

Comparação de técnicas de eliminação do efeito *striping* para imagens CCD CBERS-2B

Lino Augusto Sander de Carvalho¹

Leila Maria Garcia Fonseca¹

Aylton Pagamisse²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{lino,leila}@dpi.inpe.br

² Universidade Estadual Paulista - UNESP/FCT
Caixa Postal - 19060-900 – Presidente Prudente - SP, Brasil
aylton@fct.unesp.br

Abstract. The striping effect is a common type of noise presented in some remote sensing systems. In most of times, it is caused by poor relative calibration between detectors. Striping not only affects the quality and image interpretation but also compromise image processing. Some proposals have sought to correct this kind of effect. Among them we can mention the digital filters based on statistical operations, and filters based on Fourier transform. This study compared four filters, been tree statistical and one based on Fourier transform, named: the median filter, the multilevel median filter, the moment matching filter, and the one based on Fourier transform. Each filter was applied to all CCD sensor spectral bands from CBERS-2B (China Brazil Earth Resource Satellite). A visual interpretation was made in order to compare the four filter tested. Results showed that each band had a specific filter that better corrects their striping effect. The main problem in this case of noise correction was finding the best compromise between noise elimination and spatial resolution degradation, which creates the blurring effect. Filters have also shown not to vary drastically image mean and standard deviation which leads to just a small changing on image histogram.

Palavras-chave: processamento de imagens,, *stripes*, filtragem, noise filtering.

1 Introdução

O ruído *striping* (listras) é um tipo de ruído muito comum em imagens adquiridas por satélites de sensoriamento remoto. Este problema, geralmente, ocorre devido à má calibração, falha de detectores e desgaste do detector devido ao tempo em órbita (Showengerdt, 2007; Gouvêa et al, 2007). Este tipo de ruído não só afeta a qualidade e o potencial de interpretação da imagem assim como compromete o processamento destas imagens.

Em sistemas de varredura mecânica, como os sensores da série Landsat, as listras aparecem na direção horizontal. Por outro lado, em sistemas de varredura eletrônica o ruído aparece na forma de listras verticais, na direção da trajetória do satélite. A câmera CCD do satélite CBERS 2B apresenta este tipo de ruído, variando sua intensidade e periodicidade de acordo com a banda analisada.

Existem diversas técnicas que visam eliminar o ruído de listras (*destriping*) (Showengerdt, 2007). O requisito básico destas técnicas é que estas eliminem o ruído sem introduzir novos artefatos na imagem. Outro requisito é que os pixels que não apresentem defeitos preservem os seus valores de níveis de cinza originais. Porém, dependendo da natureza do ruído, a tarefa de eliminar totalmente o seu efeito pode ser muito difícil e às vezes até impossível.

Neste trabalho foram comparados 4 técnicas de eliminação do ruído por listras para a correção do efeito *striping* para a câmera CCD do satélite CBERS 2B. Os filtros testados foram : O filtro da mediana simples, o filtro da mediana multinível, o filtro de casamento de momentos local e o filtro no domínio de Fourier. As próximas seções apresentam uma descrição resumida destes métodos :

Filtro da Mediana Simples

O filtro da mediana é um tipo de filtro estatístico, cuja resposta se baseia na ordenação dos pixels contidos na área da imagem coberta pelo filtro (Gonzalez; Woods, 2009). O valor do pixel central é substituído pelo valor da mediana dos valores de intensidade na vizinhança deste pixel. Estes filtros são bastante populares porque, para certos tipos de ruído, os resultados são bem melhores do que os obtidos pelos filtros lineares. A principal vantagem deste filtro é a sua capacidade de preservar bordas sem criar o efeito de blocos, quando comparado a outros filtros estatísticos como o filtro de média e de moda.

