

Processo de ortorretificação para correção geométrica em imagens WorldView-II.

Taíssa Caroline Silva Rodrigues¹
Hermann J. H. Kux²
Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque²

¹ Universidade Federal do Maranhão - UFMA
Bacabal - MA, Brasil.
taissageo@hotmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Avenida dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja – 12.227-010 São José dos Campos
- SP, Brasil.
hermann@dsr.inpe.br
gurgel@ltd.inpe.br

Abstract.

The WorldView-2 images belong to a new satellite generation of high spatial resolution which allow to obtain detailed information of interest for urban application. During the acquisition of these data, there are different distortions which are grouped in categories, such as: Observer/Acquisition System and the Observed. In order to solve these distortions there are empirical and physical models, localization of the point of interest, pixel size, distortion of lens and image orientation parameters. So the objective of this work was to present two models: the Rigorous and RPC, used for the WorldView-2 image correction. To attend this objective, several digital image processing procedures were done, including field surveys, to obtain by a geodetic GPS, the precise control points. The ortho-rectification of images was done using PCI Geomatics software. After the ortho-rectification process and application of the two models, and using statistics applied to both models considered, the hypothesis that the ortho-image generated from the rigorous model, proposed by Toutin (2004), was confirmed: it presented better results than the image generated by the RPCmodel.

Keywords: Orthorectification, WorldView-2, High resolution image

1 Introdução

As imagens WorldView-2 pertencem a uma nova geração de satélites contendo sistemas sensores com alta resolução espacial, que permitem a obtenção de imagens detalhadas, com grande interesse para aplicações urbanas. Não obstante, durante a aquisição das imagens, ocorrem diferentes distorções, agrupadas em duas categorias: o Observador/Sistema de aquisição e o Observado (TOUTIN, 2004).

Toutin (2004), afirma que, para a correção de distorções geométricas em dados de sensoriamento remoto, existem dois tipos de modelos, os empíricos e os físicos. Os modelos empíricos 2D/3D podem ser utilizados quando os parâmetros dos sistemas de aquisição ou de um modelo rigoroso físico 3D não estão disponíveis. O modelo físico é usado para reconstruir a definição de imagem física e as transformações entre o espaço de objeto 3D e o espaço imagem. Inclui parâmetros físicos sobre o sensor, localização do ponto principal, tamanho do pixel e distorções de lentes e parâmetros de orientação da imagem, tais como posição e atitude do sensor no momento da aquisição (DIGITALGLOBE, 2010).

Considerando os métodos tridimensionais de correção geométrica, três deles são utilizados em imagens de alta resolução espacial segundo Cheng et al. (2003): o racional polinomial no qual os parâmetros matemáticos são introduzidos pelo usuário, o racional polinomial em que os parâmetros são fornecidos pelos metadados da imagem, e o rigoroso que modela matematicamente os componentes físicos da geometria de visada.

Portanto, o objetivo do trabalho, que fez parte de uma dissertação de mestrado apresentada no INPE, foi de analisar modelos para o processo de ortorretificação de imagens de alta resolução espacial WorldView-2.

2 Área de Estudo

A área de estudo está inserida na porção norte da Ilha do Maranhão, situada no Estado do Maranhão, região Nordeste do Brasil. A ilha é subdividida administrativamente em quatro municípios, a saber: Raposa, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e São Luís, capital do estado (Figura 1.0).

