

Avaliação da ortorretificação de imagens de alta e média resolução espacial utilizando MDEs de cartas 1:10.000, ASTER e SRTM

Marcela do Valle Machado ¹
Mauro Antonio Homem Antunes ¹
Paula Debiasi ¹
Marcelo Rodrigues de Albuquerque Maranhão
Tatiana Suzy Yoshikawa ¹

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRJ/IT
B4 465, km 7 – 23890-000 - Seropédica - RJ, Brasil
marcelamachado046@hotmail.com, mantunes@ufrj.br, pauladebiasi@yahoo.com.br

² Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências/Coordenação de Cartografia
marcelo.maranhao@ibge.gov.br

Abstract. Geometric corrections are necessary for accurate mapping through satellite images. Orthorectification is the best recommended technique as it transforms from central projection to orthogonal projection, thus correcting for sensor viewing distortions, relief and Earth curvature. The objective of this research is to evaluate the orthorectification of satellite images from four sensors, e.g. Quickbird, Ikonos II, HRC and TM using the DTMs from charts at 1:10,000 scale, from ASTER and from SRTM. Two images from Quickbird, five from Ikonos II, one from HRC and one from TM were orthorectified using the rational polynomial functions with five coefficients and eleven control points for all images. The results show that the DTM from the maps gave best results for the high resolution images, with a smaller difference between reference and orthorectified coordinates. Despite having a smaller resolution in comparison to the ASTER, the orthorectification with SRTM yielded similar results compared to ASTER. The best results were in the plain areas with small altitudes while for the mountains the errors were high and in some areas a stretchy pattern was formed. It remains to be studied what caused this and it is recommended to evaluate the performance of the rational polynomial functions for mountainous areas versus the rigorous model, i.e., the collinearity equations, with several scenarios of number of points and distribution as well as number of coefficients.

Palavras-chave: orthorectification of images, digital terrain models, ortorretificação de imagens, modelos digitais de elevação, SRTM, ASTER.

1. Introdução

Imagens de satélites têm sido largamente utilizadas para o mapeamento e o monitoramento da superfície terrestre, desde pequenas escalas até grandes escalas. Entretanto a característica de projeção central da tomada das imagens associada à curvatura da terra, relevo e distorções do sistema sensor leva a distorções geométricas nas imagens que causam erros nas coordenadas obtidas a partir destas imagens. O georreferenciamento a partir de transformações de coordenadas afim bidimensionais não corrige para estas distorções. Assim, torna-se necessário a ortorretificação das imagens para que haja uma boa correspondência entre as coordenadas de imagens e coordenadas da superfície e conseqüentemente mapas mais exatos possam ser obtidos (Baltasvias, 1996).

A ortorretificação das imagens corresponde a tornar a imagem uma projeção ortogonal (Schowengerdt, 2007) de modo que os raios passem a ser ortogonais à superfície. Existem vários modelos que podem ser utilizados para a ortorretificação (Toutin, 2004). O modelo rigoroso consiste na utilização da condição de colinearidade para recriar a relação entre coordenadas de imagem e coordenadas da superfície e para isso é necessário obter os elementos da orientação interior e exterior do sensor, bem como um modelo digital de elevação (Wolf e Dewitt, 2000). No entanto, para a utilização da condição de colinearidade é

necessário ter disponível os parâmetros da orientação interior e exterior, os quais nem sempre estão disponíveis, exceto quando já implementado no programa de ortorretificação (Toutin, 2004). Uma alternativa é a utilização do modelo de funções racionais polinomiais (FRPs) (Tao e Hu, 2001). Fraser et al. (2006) argumentam que as FRPs são mais adequadas para sensores de varredura, pois o modelo rigoroso utilizando as equações da colinearidade perde o rigor devido às linhas de imageamento ao longo da órbita, diferentemente das câmaras fotogramétricas onde existe uma projeção central a para todos os lados da foto.