Filtro Da Mediana Multinível

O filtro da mediana multinível (Hu et al, 2009, Nieminem et al, 1987) é uma variação do filtro da mediana simples e pode ser descrito da seguinte forma. Seja $f(i,j)$ o valor do pixel na posição (i,j) da imagem e seja W a janela de filtragem de tamanho $(2N+1)(2N+1)$ centrada no pixel (i,j) , então pode-se definir quatro sub-janelas:

$$W_1(i,j) = \{f(i+m,j), -N \leq m \leq N\} \quad (1)$$

$$W_2(i,j) = \{f(i+m,j+m), -N \leq m \leq N\} \quad (2)$$

$$W_3(i,j) = \{f(i,j+m), -N \leq m \leq N\} \quad (3)$$

$$W_4(i,j) = \{f(i+m,j-m), -N \leq m \leq N\} \quad (4)$$

A mediana de cada uma das janelas é calculada por:

$$Z_k(i,j) = \text{med}[f(*,*) \in W_k(i,j)] \quad (5)$$

onde *med* representa a operação de mediana.

Posteriormente, o mínimo e o máximo das medianas das janelas são calculados:

$$T_1(i,j) = \min[Z_k(i,j), 1 \leq k \leq 4] \quad (6)$$

$$T_2(i,j) = \max[Z_k(i,j), 1 \leq k \leq 4] \quad (7)$$

Finalmente, a saída do filtro é dada pela mediana dos valores do pixel central e os valores T_1 e T_2 , calculados anteriormente:

$$Z_k(i,j) = \text{med}[T_1(i,j), T_2(i,j), f(i,j)] \quad (8)$$

Este filtro atua de forma semelhante ao filtro da mediana simples, porém de forma direcional. Ele utiliza valores nas diagonais da janela quadrada que atuam como um ponderador. Não foram encontrados testes deste filtro para a correção de *stripes* em imagens de satélite na literatura.

Casamento de Momentos

A técnica de casamento de momentos, proposto por Datt et al (2003), ajusta o valor de cada pixel na imagem segundo uma transformação linear, onde os parâmetros de *ganho* e *offset* são calculados a partir dos valores de média e desvio padrão. Este filtro foi utilizado para a correção de *stripes* em imagens “Hyperion” onde foram encontrados bons resultados.

Seja M_i e S_i a média e o desvio padrão da coluna i , respectivamente. Seja M_i' e S_i' os valores de média e desvio padrão do dado de referência, respectivamente. Então, cada pixel, em uma dada coluna da imagem i , é ajustado da seguinte forma:

$$ND'_i = a_i ND_i + b_i \quad (9)$$

onde ND é o valor de nível de cinza original e ND' é o valor de nível de cinza modificado. Os valores de a (*ganho*) e b (*offset*) são dados por:

$$a_i = \frac{S'_i}{S_i} \quad (10)$$

$$b_i = M'_i - a_i M_i \quad (11)$$

O filtro implementado, neste trabalho, testa inicialmente os detectores com valores discrepantes, chamados de *outliers* e os corrige a partir de um teste definido pela por :

$$test = \frac{|m_i - l_{med}(m_i)|}{l_{med}(S_i)} \quad (13)$$

onde $l_{med}(m_i)$ indica a mediana das médias, $l_{med}(S_i)$ é a mediana dos desvios padrões e m_i é a média da coluna. O *outliers* são aquelas colunas em que o valor *test* está acima de um limiar pré-definido. Após a identificação dos *outliers*, os valores dos pixels destas colunas são ajustados usando a Equação (9) tomando-se como média e desvio padrão de referência os valores da mediana das médias e a mediana dos desvios padrões, previamente calculados.

Uma vez feita esta primeira correção, o processo descrito pela Equação (9) é novamente aplicado na imagem inteira. Neste caso, toma-se como média e desvio padrão de referência a média e o desvio padrão de uma vizinhança:

$$\bar{M} = l_{media}(m_i) \quad (13)$$

$$\bar{S} = l_{media}(S_i)$$

onde l_{media} é a média local de uma certa vizinhança.

Filtro no domínio de Fourier

A filtragem no domínio da frequência consiste em modificar a transformada de Fourier de uma imagem e depois calcular a transformada inversa para obter o resultado processado. No caso da utilização da filtragem no domínio de Fourier para a filtragem de *stripes*, busca-se inicialmente identificar em quais frequências o ruído periódico está localizado, e a partir de operações pontuais, eliminarem estas frequências.