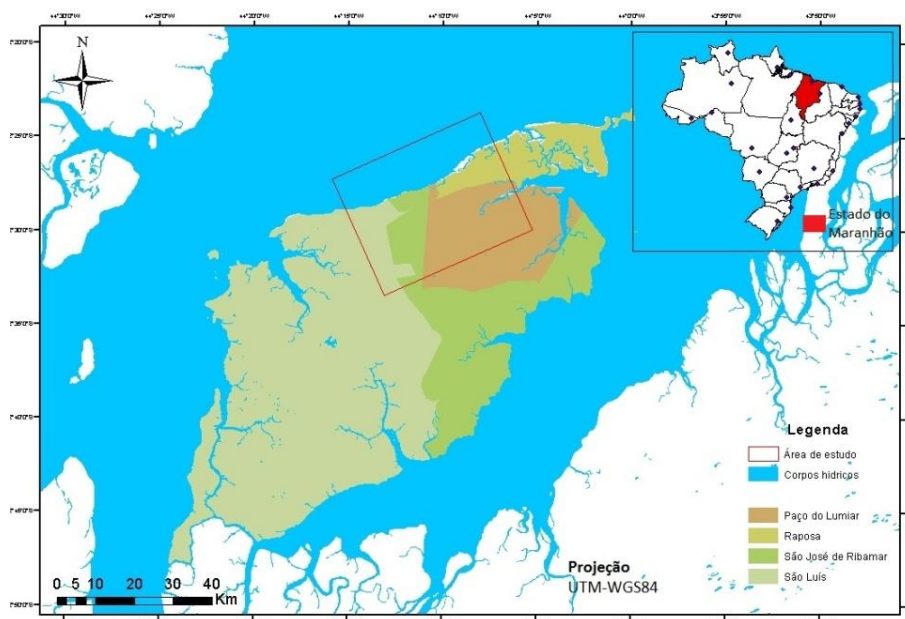


Figura 1.0: Mapa de localização da área de estudo

3 Materiais e Métodos

3.1 Materiais

- ❖ Dois conjuntos de imagens multiespectrais e pancromáticas do satélite WorldView-2. As imagens do tipo Standard/O2A, obtidas em 10.06.2010, foram disponibilizadas pela empresa DIGITALGLOBE, consistindo de oito bandas multiespectrais (resolução espacial de 2,0 m) e uma pancromática (resolução espacial de 0,5m) e resolução radiométrica de 11bits.
- ❖ Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado durante o processo de ortorretificação das imagens.
- ❖ Dados vetoriais, tais como: limites territoriais dos municípios de São Luís, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e Raposa, fornecidos no formato shp pela base vetorial do IBGE; curvas de níveis no formato shp, fornecidas pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFMA que ajudaram na vetorização das isolinhas e construção do MDE.

Softwares:

- ❖ PCI Geomatics v.13 – para a criação dos mosaicos dos arquivos TILES, criação do MDE, fusão e ortorretificação das imagens;
- ❖ ENVI 5.0 – para a fusão e recorte das imagens multiespectrais e pancromática do sensor WorldView-2;

- ❖ MapGeo 2010 – para a conversão das coordenadas elipsoidais em ortométricas;
- ❖ Topcon Tools V8: para a descarga dos dados observados do receptor Topcon Hiper e seu posterior processamento;

Equipamentos:

- ❖ 02 receptores Topcon Hiper numeração 1650 e 1658 – utilizados para a coleta de pontos em campo, visando à ortorretificação da imagem;
- ❖ tripé para suporte dos receptores DGPS;
- ❖ 02 receptores GNSS Garmin – Modelo: 12XL – para localização dos pontos pré-definidos, cálculo da distância de um ponto a outro e do tempo em relação à base;
- ❖ câmera fotográfica Sony para registro do local de coleta dos pontos de controle no terreno;
- ❖ trena para cálculo da altura da antena;

3.2 Métodos

3.2.1 Fusão das Imagens

Foram testados os métodos de fusões disponíveis nos softwares ENVI 5.0 (Gram-Schmidt Spectral Sharpening e PC Spectral Sharpening) e PCI Geomatics (Pan-Sharpning) para compará-los e chegar a um melhor resultado. O critério para a escolha dos procedimentos de fusão executados foi a acessibilidade do algoritmo, a capacidade de juntar as oito bandas multiespectrais e a ausência de problemas como borramento.

Por meio da análise visual e avaliação de estudos anteriores que utilizaram fusões em imagens Worldview-2 (PADWICK, 2010; SOUSA, 2012; MENEGHETTI, 2013), foi escolhido o método Pan-sharpening, como o mais apropriado para a realização da fusão das bandas multiespectrais com a pancromática para as cenas utilizadas nesta pesquisa. Diferentemente dos outros métodos testados, este apresentou menos problemas com borramentos e com alterações envolvendo das cores dos alvos.

