
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE UM PAR ESTEREOSCÓPICO DO SENSOR WORLDVIEW-2 PARA MAPEAMENTO TOPOGRÁFICO 3D

ADRIANA FONSECA FIGUEREDO¹
JORGE LUÍS NUNES E SILVA BRITO²

Agência Nacional do Petróleo¹
Banco de dados de Exploração e Produção
CPMBraxis Capgemini, prestadora de serviços, Rio de Janeiro, RJ
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ²
Faculdade de Engenharia - FEN
Departamento de Engenharia Cartográfica, Rio de Janeiro, RJ
adrianafff, {jsilvabr}@gmail.com

RESUMO - A utilização de imagens de alta resolução possibilitou novas aplicações e soluções sob o aspecto da produção cartográfica. Neste contexto o presente trabalho avalia a qualidade posicional das imagens sensoriadas em nível orbital do canal pancromático do sensor *WorldView-2*. A área compreendida pelas imagens abrange parte da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro. A área escolhida possui um relevo acidentado, apresentando diferenças de altitude de até 702 m, tornando a avaliação da ortorretificação mais fidedigna em função do deslocamento devido ao relevo. Para a feitura das ortoimagens utilizou-se um par estereoscópico, os coeficientes das funções polinomiais racionais e coordenadas (E, N, h) coletadas no terreno. Para a avaliação foram extraídos automaticamente o Modelo Digital de Superfície (MDS) e realizado o processo de ortorretificação. Os resultados obtidos demonstraram que a qualidade planimétrica das ortoimagens é compatível com a classe "A" do PEC em escala 1:5.000. Quanto ao MDS os testes da qualidade posicional indicaram adequação de um par estereoscópico *WorldView-2* pancromático para o mapeamento altimétrico com a possibilidade de gerar curvas de nível com equidistância de 5 metros compatíveis com a classe "A" em escala 1:10.000.

ABSTRACT - The use of high-resolution images has brought new applications and solutions from cartographic production. In this context the present study evaluates the positional quality of the images generated at orbital level from the *WorldView-2* sensor. The area covered by the images of the metropolitan area covers parts of the city of Rio de Janeiro. The area chosen has a rugged relief, with altitude differences ranging up to 702 m, thus requiring an accurate ortho-rectification, due to displacement due to relief. We have used a stereo pair, the coefficients of the Rational Functions Model and coordinates (E, N, h) collected on the ground for automatically generating a Digital Surface Model (DSM), and for generating an ortho-image. For the assessment of the positional quality we measured photogrammetrically a set of 16 ground control points. The results showed that, in accordance with the Brazilian Cartographic Quality Testing procedures, that the ortho-image is compatible with Class "A" PEC for the scale of 1:5.000. The DSM quality tests indicated that the height adjustment of a stereoscopic pair panchromatic of the *WorldView-2* sensor has the ability to generate contour lines with contour interval greater or equals to 5 m, thus being compatible with Class "A" countour maps in the scale of 1:10.000.

1 INTRODUÇÃO

A Digital Globe, empresa desenvolvedora de sistemas sensores comerciais em nível orbital, em sua constelação possui três grandes sistemas de satélites imageadores de alta resolução, *Quickbird*, *WorldView-1* e *WorldView-2*. Este último lançado em outubro de 2009 é um sistema com oito bandas espectrais além da pancromática.

O sensor *WorldView-2* foi lançado em outubro de 2009, entrando em plena operação em 5 de janeiro de 2010. O sistema utiliza a tecnologia Control Moment Gyros (CMGs), ou seja, giroscópio de controle de movimento, o que

fornece agilidade e rápido direcionamento para coleta de imagens em uma mesma passagem (DIGITAL GLOBE, 2010). Portanto esta plataforma orbital apresenta diversas aplicações para estudos científicos, análises ambientais, monitoramento, cadastro, planejamento de uso da terra, visualização em três dimensões, entre outras.

O satélite possui uma órbita heliossíncrona descendente com período de 100 minutos a uma altitude de 700 quilômetros. O tempo médio de revisita é 1,1 dias com faixa de 16,4 km na visada do nadir, sendo capaz de coletar 785.000 km² por dia. E ainda uma vida útil estimada em 7,25 anos.

O WV-2 é capaz de gerar imagens com resolução espacial média de 0,50 metro, pancromática e 2,0 metro, multiespectrais. O sensor é composto por oito bandas multiespectrais, azul, verde, vermelha, infravermelho próximo 1, infra-vermelho próximo 2, azul costal, amarela e vermelho escuro. A abundância na sensibilidade em distinguir os níveis de cinza das regiões do espectro eletromagnético deste sistema sensor e sua alta resolução geométrica poderá proporcionar diferentes estudos e pesquisas para comunidade científica.