Em geral a filtragem de *stripes* no domínio de Fourier segue os seguintes passos: A imagem é transformada para o domínio de Fourier donde são então identificadas as frequências do ruído. Após a identificação, o sinal do ruído é diminuído pontualmente, através de operações aritméticas. Após a redução pontual do ruído, é feita a transformada inversa, trazendo a imagem para o domínio espacial. Este procedimento tem como característica principal a eliminação de ruídos periódicos visto que existem várias outras aplicação dos filtros no domínio de Fourier na literatura (Gonzalez; Woods, 2009).

2 Metodologia de testes.

Inicialmente foi escolhida uma imagem do sensor CCD CBERS – 2B da data de 22/08/2008. A área de estudo deste trabalho é uma área do Reservatório de Ibitinga, no Estado de São Paulo, situado no médio Tietê, representada na figura 1. O motivo da escolha desta área foi sua grande variabilidade de alvos além de ter uma grande porção de água, o que facilita a identificação dos *stripes*. Foi definido um recorte na região da represa para que os testes de cada um dos filtros pudesse ser realizado.

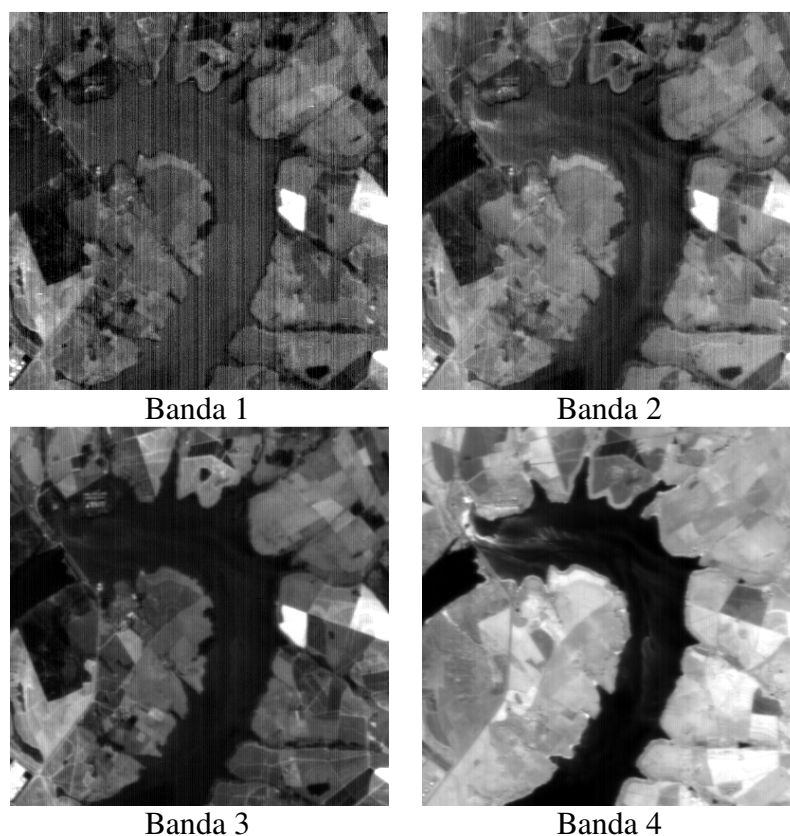


Figura 2. Bandas do sensor CCD/CBERS-2B originais.

Como pode se observar na figura (2) o ruído está orientado na direção de imageamento. A banda 1 apresenta o pior efeito de degradação seguido das bandas 2 e 3. A banda 4 apresenta apenas um leve efeito.

Cada um dos filtros testados obedeceu a uma metodologia específica. Uma vez que a orientação do ruído de listras é na direção vertical, a máscara do filtro da mediana teve como entrada pesos apenas na direção horizontal com o tamanho de janela 1x7 para as bandas 1, 2 e 3 e tamanho 1x3 para a banda 4. Já no caso do filtro de mediana multinível se necessita de uma janela quadrada. Janelas quadradas de tamanho 7x7, para as bandas 1, 2 e 3 e tamanho 3x3 para a banda 4 foram usadas.

