessas imagens provenientes de órbitas vizinhas, de forma a resolver eficientemente os problemas do aparecimento de feições lineares artificiais na junção das cenas dentro da área de

superposição. O algoritmo do método proposto foi implementado em linguagem procedural e testado em uma área de estudo para demonstrar sua efetividade na formação do mosaico.

## 2. Metodologia

A metodologia para geração de mosaicos digitais perfeitamente montados, com uniformização da radiometria, sem quaisquer junções aparentes das cenas individuais produzidas por um mesmo sensor em diferentes épocas ou por diferentes sensores em qualquer situação requer os quatro estágios fundamentais a seguir.

1) O primeiro passo requer o perfeito registro das imagens, utilizando processos de registro já consolidados na literatura (Jensen, 2009; Mather, 2003; Richards e Jia, 2006) e implementados em diversos softwares disponíveis no mercado. Esta etapa já bem explorada na literatura foi realizada em programas externos com RMSE da ordem de um terço do pixel.

2) No segundo passo, é necessário o ajuste da tonalidade de cinza de uma imagem em relação à outra, de forma que a média dos níveis de cinza nas regiões de superposição seja o mais semelhante possível. Isto pode ser conseguido através de técnicas de ajuste de histograma também bem explorados na literatura da área (Lillesand e Kiefer; 1999; Mather, 2003). Após este passo as bordas tornam-se significativamente menos visíveis, apesar de ainda serem aparentes e necessitarem de tratamentos complementares abordados nos passos a seguir.

3) No terceiro passo, é criada uma linha irregular para junção das imagens. Um ponto de junção é escolhido para cada linha no local mais adequado. A informação de cada linha no mosaico final à esquerda do ponto de junção será atribuída do segmento de linha da imagem esquerda, e a imagem direita fornecerá a informação para o restante da linha do mosaico (Timbó Elmiro, 1994). O ponto de junção será escolhido onde o somatório das diferenças de níveis de cinza sobre uma região de  $w$  pontos for mínimo, isto é, onde o valor da função  $Df_{(n)}$ , definida na Equação 1, é mínimo:

$$Df_{(n)} = \sum_{i=-(w/2)+1}^{i=w/2} |E_{(n+i)} - D_{(n+i)}| \quad (1)$$

onde,  $E_{(n)}$  ( $n=1,2,\dots,K$ ) são os valores dos pixels da linha considerada da imagem esquerda na região de superposição;  $D_{(n)}$  ( $n=1,2,\dots,K$ ) são os valores dos pixels da linha considerada da imagem direita na região de superposição;  $n$  é um índice que indica a posição do pixel pesquisado;  $K$  é a largura da região de pesquisa que terá que ser menor do que a região de superposição; e  $w$  é uma máscara que percorre toda a extensão  $K$ , correspondente à largura da região para cálculo do somatório das diferenças ( $Df_{(n)}$ ), que deve ser menor ou igual a  $K$ . No intuito de evitar o surgimento de bordas horizontais, um ótimo refinamento para este passo consiste em restringir o intervalo de escolha do ponto de junção de uma dada linha, dependendo da magnitude do  $Df_{(n)}$  mínimo da linha anterior. Se o ponto de junção anterior teve um  $Df_{(n)}$  mínimo elevado, é conveniente escolher o ponto de junção atual próximo do anterior. Se o  $Df_{(n)}$  mínimo foi pequeno, a posição do ponto de junção não será tão crítica. Este refinamento incorpora a grande vantagem de contornar nuvens e outras feições presentes numa imagem e ausentes na outra.

4) Finalmente, o quarto passo consistirá na suavização de eventuais abruptas diferenças de níveis de cinza na vizinhança do ponto de junção que por qualquer motivo tenham permanecido. Isso pode ser obtido através de uma transição gradual ou efeito de rampa.