3.2.2 Geração do modelo digital de elevação

O modelo digital de elevação (MDE) utilizado na pesquisa foi obtido a partir de dados altimétricos disponibilizados pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFMA e de cartas topográficas da DSG, disponibilizadas no site do ZEE-MA. As cartas apresentaram uma equidistância das isolinhas de 5,0 m e uma escala de 1:10.000.

Para a vetorização manual das curvas de nível e dos pontos cotados, utilizou-se o software Spring 5.2.3, em que foram editadas as isolinhas e onde foram colocados manualmente os valores de cada uma delas. A geração do MDE foi realizada no software PCI Geomatics com a ferramenta Orthoengine - Import and Build DEM, utilizando como interpolador o vizinho-mais-próximo e a distância de 1,0 m entre os pixels.

3.2.3 Coleta dos pontos de controle

A coleta dos pontos de controle em campo foi realizada com o DGPS (Differential Global Position System – Sistema de Posicionamento Global Diferencial), pelo receptor Topcon, empregando o método de levantamento relativo estático. Para tanto, o receptor da estação referência, bem como aquele da estação com coordenadas a serem determinadas, permaneceram estacionários durante todo o levantamento. A duração do

levantamento variou de acordo com a distância em linha reta com a estação RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema) mais próxima (IBGE, 2013). Neste trabalho foi utilizada a RBMC UEMA (SALU), instalada na Universidade Estadual do Maranhão. Devido a isso, a duração do levantamento dos pontos variou de 40 a 60 minutos.

Foram coletados 60 pontos implantados em locais bem visíveis nas imagens WorldView-2. Segundo Toutin (2004), os GCP's (Ground Control Points) devem ser feições bem definidas e de fácil reconhecimento no terreno e na imagem, distribuídos uniformemente e devem cobrir, preferencialmente, toda a variação altimétrica do terreno estudado.

Para auxiliar na decisão da escolha dos pontos, foi considerado o acesso a cada ponto, além da utilização de um sistema GPS para facilitar o encontro dos pontos de controle em campo. Ademais, armazenou-se cada ponto por meio de fotos para registrar a sua localização e preenchimento de relatórios para facilitar o posterior processo de ortorretificação.

3.2.4 Ortorretificação

O processo de ortorretificação consiste na reprojeção da cena no plano ortogonal das imagens orbitais utilizadas. Trata-se de uma etapa essencial para esta pesquisa, tendo em vista que as imagens brutas (sem processamento prévio) apresentam distorções significativas que impossibilitam o seu uso para inferências espaciais a partir do cruzamento de informações com dados cartográficos em um SIG (TOUTIN, 2004).

Ao avaliar trabalhos anteriores como: Meneghetti (2013); Souza (2012); Novack (2009); Cheng et al. (2003) e tutoriais do PCI Geomatics (2010), verificou-se que, para a ortorretificação das imagens Ortho Ready Standard2A (imagens utilizadas neste estudo), podem ser utilizados tanto o modelo por RPC (Rational Polynomial Coefficients – Coeficientes Polinomiais Racionais) quanto o modelo Rigoroso. Segundo PCI Geomatics (2010), a qualidade da ortorretificação depende fortemente da quantidade, exatidão e distribuição dos pontos de controle (GCPs), assim como do modelo matemático escolhido.

Após as jornadas de campo para a aquisição dos GCPs, e do preenchimento da respectiva ficha de cada ponto, as altitudes geométricas (referidas ao elipsoide), obtidas durante o levantamento, foram convertidas em altitudes ortométricas (referidas ao nível médio do mar) pelo software MAPGEO 2010, disponibilizado no site do IBGE. Esta transformação é necessária para que as altitudes possam ser referidas ao geóide. Posteriormente foi efetuada a transformação das coordenadas para UTM, pelo programa PROGRID, igualmente disponível no site do IBGE.