Nas FRPs é estabelecido um relacionamento direto entre coordenadas de imagem e coordenadas da superfície através dos coeficientes destas equações que são dadas por: (Tao e Hu, 2001):

$$r_n = \frac{p1(X_n, Y_n, Z_n)}{p2(X_n, Y_n, Z_n)}$$

$$c_n = \frac{p3(X_n, Y_n, Z_n)}{p4(X_n, Y_n, Z_n)}$$
(1)

Em que r_n e c_n são as coordenadas de linha e coluna da imagem, $p1$ a $p4$ são os polinômios e X_n , Y_n e Z_n são as coordenadas de superfície de um ponto n qualquer. Com os pontos de campo são estimados os coeficientes dos polinômios que dão uma relação direta entre as coordenadas de imagem e as coordenadas de superfície.

Para um bom desempenho deste modelo Tao e Hu (2001) argumentam que há a necessidade de se utilizar uma grande quantidade de pontos de controle e que estes estejam bem distribuídos através da imagem. Normalmente são necessários $2n-1$ pontos para resolver o sistema de equações, sendo necessário pontos a mais para que se tenha grau de liberdade e consequentemente se possa obter os resíduos. O modelo de funções racionais tem sido largamente utilizado para a ortorretificação de imagens por ser adequado ao sistema de escaneamento dos sistemas orbitais (Fraser et al., 2006).

O objetivo deste trabalho é a avaliação da ortorretificação de imagens de alta resolução espacial, Ikonos II, Quickbird e HRC-Cbers-2b e imagens de média resolução espacial do TM Landsat 5, utilizando os modelos digitais de elevação de cartas topográficas na escala 1:10.000, do ASTER e do SRTM.

2. Metodologia

A área de estudo deste trabalho corresponde ao município de Seropédica e imediações que estão dentro do retângulo envolvente entre $43^{\circ} 48' 30''$ W $22^{\circ} 38' 0''$ S e $43^{\circ} 37' 0''$ W $22^{\circ} 52' 0''$ S (Figura 1). Esta região tem uma parte plana com altitudes variando de 4m até aproximadamente 41 metros e uma parte de relevo mais acidentado com montanhas de até altitudes de até 505 metros.