Sem uso dessa metodologia proposta resulta um mosaico com a forma mostrada esquematicamente na Figura 1a, que apresenta o inconveniente das bordas na forma de junção

reta e diferenças significativas de tonalidades entre as imagens do mosaico (Timbó Elmiro, 1994). A metodologia proposta cria um algoritmo que identifica a área de superposição, calcula a média de ambas as imagens na área de superposição e ajusta a tonalidade da imagem da direita para a média da imagem da esquerda. Após o ajuste das médias, o algoritmo cria uma linha irregular para junção das imagens, baseado na menor diferença radiométrica local. O algoritmo acrescenta também um efeito de rampa (degradê) para transição das imagens nas proximidades do ponto de junção com o objetivo de eliminar eventuais diferenças bruscas de tonalidade que não tenham sido corrigidas pelo ajuste de médias. Na equação 1, referente ao procedimento, cada ponto  $P_i$  de uma da vizinhança de  $v$  pixels (sendo  $(v-1)/2$  pixels de cada lado do ponto de junção) será calculado de acordo com a Equação 2

$$P_i = \frac{(v-i) \times E_i + i \times D_i}{v} \quad (2)$$

onde,

$i$  é um índice relativo que varia de 1 a  $v$ , sendo o ponto de junção, o ponto central

$P_i$  é o nível de cinza calculado para o pixel de índice  $i$  da vizinhança.

$E_i$  é o nível de cinza do pixel da imagem esquerda de índice  $i$  da vizinhança

$D_i$  é o nível de cinza do pixel da imagem direita de índice  $i$  da vizinhança

Assim, obtém-se uma média onde os pesos são ponderados, conforme o lado e a distância do ponto de junção. A Figura 1 b, mostra de forma esquemática a aparência do mosaico final com aplicação da correção proposta para uniformização da radiometria e fusão das bordas de junção. O mosaico resultante deve apresentar uma tonalidade uniforme, como se fosse uma cena única. Em pseudo linguagem, o algoritmo obedece à seguinte lógica.

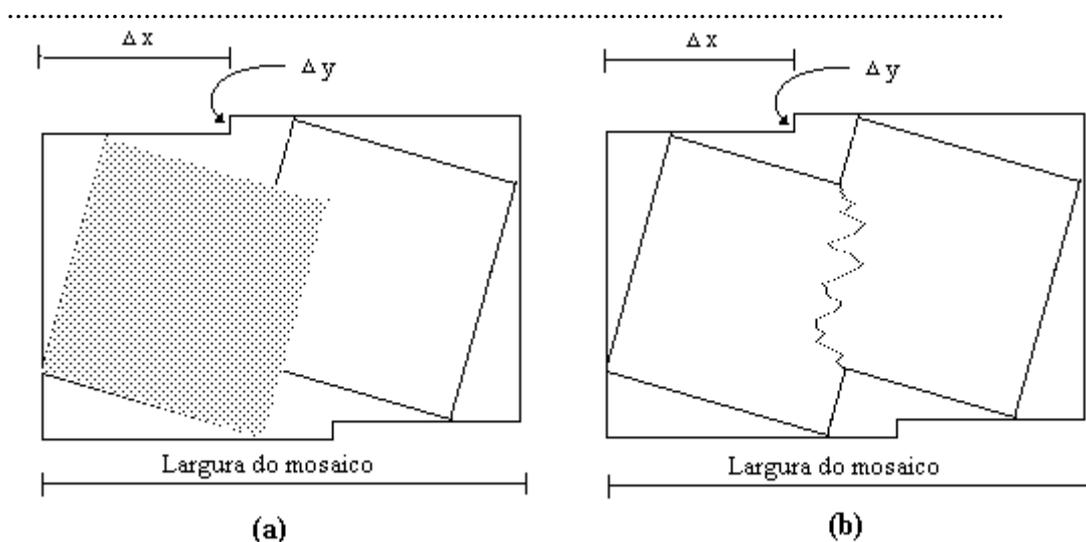


Fig. 1 – Ilustração esquemática do mosaico. Porção esquerda (a): mosaico sem correção, porção direita (b): mosaico com correção

### 3. Resultados e Discussões

O algoritmo que sintetiza a metodologia proposta foi implementado em linguagem procedural (C++) e testado de várias formas, com imagens de diferentes sensores e com imagens dos mesmos sensores obtidas em diferentes datas. Para ilustrar as etapas de testes e análises de resultados foram usadas imagens do Sensor TM-Landsat-5 obtidas em diferentes datas. A Figura 2 mostra recortes de imagens individuais TM-Landsat-5 de órbitas vizinhas obtidas em épocas diferentes. Na Figura 2(a) tem-se uma imagem da banda 3, Órbita ponto 218-74 e na Figura 2(b) uma imagem da banda 3, Órbita ponto 217-74.