Para os cálculos foram utilizados posteriormente os modelos por RPC e o Rigoroso, proposto por Toutin (2004) e implementados no software PCI Geomatics, que possui um módulo de correção geométrica específico para o satélite WorldView-2, desenvolvido a partir de uma parceria entre a empresa Digital Globe e o Centro Canadense de Sensoriamento Remoto (CCRS).

Para a implementação dos 60 pontos, utilizou-se a ferramenta OrthoEngine, sendo 35 pontos de controle (GCPs) e 25 pontos independentes de verificação (ICPs - Independent Check Points) (Figura 4.4). Os ICPs foram utilizados para calcular os valores da raiz quadrada do erro médio quadrático (Root Mean Square Error - RMSE), que indica a qualidade estatística da ortorretificação.

Para a execução do processo de ortorretificação das imagens, utilizou-se um modelo digital de elevação que, segundo Costa e Magalhães (2003), é fundamental para a execução deste processo, sem o qual não seria possível a correção devida ao relevo.

3.2.4 Avaliação do processo de ortorretificação

Para a avaliação das imagens ortorretificadas, foram usados como referência os critérios estabelecidos pelas Normas Técnicas da Cartografia Nacional, como as classes de exatidão por escala, o Erro Padrão (EP) e o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). A avaliação foi realizada com base na metodologia proposta por Galo e Camargo (1994), por meio das análises de tendência e de precisão. Esses cálculos estatísticos foram realizados com um total de 25 pontos independentes de verificação (ICPs), coletados em campo.

Após os cálculos mencionados, que incluem as discrepâncias entre as coordenadas nas imagens ortorretificadas e as coordenadas de referência, bem como de suas médias e desvios padrão, foram realizados os testes de tendência (t Student) e o teste de precisão (qui-quadrado), seguindo a metodologia de Galo e Camargo (1994).

4 Resultados

Com a finalidade de obter melhores resultados nas ortoimagens, foram realizados testes com dois modelos disponíveis no software PCI Geomatics, a saber: os modelos RPC e o Rigoroso.

Para a avaliação das imagens ortorretificadas, levou-se em consideração a metodologia proposta por Galo e Camargo (1994), em que foram calculadas as estatísticas amostrais para cada componente (E e N), a saber: erro mínimo, erro máximo, média, desvio padrão e a raiz do erro médio quadrático em função das discrepâncias entre coordenadas homólogas obtidas com o aparelho GNSS e nas ortoimagens. Os resultados destas estatísticas serviram de base para as análises de tendência e precisão.

A análise estatística foi realizada tanto para as imagens corrigidas pelo modelo RPC quanto para o modelo Rigoroso (Tabelas 5.1 e 5.2). Foram utilizados os mesmos pontos e a mesma metodologia para diminuir a possibilidade de erros.

Tabela 5.1: Estatísticas aplicadas à ortoimagem criada a partir do modelo Rigoroso (TOUTIN, 2004)

Estatística	N	E
Valor Máximo	3,270	2,317
Valor Mínimo	-2,902	-1,555
Média	0,335	-0,044
Desvio Padrão	1,483	0,921
RMSE	0,150	0,020

Tabela 5.2: Estatísticas aplicadas à ortoimagem criada a partir do modelo RPC

Estatística	N	E
Valor Máximo	4,250	3,247
Valor Mínimo	-0,902	-0,555
Média	1,333	1,005
Desvio Padrão	2,483	1,921
RMSE	1,560	1,300

Pelas estatísticas aplicadas em ambos os modelos utilizados, confirmou-se a hipótese de que a ortoimagem gerada a partir do modelo Rigoroso, proposto por Toutin (2004), apresentou melhores resultados em relação à imagem gerada pelo modelo RPC.