O filtro de casamento de momentos foi aplicado levando-se em conta dois parâmetros. O parâmetro “test” escolhido foi o de 0,4. Este foi o mais adequado, baseado nos testes prévios realizados. Além disso, foi utilizada uma vizinhança de, 6 vizinhos para todas as bandas. Todos estes valores, previamente testados foram retirados de Carvalho, 2010.

O filtro de Fourier foi testado empiricamente. Inicialmente se identificou a posição dos picos na transformada de Fourier de cada uma das bandas. Uma vez identificado, foi feita uma média local o que suavizou estes valores. Após a suavização foi feita a transformada inversa gerando a imagem corrigida.

3 Resultados

Cada uma das bandas apresentou visualmente um resultado específico. A banda 1, apresentada na figura (3) teve como melhor resultado visual a mediana simples. Como pode ser observado tanto o método da mediana multinível como o método de casamento de momentos ainda deixaram resquícios de listras. O método de Fourier retirou satisfatoriamente o ruído, entretanto alterou a imagem como um todo, criando uma série de artefatos como sombras e alteração de contraste.

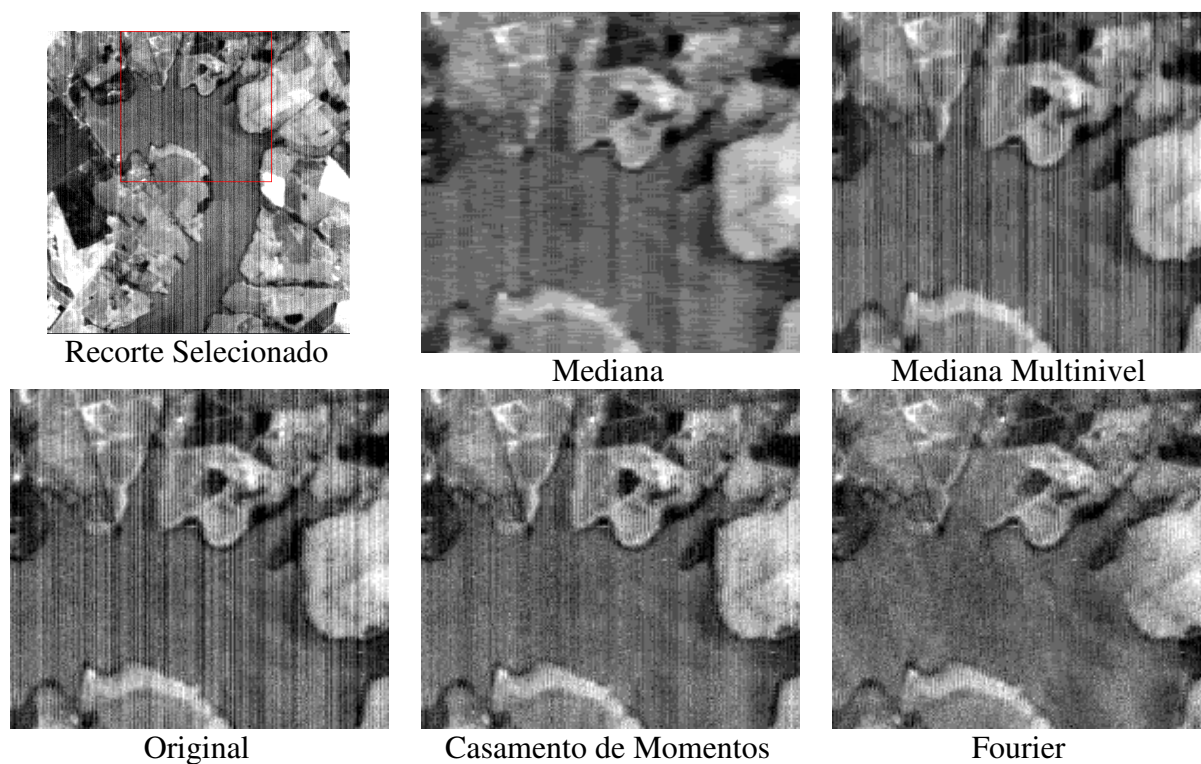


Figura 3-Banda 1 do sensor CCD/CBERS-2B filtrada.