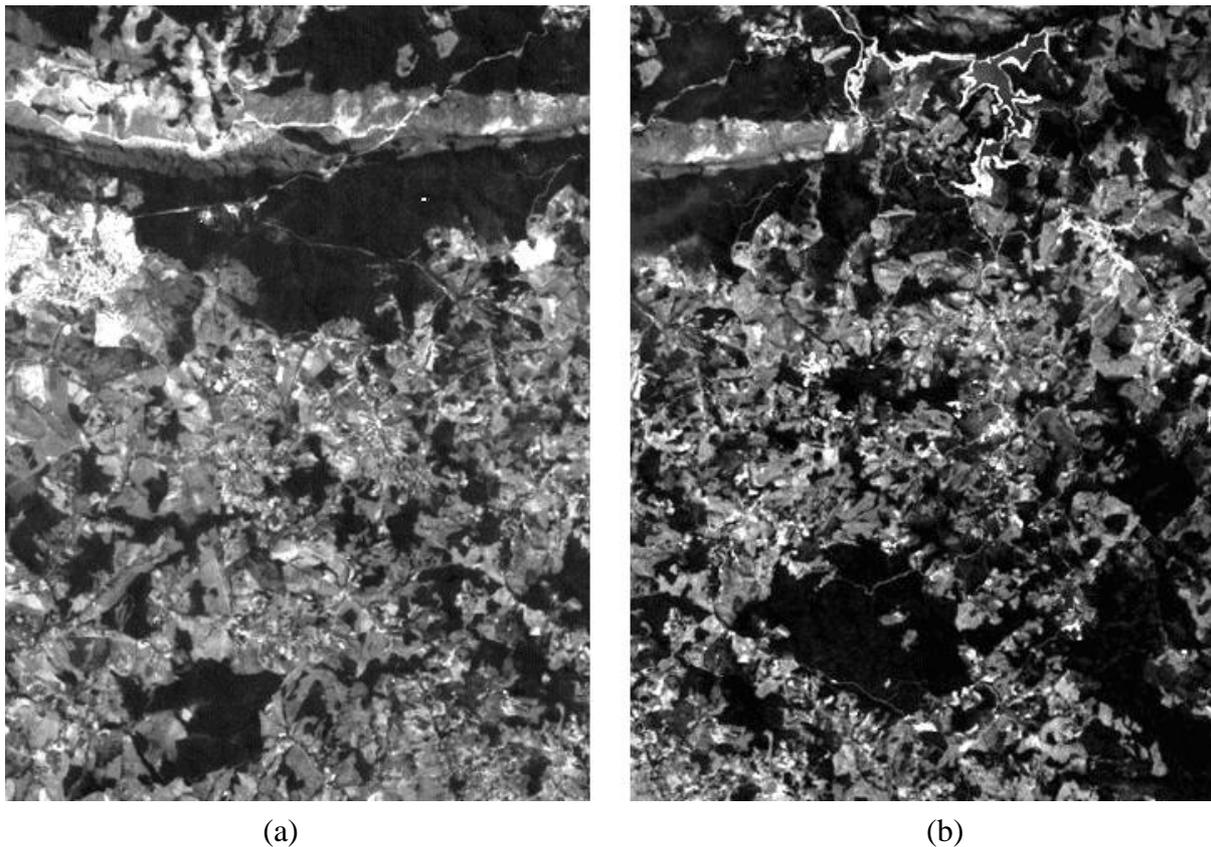


Fig. 2 – Imagem esquerda (a) e direita (b), banda 3 Landsat-TM5, orbitas vizinhas.