Devido a isso, optou-se por utilizar a ortoimagem em que foi aplicado o modelo Rigoroso nos posteriores processamentos da pesquisa (Apêndice B). Foram então realizados os testes "t" Student, que analisaram a existência ou não de tendência para alguma das direções (E e N), e o qui-quadrado, que permitiu verificar em qual escala e qualidade planimétrica a imagem se enquadra.

Pelo teste "t" Student observou-se que a imagem não apresentou tendência em nenhuma das componentes N e E. Já a análise de exatidão demonstrou que as ortomagens geradas pelo modelo rigoroso possuem uma qualidade planimétrica compatível à escala de 1/4.000 com padrão de exatidão cartográfica Classe A e a uma escala de 1/3.500 com padrão de exatidão cartográfica Classe B (Tabela 5.3).

Tabela 5.3: Teste "t" Student (teste de tendência) e qui-quadrado (teste de exatidão) da ortoimagem gerada a partir do modelo Rigoroso.

Direção	N	E
$t_{amostral}$	-1,1295	0,2400
$t_{(24;0.05\%)}$	1,7109	1,7109
$\chi^2_{classe A \text{ com escala de } 1 \text{ 4500}}$	28,9644	11,1807
$\chi^2_{classe B \text{ com escala de } 1 \text{ 3000}}$	9,0563	23,4612
$\chi^2_{(24;10\%)}$	33,1962	33,1962

5 Conclusão

Ao comparar os modelos RPC e Rigoroso, utilizados no processo de ortorretificação das imagens do WorldView-2, comprovou-se que o uso do modelo Rigoroso, nessas imagens, alcançou melhores resultados em relação ao RPC. A coleta de pontos em campo e a utilização do Modelo Digital de Elevação foram essenciais para o processo de ortorretificação das imagens. Dessa forma, concluiu-se que a imagem não apresentou tendência em nenhuma das direções N e E, correspondendo à escala 1/3500 na classe B e 1/4000 na classe A, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

Referências bibliográficas

Cheng, P.; Toutin, T.; Zhang, Y.; Wood, M. QuickBird – Geometric Correction, Path and Block processing and data fusion. **EOM**, v. 12, n. 3, p. 24-30, 2003.

COSTA, R. F., MAGALHÃES, A. M. W. Avaliação de imagem IKONOS GEO ortorretificada para utilização do cadastro técnico municipal. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA**, 21., Belo Horizonte. Anais...Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

Digital Globe. WhitePaper – the benefits of the 8 spectral bands of WorldView-II. March, 2010a. Disponível em: http://Worldview2.digitalglobe.com/docs/Worldview-2_8-Band_Applications_Whitepaper.pdf . Acesso em: 30 de janeiro de 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).Recomendações para levantamento relativos estáticos - GPS. Rio de Janeiro, 2008.Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/> . Acesso em: 02 maio 2013.

Galo, M.; Camargo, P. O; O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. **In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO (COBRAC)**, 1., 1994, Florianópolis. Anais... Florianópolis – SC, 1994. Tomo II, p. 41-48.

Meneghetti, G. T. **Classificação da cobertura da terra do município de Raposa (MA) com imagens Worldview-2 utilizando o aplicativo InterIMAGE e mineração de dados.** 2013. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DSF9PP>. Acesso em: 18 de junho de 2013.

Novack, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor QuickBird.** 2009. 214 p. (INPE-16594-TDI/1580). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc_m18@80/2009/08.31.21.23>. Acesso em: 05 jan. 2013.

Padwick, C.; Deskevich, M.; Pacifici, F. Smallwood, S. Worldview-2 Pan Sharpening. In: ASPRS Annual Conference, 2010, San Diego. Proceedings... San Diego, Califórnia: ASPRS, 2010.

PCI Geomatics Inc. Geomatica Software Solutions. OrthoEngine: User guide. Canada, 2010.

SOUZA, U. D. V. **Classificação da cobertura e do uso do solo urbano de São Luís (MA), com imagens Worldview-2 utilizando Mineração de Dados e o sistema InterIMAGE.** 2012. 114 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.17.17.34-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CR8EL8>>. Acesso em: 15 de dez de 2012.

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, May 2004.