No caso da banda 2 o melhor resultado foi alcançado pelo filtro da transformada de Fourier, como mostra a figura (4). O filtro da mediana foi bem sucedido na retirada dos *stripes*, entretanto teve um efeito de borramento muito alto.

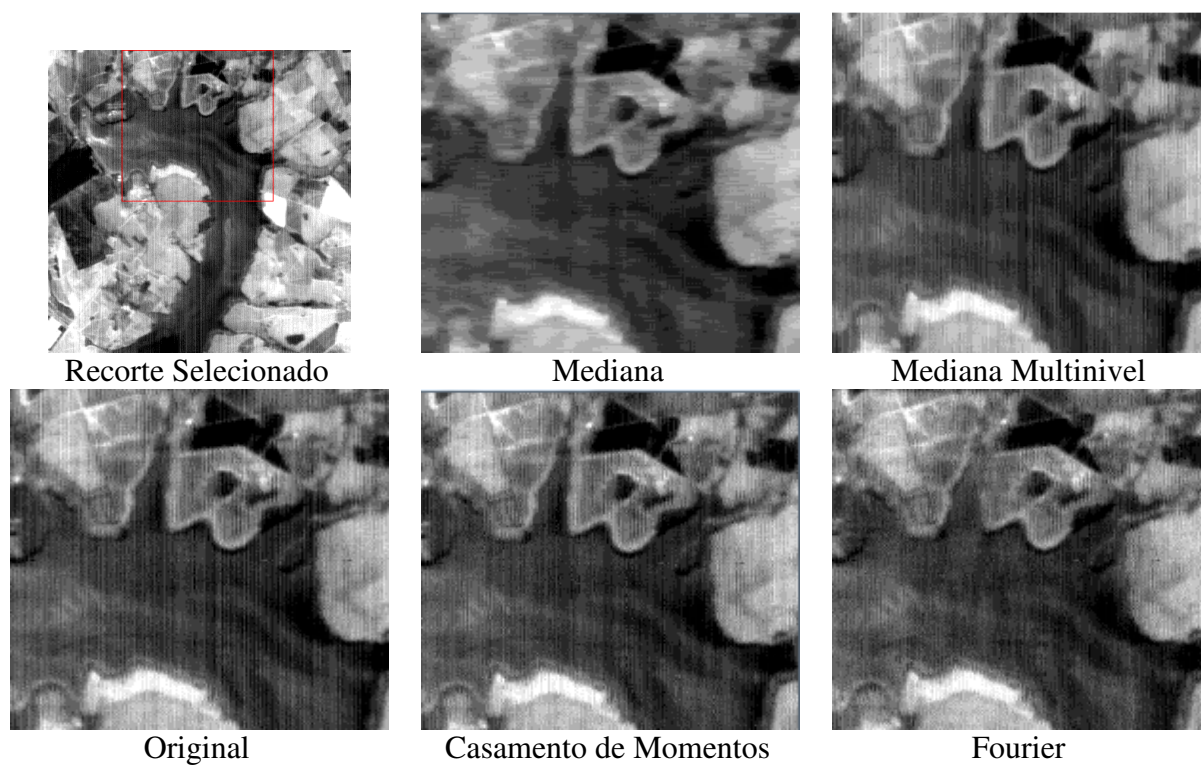


Figura 4.Banda 2 do sensor CCD/CBERS-2B filtrada.

Ainda para a banda 2, o filtro da mediana multinível também apresentou efeito semelhante ao da mediana comum, retirando qualidade espacial da imagem final. O método de casamento de momentos não “borrou” a imagem, porém sua capacidade de retirar o *stripes* foi pequena comparada com os outros métodos. Deve-se observar que o filtro da transformada de Fourier apresentou o melhor resultado, porém ele também apresentou efeito de borrimento, pois corta parte das altas frequências responsáveis pelos detalhes da imagem.