A Figura 3 apresenta um mosaico, obtido a partir das duas imagens apresentadas na Figura 2, utilizando o algoritmo implementado para o método proposto. Neste caso a média radiométrica da imagem direita foi ajustada para a média radiométrica da imagem esquerda, utilizando como base a região de superposição entre as duas imagens. Foi aplicada uma linha de junção irregular para as duas imagens com base na menor diferença radiométrica local. Neste caso a região de pesquisa definida por  $K$  foi fixada em 70 pixels e a máscara de integração  $w$  que percorre a extensão  $K$  teve sua largura fixada em 20 pixels. Uma observação mais cuidadosa da Figura 3 mostra que em face da ampla largura de  $K$ , em busca da posição  $n$  de menor diferença radiométrica para cada linha, surgiram algumas bordas horizontais significativamente visíveis, mostrando que os valores fixados para os parâmetros  $K$  e  $w$  não produziram um resultado adequado para aplicações práticas.

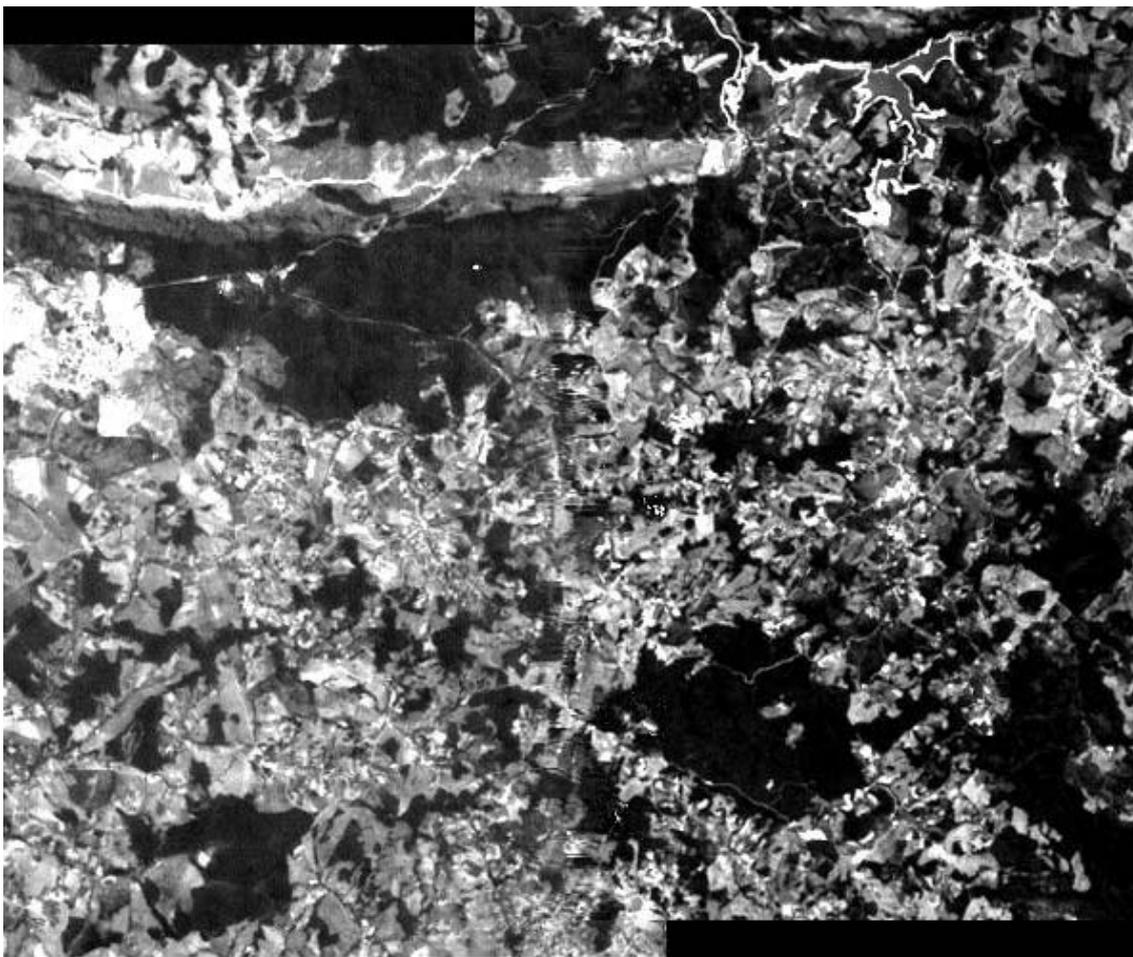


Fig. 3 – Mosaico da banda TM3, com correção, mas com bordas horizontais na junção.