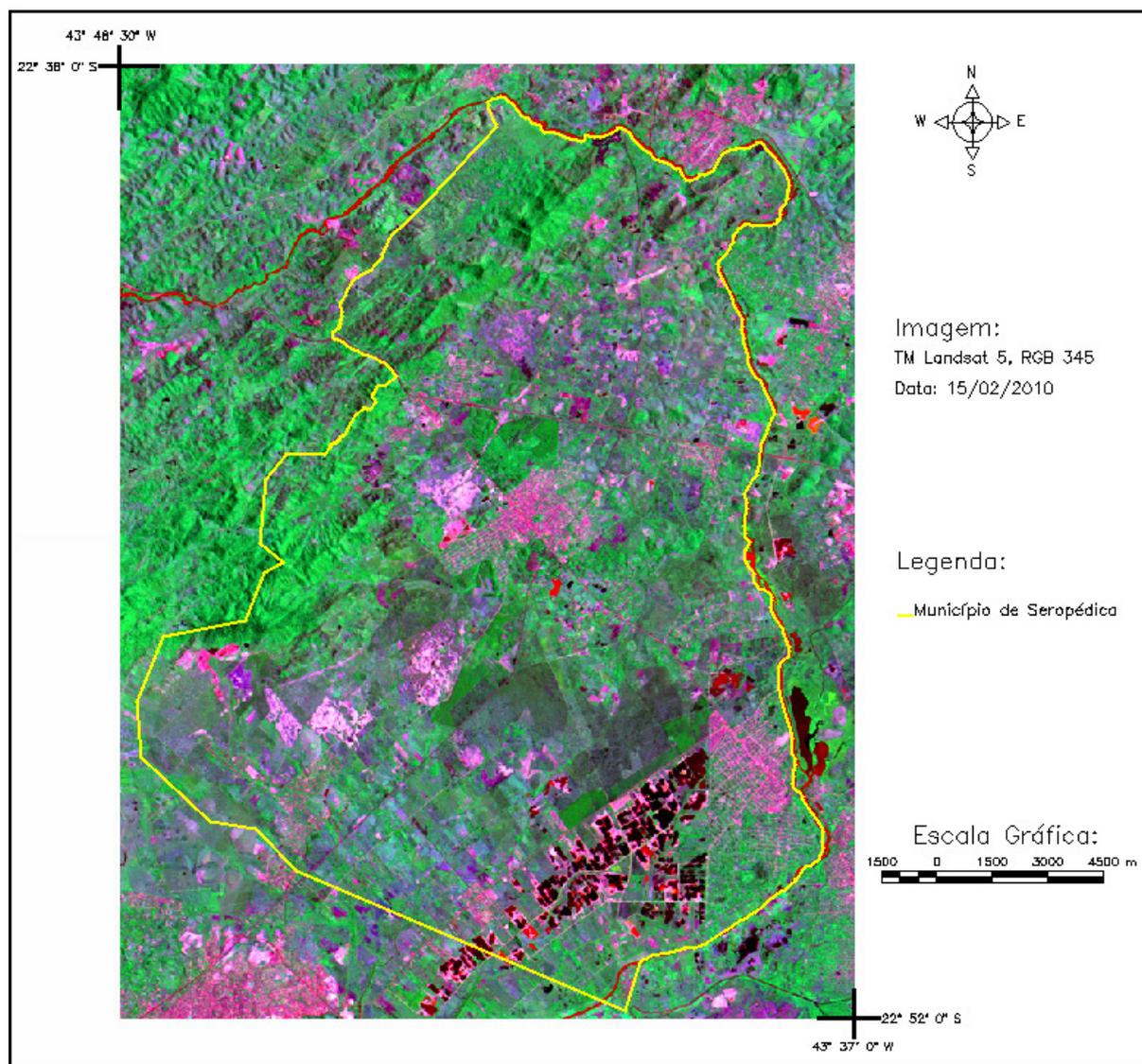


Figura 1. Área de estudo.

As imagens Ikonos II, Quickbird, HRC e TM foram importadas para o formato utilizado pelo PCI e procedeu-se à coleta de pontos de controle nas ortofotos. As características das imagens utilizadas nesta avaliação estão na Tabela 1 abaixo.

O modelo digital de elevação (MDE) das cartas foi obtido através de digitalização e vetorização no AutoCAD de cartas produzidas pela FUNDREM no *Datum* vertical de Imbituba e horizontal Córrego Alegre. Foi gerado um MDE em formato de imagem com resolução espacial de 5m e que foi transformado para o *Datum* WGS84. O modelo digital de elevação produzido pelo SRTM da folha SF-23-Z-A foi disponibilizado pela EMBRAPA (Miranda, 2005) na resolução espacial de 3 segundos (aproximadamente 90m). Este modelo foi utilizado na projeção original (Lat/Long) uma vez que o software utilizado (PCI Geomatica 9.0) transforma para o *Datum* do projeto cada vez que um ponto é coletado. O MDE do ASTER foi baixado através de um repositório com os MDEs deste sensor (ASTER GDEM, 2010), sendo que também está em Lat/Long com uma resolução espacial de um segundo (aproximadamente 30m).

Tabela 1. Características das imagens utilizadas neste trabalho.

Sensores	Resolução radiométrica	Faixa de imageamento	Resolução espectral(μm)	Resolução espacial
HRC	8 bits	27 Km (nadir)	Pan 0,50 - 0,80	2,7 m
IKONOS II	11 bits	13 km	Pan 0,45 - 0,90 B 0,45 - 0,52 G 0,52 - 0,60 R 0,63 - 0,69 I.P 0,76 - 0,90	Pancromática: 1m; Multiespectral: 4m.
QUICKBIRD	11 bits	16.5 km x 16.5 km (nadir)	Pan 0,450 - 0,900 B 0,450 - 0,520 G 0,520 - 0,600 R 0,630 - 0,690 NIR 0,760 - 0,900	Pancromática: 61 cm a 72 cm; Multiespectral: 2,44 m até 2,88 m.
TM	8 bits	185 km	B1 0,45 - 0,53 B2 0,52 - 0,60 B3 0,63 - 0,69 B4 0,76 - 0,90 B5 1,55 - 1,75 B6 10,40 - 12,50 B7 2,08 - 2,35	30-120 m

As coordenadas planimétricas dos pontos de controle foram obtidas de ortofotos digitais fornecidas pelo IBGE e com resolução espacial de 1m. As coordenadas Z destes pontos foram obtidas dos MDEs que estão sendo avaliados neste trabalho. Os dados de altimetria do ASTER e do SRTM estão no elipsóide e não foram transformados para altitudes ortométrica propositalmente uma vez que estes são utilizados diretamente com os valores de altitude original.