O filtro de casamento de momentos foi o que apresentou melhor resultado, quando se trata da banda 3. Embora este método tenha apresentado alguns resquícios de listras, ele foi o que menos introduziu o efeito de “borramento” na imagem. Tanto o filtro da mediana como o filtro da mediana multinível apresentam visivelmente um aumento no “borramento” da imagem. O filtro baseado em transformada de Fourier teve um bom resultado para a banda 3, entretanto a imagem filtrada apresenta um aspecto embaçado. Tanto o filtro da mediana como o filtro da mediana multinível apresentam visivelmente um aumento no “borramento” da imagem. O filtro baseado em transformada de Fourier teve um bom resultado para a banda 3, entretanto a imagem filtrada apresenta um aspecto embaçado.

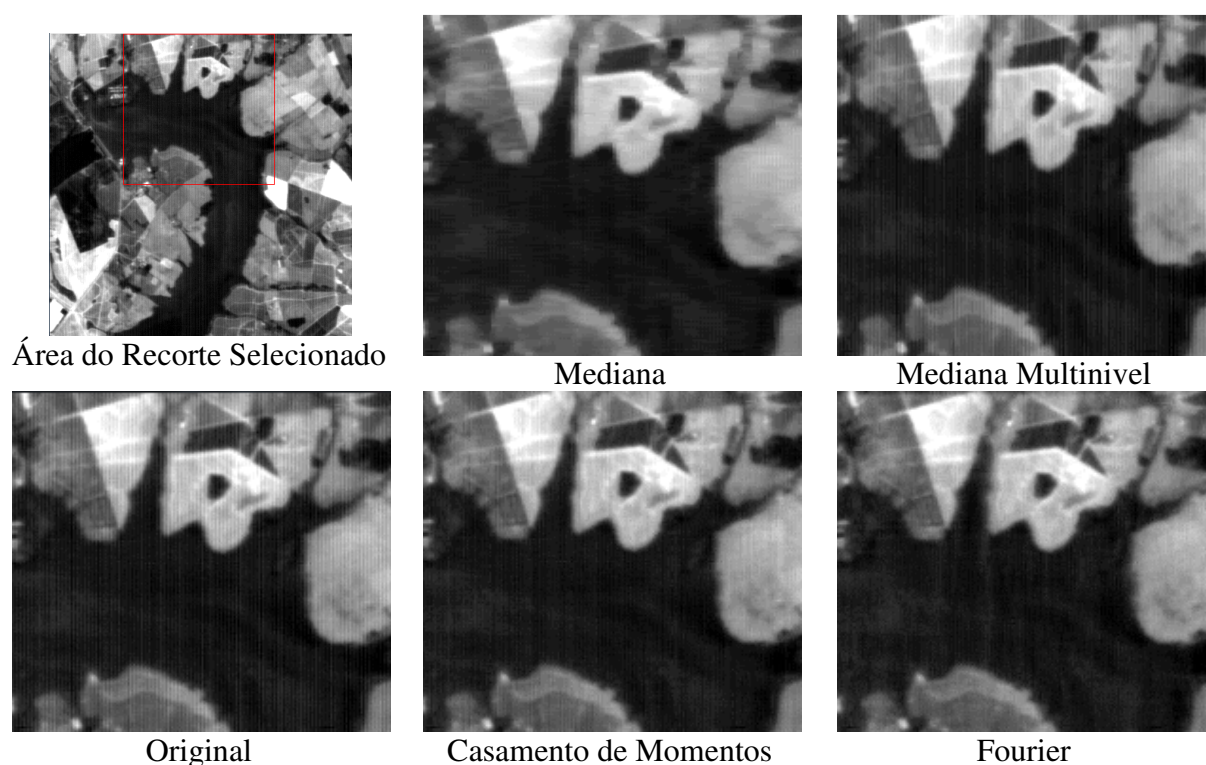


Figura 5. Banda 3 do sensor CCD/CBERS-2B filtrada.