A Figura 4 é uma ampliação por interpolação bilinear de um trecho do mosaico (Figura 3) na região de junção, onde se observam com mais clareza bordas horizontais que prejudicam a qualidade do mosaico para as possíveis interpretações ou processamentos posteriores.

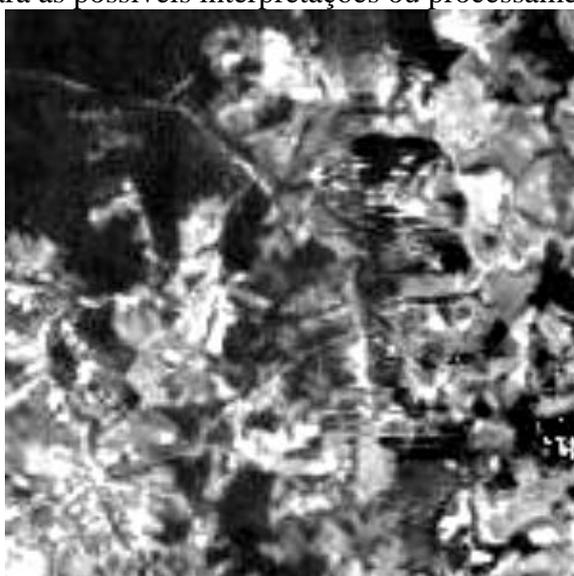


Fig. 4 - Detalhe ampliado do mosaico mostrado na Figura 3 enfocando a área de junção das imagens e mostrando a presença de feições lineares em zig zag.

Um resultado muito bom apresentado na Figura 5, foi obtido utilizando passos similares aos do parágrafo anterior, porém reduzindo a largura da região de pesquisa ( $K = 20$  pixels) e o tamanho da máscara de integração ( $w = 8$  pixels). A melhor forma de se chegar aos resultados satisfatórios é fazer testes interativos variando estes dois parâmetros. Considerando que o ajuste radiométrico é feito com base no total de pixels da região de superposição e pressupondo um bom registro entre as imagens, valores baixos para  $K$  e  $w$  produzem resultados satisfatórios. Vários testes realizados neste trabalho mostraram que valores para  $K$  entre 10 e 40 e  $w$  entre 5 e 20 produziram os melhores resultados.