Segundo Novo (2008) os sensores de alta resolução espacial (menor que 4 metros), possibilitam que feições com pequenas dimensões em um centro urbano sejam facilmente identificadas. Em contrapartida é necessário aplicar diversas técnicas fotogramétricas para que se obtenham produtos cartográficos confiáveis provenientes de imagens deste segmento espacial do Sensoriamento Remoto. Para o tratamento adequado dos dados é imprescindível possuir dados auxiliares a serem introduzidos no processo de correção geométrica das cenas brutas. Tanto os dados auxiliares quanto os metadados das imagens permitem minimizar os erros procedentes do posicionamento do satélite, dos movimentos da Terra, da curvatura da Terra, falhas e/ou limitações dos sistemas imageadores, entre outros. Em consequência esses efeitos alteram a posição do pixel devido à descontinuidade na aquisição de cada elemento, que por sua vez influenciam na qualidade radiométrica das imagens. Vale ressaltar que a minimização destes erros só será possível utilizando modelos matemáticos capazes de identificar e reduzir os efeitos relacionados tanto à geometria quanto à radiometria das imagens.

Os coeficientes polinomiais racionais, denominados RPC, obtidos pela transformação polinomial racional, são fornecidos junto com as imagens. Em softwares específicos, que possuam o algoritmo do modelo geométrico da imagem, o arquivo contendo esses coeficientes pode ser introduzido a fim de realizar operações fotogramétricas.

Com um modelo digital de superfície e os respectivos coeficientes a ortorretificação das imagens pode ser realizada. Ainda que não se tenha um MDS gerado previamente é possível ortorretificar as imagens utilizando pares estereoscópicos para sua extração automática. Neste caso deve-se utilizar uma estação fotogramétrica com equipamento e software adequados, que permitam a formação do modelo estereoscópico. O crescente desenvolvimento dos sistemas imageadores em face às novas possibilidades permite aos usuários novas aplicações. Segundo Silva (2005) a utilização de imagens sensoriadas em nível orbital eram restritas às escalas 1:50.000 e 1:100.000 e menores para aplicações cartográficas.

Os coeficientes das funções polinomiais racionais e pontos de controle coletados em campo quando utilizados no processo fotogramétrico para ortorretificação de imagens do sensor *WorldView-2* apresentam resultados satisfatórios. As ortoimagens apresentam qualidade planimétrica compatível com a classe "A" do PEC em escala 1:5.000. O MDS, extraído automaticamente a partir de um par estereoscópico, quando testado sua qualidade possibilita a geração de curvas de nível com equidistância de 5 metros compatíveis com a classe "A" em escala 1:10.000.

2 METODOLOGIA

Atualmente é imprescindível identificar sistemas sensores que possibilitem a extração de informações confiáveis para fins de mapeamento. A relevância deste trabalho mostra-se na avaliação das potencialidades do par estéreo *WorldView-2* para geração de Modelo Digital de Superfícies e de ortoimagens digitais e a possibilidade de se usar os produtos gerados no mapeamento topográfico 3D.

O *bundle adjustment* ou ajustamento de feixes por raios homólogos, teoria na qual está baseada toda a aerotriangulação analítica por feixes de raios homólogos, esta teoria é muito avançada e permite o tratamento adequado de todos os erros sistemáticos, a eliminação de erros grosseiros e a introdução de diversos tipos de injunções resultando em coordenadas de terreno ajustadas dos pontos fotogramétricos e de apoio de campo.

O ajustamento de feixes por raios homólogos processa as medições fotogramétricas das coordenadas (x, y, z) de todos os pontos medidos. Para isso, é necessário triangular pontos, efetuar a ressecção dos fotogramas e calibrar a câmara. O grande diferencial deste modelo é a capacidade de fazer todos estes processos simultaneamente. A aplicação da ressecção espacial em um fotograma consiste no cálculo dos parâmetros de orientação exterior da câmara, a partir das coordenadas de n pontos fotogramétricos (sendo $n > 3$), das coordenadas dos pontos correspondentes no espaço objeto, parâmetros da câmara e dos valores aproximados dos parâmetros (GEODETIC SYSTEMS). Feito todo o processo, é apresentado o seguinte resultado, como pode ser visto também na Figura 1, onde:

o Coordenadas XYZ e precisão estimada para cada ponto, na figura (X, Y, Z)_i.