Todo o processamento ocorreu no PCI Geomatica 9.0 no módulo OrthoEngine. Foram inseridos para cada imagem onze pontos de controle e foram utilizados 5 coeficientes para os polinômios de todas as ortorretificações. Para a reamostragem foi utilizada a função $\text{seno}(x)/x$ por produzir resultados melhores em relação aos outros algoritmos de reamostragem (Toutin, 2004). As imagens do Quickbird continham os coeficientes fornecidos pela empresa proprietária do satélite, mas estes não foram utilizados para que a metodologia fosse uniforme para todas as imagens.

Os resultados foram avaliados através da comparação das coordenadas das imagens ortorretificadas com aquelas das ortofotos fornecidas pelo IBGE. Além da comparação visual entre as imagens, foram avaliadas as diferenças entre as coordenadas obtidas pela ortorretificação e aquelas das ortofotos de referência através da média, desvio padrão e RMSE para E e N, além do cálculo do vetor distância entre a coordenada dos pontos de verificação na ortofoto e nas imagens de saída.

3. Resultados e Discussão

As coordenadas de pontos selecionados nas imagens ortorretificadas foram analisadas em relação às coordenadas das ortofotos tomadas como padrão. A Tabela 2 mostra que no geral

os resultados obtidos com o MDE das cartas foram melhores para as imagens Ikonos II e Quickbird, embora as diferenças sejam pequenas. Para as demais imagens as diferenças foram pequenas e no caso das imagens TM do Landsat 5 a carta forneceu resultados piores, principalmente devido a erros nas áreas mais montanhosas.

Tabela 2. Erros em E, erros em N e vetor erro para os pontos de verificação.

Sensor	MDE	Estatística	Erro em E (m)	Erro em N (m)	Vetor (m)
Ikonos II / Quickbird	Carta 1:10.000	Média (n=21)	-5,5	-3,7	10,2
		Desv. padrão	16,4	9,3	17,1
		RMSE	16,9	9,8	
	SRTM	Média (n=21)	-5,4	-4,2	10,5
		Desv. padrão	18,8	9,9	19,6
		RMSE	19,2	10,6	
	ASTER GDEM	Média (n=21)	-6,4	-3,7	11,8
		Desv. padrão	19,1	11,9	20,4
		RMSE	19,7	12,2	
HRC CBERS 2B	Carta 1:10.000	Média (n=10)	1,7	1,4	7,2
		Desv. padrão	3,6	7,6	4,3
		RMSE	3,8	7,4	
	SRTM	Média (n=10)	0,6	1,7	7,1
		Desv. padrão	3,3	8,0	4,7
		RMSE	3,2	7,7	
	ASTER GDEM	Média (n=10)	0,2	2,0	7,3
		Desv. padrão	3,5	8,1	4,9
		RMSE	3,3	8,0	
TM Landsat 5	Carta 1:10.000	Média (n=10)	5,0	2,6	52,3
		Desv. padrão	21,8	57,2	27,4
		RMSE	21,3	54,4	
	SRTM	Média (n=10)	-10,6	2,4	22,3
		Desv. padrão	21,4	11,2	12,7
		RMSE	22,9	10,9	
	ASTER GDEM	Média (n=10)	-11,0	3,6	21,6
		Desv. padrão	18,1	13,9	12,3
		RMSE	20,4	13,7	

Na Tabela 3 são analisadas as diferenças entre os pontos de verificação para a área montanhosa e a área plana. Verifica-se que as diferenças são muito maiores nas áreas montanhosas do que nas áreas planas. Como este resultado foi também obtido para a carta, atribui-se este resultado à maior dificuldade em se obter pontos de controle na área montanhosa por ser uma área com predominância de vegetação natural. Além disso, a ortorretificação por funções racionais normalmente requer um grande número de pontos de controle (Tao e Hu, 2001).

Para uma das imagens Ikonos II e para as HRC e TM verificou-se a formação de áreas com padrão de esticado as áreas montanhosas para todos os MDEs. Portanto acredita-se que isso pode ter sido causado pelo modelo de funções racionais não representar bem as transformações de coordenadas de imagem para coordenadas de superfície com a distribuição

e número de pontos utilizado. Este padrão de esticado não foi observado nas imagens Quickbird porque elas cobrem apenas as áreas mais planas do município de Seropédica.