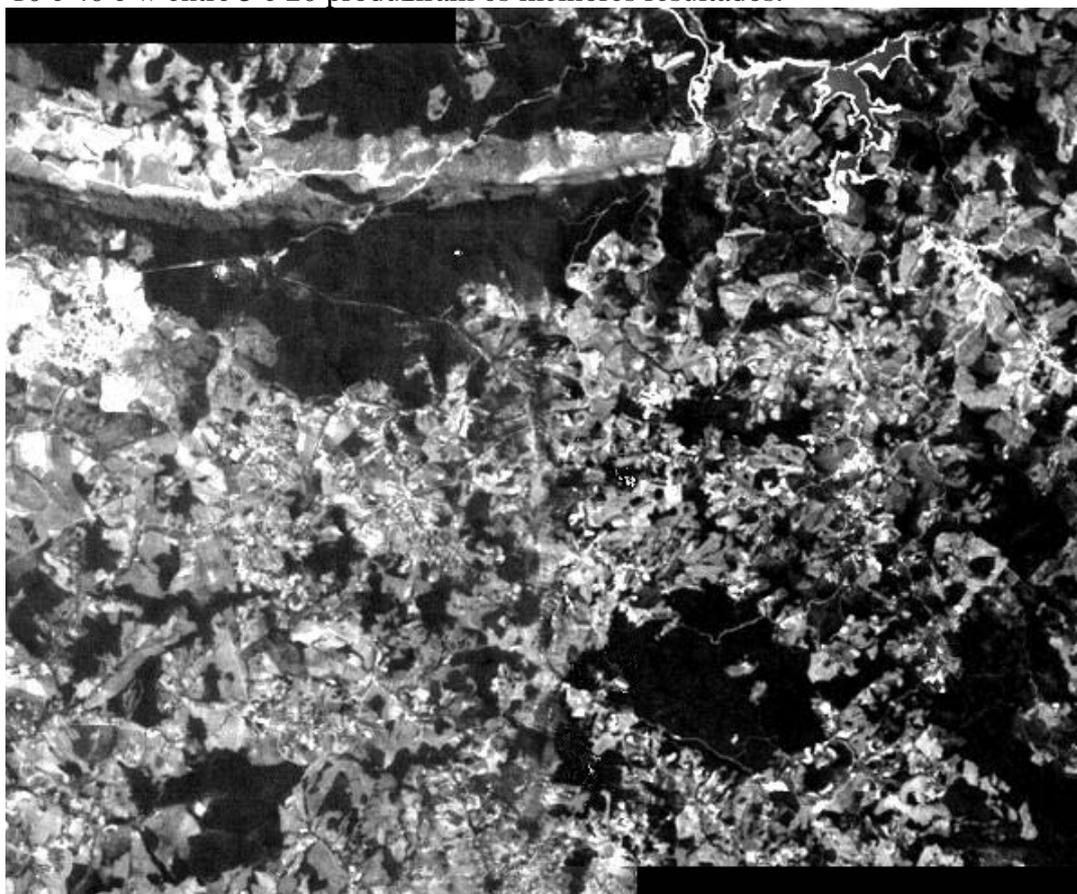


Fig. 5 - Mosaico da banda landsat-TM3, com correção apresentando bons resultados.

A Figura 6 apresenta o mosaico das mesmas imagens, porém feito a partir das bandas 4 do Landsat-TM5. É possível que para diferentes bandas da mesma cena parâmetros diferentes devam ser aplicados para dar melhor qualidade ao mosaico. Pode-se observar que não é perceptível a junção das imagens, mesmo com ampliações locais.