A banda 4 que é a que apresenta menor degradação, teve como melhor resultado o filtro da mediana. Uma avaliação visual neste caso é bastante difícil e de certa forma todos os filtros apresentaram bons resultados. O filtro da transformada de Fourier inseriu alguns artefatos, “manchas” periódicas, que podem ser facilmente visualizados na região do corpo d’água. O filtro da mediana multinível apresentou um melhor resultado se comparado aos outros resultados, porém ainda inferior aos filtros da mediana comum e ao filtro do casamento de momentos. Estes dois últimos apresentaram resultados bastante semelhantes, entretanto o filtro da mediana foi o que visualmente eliminou os *stripes*. Ainda assim persiste o efeito de borrimento que foi encontrado nos resultados das outras bandas e que é um efeito inerente deste filtro.

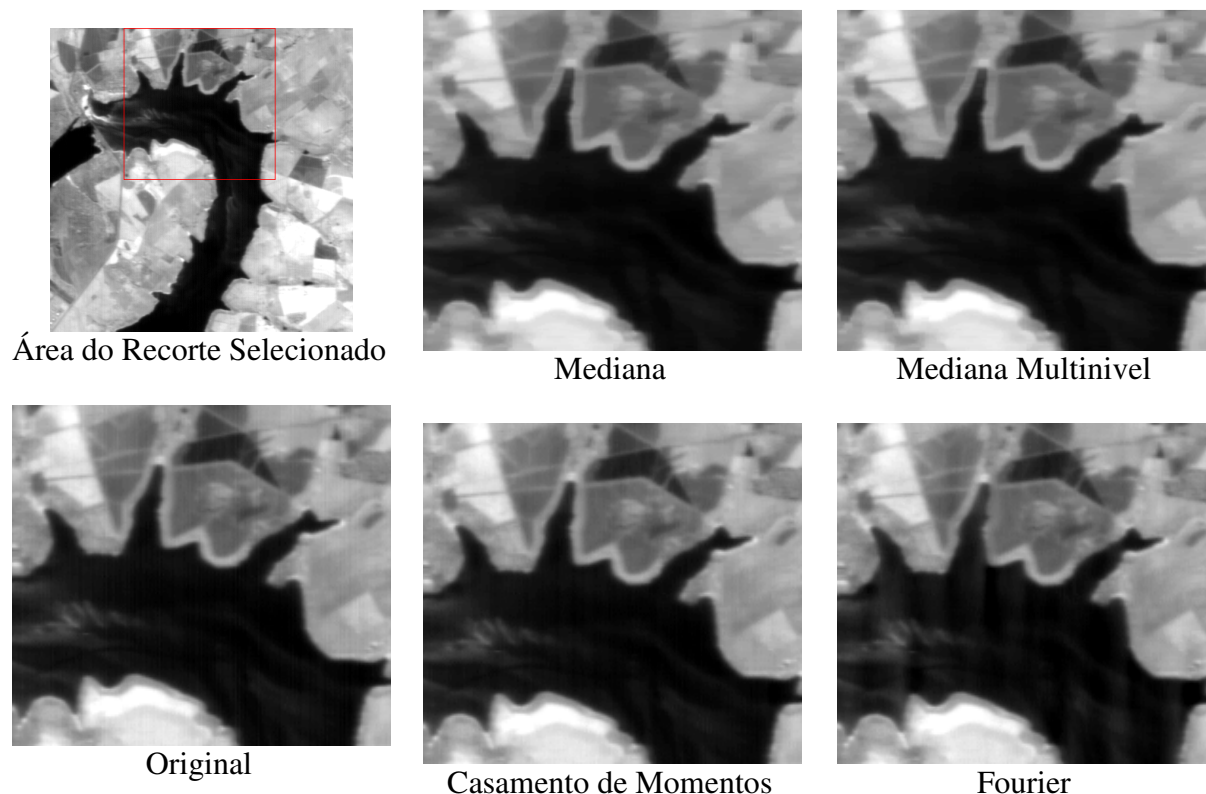


Figura 6. Banda 4 do sensor CCD/CBERS-2B filtrada.