Tabela 3. Comparação entre as coordenadas para área montanhosa (entre 75 e 505 metros) e área plana (até 41 metros).

MDE		Estatística	Erro em E	Erro em N	Vetor
Carta 1:10.000	Área montanhosa	Média (n=9)	-10,7	-6,2	18,0
		Desv. padrão	23,3	14,0	23,4
		RMSE	24,5	14,6	
	Área plana	Média (n=12)	-1,5	-1,8	4,3
		Desv. padrão	7,2	2,2	6,5
		RMSE	7,0	2,7	
SRTM	Área montanhosa	Média (n=9)	-12,7	-8,5	18,8
		Desv. padrão	26,9	14,1	28,1
		RMSE	28,3	15,8	
	Área plana	Média (n=12)	0,0	-1,1	4,4
		Desv. padrão	6,6	2,8	5,6
		RMSE	6,3	2,9	
ASTER GDEM	Área montanhosa	Média (n=9)	-13,7	-4,5	20,3
		Desv. padrão	27,2	17,9	28,8
		RMSE	29,0	17,5	
	Área plana	Média (n=12)	-1,0	-3,0	5,5
		Desv. padrão	6,9	4,9	7,0
		RMSE	6,7	5,6	

4. Conclusões e recomendações

Neste trabalho foi realizada uma avaliação da ortorretificação de imagens do sensor Ikonos II, do Quickbird, do HRC e do TM, utilizando para isso o modelo de funções racionais e três modelos digitais de elevação: o de carta topográfica na escala 1:10.000, o MDE do ASTER com resolução de um segundo e o do SRTM com resolução de três segundos. Para relacionar coordenadas de imagem com coordenadas de superfície foram utilizados polinômios com 5 coeficientes e onze pontos de controle para cada imagem.

Os resultados mostraram que a ortorretificação com as funções racionais neste trabalho deram resultados satisfatórios nas áreas planas, mas nas áreas montanhosas houve uma discrepância grande entre as coordenadas de referência e as coordenadas das imagens georreferenciadas. Algumas áreas de relevo mais montanhoso apresentaram um padrão esticado, mostrando que houve um exagero na correção aplicada pelo modelo. O fato de ter ocorrido tanto na ortorretificação pelo MDE da carta como nos MDEs do ASTER e SRTM mostra que isso pode ter sido causado por um problema na solução das funções racionais polinomiais.

Recomenda-se que seja feito um estudo detalhado sobre as condições que levaram ao baixo desempenho do modelo de funções racionais para a área montanhosa, analisando o efeito da quantidade e distribuição dos pontos, do número de coeficientes e também da qualidade do MDE utilizado. Com isso será possível estabelecer estratégias para a utilização deste tipo de modelo para a ortorretificação de áreas montanhosas, uma vez que este tem a vantagem de não ser necessário a obtenção dos parâmetros de orientação interior e exterior da câmara. Dentre as possibilidades de pesquisa futura recomenda-se o estudo comparativo deste modelo com as equações da colinearidade, uma vez que este recria rigorosamente a condição em que a imagem foi tomada.

5. Referências

- ASTER GDEM, 2009, **ASTER Global Digital Elevation Model**. <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>. Acesso em: 09.jul.2009.
- Baltsavias, E. P. Digital ortho-images — a powerful tool for the extraction of spatial- and geo-information. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 51, n. 2, p. 63-77, 1996.
- Fraser, C. S.; Dial, G.; Grodecki, J., Sensor orientation via RPCs. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 60, n. 3, p. 182–194, 2006.
- Miranda, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 31.mai.2010.
- Schowengerdt, R. A., **Remote Sensing, Models, and Methods for Image Processing**, 3rd Edition, 2007, Academic Press.
- Tao, C.V.; Hu, Y. A Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, V. 67, n. 12, p. 1347-1357, 2001.
- Toutin, T. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p.1893-1924, 2004.
- Wolf, P.R., Dewitt, B.A. 2000, **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**. McGraw-Hill, 3rd Edition, 608 p.