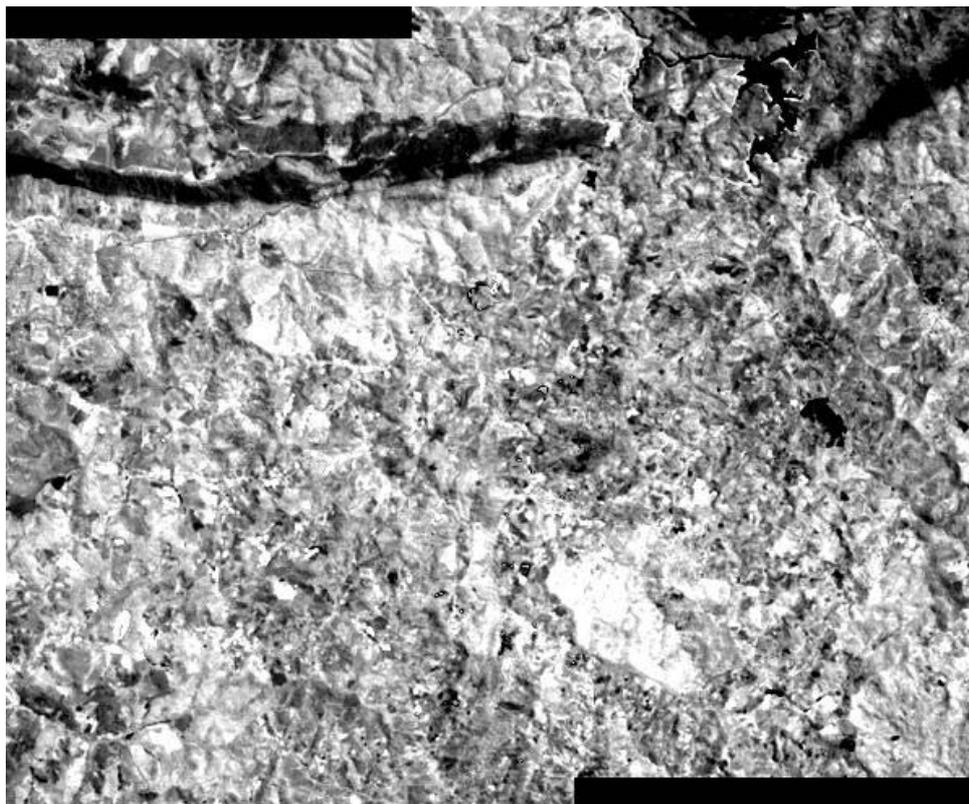


Fig. 6 - Mosaico da banda TM4, com correção apresentando bons resultados.

A Figura 7 mostra uma composição colorida de três bandas usando os mosaicos das bandas 3, 4 e 5 (RGB 543) das mesmas cenas produzidos pelo algoritmo implementado. Observa-se também na composição RGB que não é perceptível a junção das imagens na composição RGB, mesmo analisando ampliações locais.



Fig. 7 - Mosaico da composição RGB TM543, corrigido e apresentando bons resultados.

#### 4. Conclusões

O enfoque do trabalho para a uniformização da radiometria de imagens na montagem de mosaicos privilegiou a utilização de duas imagens de órbitas vizinhas. Para três ou mais imagens vizinhas é suficiente que se façam pequenas adaptações na implementação do algoritmo. No caso do ajuste de tonalidade, todas as imagens poderão ter suas médias inicialmente ajustadas a uma das imagens que servirá de referência. Outra solução alternativa é fazer o mosaico das imagens duas a duas de modo que o mosaico resultante das duas primeiras seja uma imagem de entrada para um mosaico com a terceira. Este resultado, por sua vez, será também uma imagem de entrada para um mosaico com a quarta imagem e assim sucessivamente.

Utilizando a abordagem proposta no trabalho resultaram mosaicos de imagens multitemporais sem a presença de quaisquer junções aparentes e com a uniformização da radiometria equilibrada, onde o algoritmo desenvolvido identificou a área de superposição, calculou a média de ambas as imagens na área de superposição e ajustou a tonalidade da imagem da direita para a média da imagem esquerda. Após o ajuste das médias, o algoritmo criou uma linha irregular para junção das imagens, baseado na menor diferença radiométrica local. Foi acrescentado um efeito de degradê para transição das imagens nas proximidades do ponto de junção de cada linha a fim de eliminar quaisquer eventuais diferenças de tonalidade que não puderam ser corrigidas pelo ajuste de médias. As imagens resultantes de mosaicos utilizando essa abordagem podem ser aplicadas em atividades que necessitem de imagens estendidas e visões panorâmicas, como é o caso de aplicações em mapeamento e cartografia.

#### Referências Bibliográficas

- Clark, B.P. Landsat Thematic Mapper data production: a history of bulk image processing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 56, n. 4, p. 447-451, 1990.
- Hood, J.; Ladner, L.; Champion, R. Image processing techniques for digital orthophotoquad production. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55 n. 9, p. 1323-1329, 1989.
- Jensen, J R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphânio et. al. São José dos Campos, SP. Parêntese, 2009, 598p
- Lillesand, T. M. Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, Fourth edition, New York, 1999.
- Mather, P. M. **Computer processing of remotely – sensed images: an introduction**. Chichester: John Wiley & Sons, 2003, 324 p
- Milgram, D.L. Adaptive techniques for photomosaicking. **IEEE Transactions on Computers**, v. 26, n. 11, p. 1175-1180, 1977.
- Miller, S.H. A digital mosaicking algorithm Allowing for an irregular join line. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, n. 1, p. 43-47, 1989.
- Richards, J. A., Jia, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, 439p
- Timbó Elmiro, M. A. **Técnicas de processamento digital de imagens para aplicações no mapeamento por carta-imagem**. 1994. 116 p. (INPE-5546-TDI/532). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos campos. 1994.