A figura 7 apresenta uma composição colorida utilizando os melhores filtros encontrados para as bandas 3, 2 e 1. Observa-se uma melhora na imagem corrigida entretanto, algum ruído ainda persiste, principalmente devido à banda um que é a que apresenta maior degradação.



Figura – 7 – Composição CCD CBERS 2B (R3G2B1) – (1) Original (2) Corrigida

Um outro aspecto que deve ser considerado é a variação de medidas estatísticas. Para avaliar tal efeito foi calculado a média e o desvio padrão de cada uma das bandas modificadas. As tabelas (1) e (2) demonstram que nenhum dos métodos distorce significativamente a média e o desvio padrão das imagens. O valor máximo encontrado para a diferença entre a média e desvio padrão original e média ou desvio padrão de cada imagem filtrada foi de apenas um nível de cinza.

Tabela 1 – Valores de média das imagens originais e filtradas

Média	B1	B2	B3	B4
Original	45.1	37.7	41.6	78.2
Mediana	45.1	37.7	41.6	78.8
Mediana Multinível	44.4	37.1	40.9	77.0
Casamento de Momentos	44.8	37.3	41.2	77.5
Fourier	45.2	37.8	41.7	79.4

Tabela 2 – Valores de desvio padrão das imagens originais e filtradas

Desvio Padrão	B1	B2	B3	B4
Original	3.3	4.1	9.9	29.2
Mediana	3.1	4.0	9.8	29.3
Mediana Multinível	6.3	6.1	10.9	30.5
Casamento de Momentos	5.0	5.2	10.3	30.9
Fourier	3.4	4.2	10.1	29.8

4 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo estudar o efeito *striping* presente nas imagens do sensor CCD do satélite CBERS 2B. Para tal, quatro métodos de correção deste ruído foram testados: o filtro da mediana simples, o filtro da mediana multinível, o filtro de casamento de momentos local e a filtragem no domínio de Fourier.

Cada banda do sensor CCD apresenta um nível de ruído e uma periodicidade específica o que dificulta o seu tratamento e eliminação. Outro ponto é que cada um destes filtros atua de forma diferenciada o que levou à resultados específicos para cada banda, ou seja não houve unanimidade quanto ao melhor método de filtragem.

Podemos apenas ressaltar que o filtro da mediana multinível obteve o pior resultado para todas as bandas filtradas, provavelmente por necessitar de uma janela quadrada em sua aplicação, o que não é adequado para ruídos que possuem uma orientação, como é o caso do ruído *striping*. No caso dos outros filtros testados o principal problema é o compromisso entre a eliminação do ruído e o efeito de borrramento que cada um destes filtros insere na imagem.

Uma característica importante destes filtros é que eles não alteram a média ou o desvio padrão das imagens filtradas. Isto é importante para não distorcer a característica inicial da imagem e preservar o contraste entre os alvos presentes.

Referências

CARVALHO, L. A. S. **Geração e avaliação de produtos híbridos CBERS-2B para a identificação de fragmentos de vegetação arbórea**. 2010. 163 p. (INPE-16724-TDI/1662). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/04.26.14.17>>.

DATT B.; MCVICAR T.R.; VAN NIEL T.G.; JUPP D.L.B. PEARLMAN J.S. Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. V. 41 n 6 2003.

GONZALEZ, R.C.; WOODS R.E. **Processamento de Imagens Digitais**. 3. ed. Pearson Education do Brasil, 2009. 954 p.

GOUVÊA É. J. C. **Calibração radiométrica relativa da câmara CCD dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B**. 2008. 103 p. (INPE-15270-TDI/1347). Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/03.17.18.30>>. Acesso em: 10 fev. 2009.

HU Y.E. JI H. Research on Image Median Filtering Algorithm and its FPGA Implementation. **Global Congress on Intelligent Science** 2009.

NIEMINEN A.; HEIKONEN P.; NEUVO Y. A new class of detail-preserving filters for image processing **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence** v. 9, n. 1 1987.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: models and methods for image processing**. San Diego: Academic Press, 2007. 522 p.