- o As coordenadas XYZ e 3 ângulos de visada (e precisão estimadas) para cada foto, na figura (X, Y, Z).
- o Coordenadas bidimensionais do espaço imagem, na figura (x_{ij}, y_{ij})

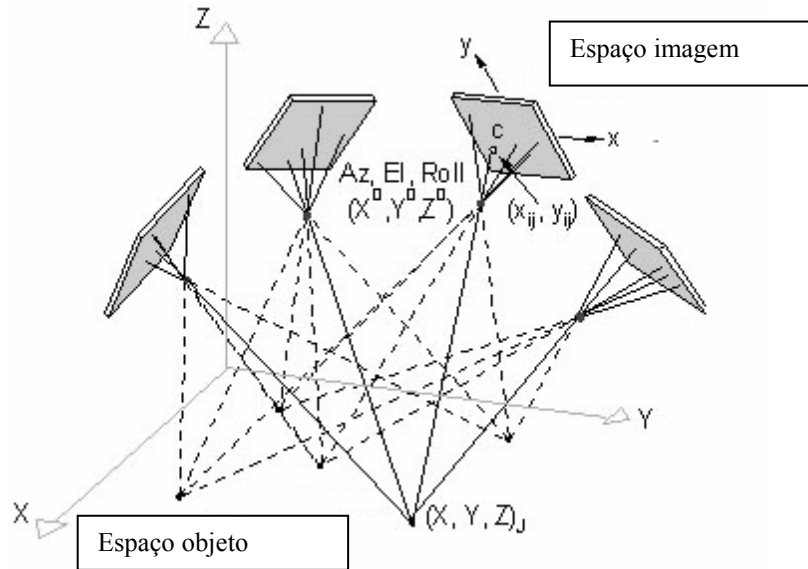


Figura 1 – Representação do Bundle Adjustment.
Fonte: Geodetic Systems

Para se obter produtos confiáveis oriundos de imagens de alta resolução deve-se utilizar modelos matemáticos precisos que envolvam os parâmetros da órbita e do sensor (modelo físico) no processo de correção geométrica. Faz-se necessário, então, utilizar um modelo geométrico que descreva a relação entre o espaço imagem e o espaço objeto. Relacionando coordenadas tridimensionais do terreno (espaço objeto) e coordenadas bidimensionais da imagem (espaço imagem).

O conjunto de equações que será capaz de relacionar ambos os espaços é denominado *Rational Functions Model* – RFM, ou seja, modelos das funções racionais, e é apresentado da seguinte forma (OGC, 1999 apud XU, 2004):

$$\text{Linha } (X_n, Y_n, Z_n) = \frac{P_1(X_n, Y_n, Z_n)}{P_2(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \quad (1)$$

$$\text{Coluna } (X_n, Y_n, Z_n) = \frac{P_3(X_n, Y_n, Z_n)}{P_4(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p c_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p d_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \quad (2)$$

Onde:

- o Linha (X_n, Y_n, Z_n) e Coluna (X_n, Y_n, Z_n) são as coordenadas normalizadas do espaço imagem;
- o X_n, Y_n e Z_n são as coordenadas normalizadas do espaço objeto;
- o a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk} e d_{ijk} são os coeficientes da transformação, chamados de RPCs (Coeficientes Polinomiais Racionais).

A área compreendida pela cena de estudo corresponde ao centro e parte da zona sul e zona norte da cidade do Rio de Janeiro e pequena parte da cidade de Niterói a oeste. As imagens compreendem uma área de aproximadamente 348 km², com características urbanas e grande variação de relevo, 0 a 702 m. Por se tratar de um trabalho de avaliação a região é uma boa candidata devido às suas características, que por sua vez causarão complexidade ao processo de ortorretificação.

A primeira etapa do trabalho consistiu em efetuar a transformação das coordenadas dos pontos de controle que estavam em coordenadas geográficas para o sistema de coordenadas UTM utilizando o ProGrid. O DATUM utilizado na feitura do trabalho SIRGAS 2000.

O processo fotogramétrico do par estereoscópico *WorldView-2* para medição dos pontos de controle e pontos fotogramétricos, extração automática e ortorretificação das imagens foi realizado na estação fotogramétrica LPS 2011. O modelo utilizado no processo de ortorretificação das imagens foi o modelo das funções racionais, e o modelo geométrico o *Worldview* RPC, já implementado na plataforma utilizada. Os coeficientes das funções polinomiais

racionais foram utilizados no processo fotogramétrico, foi feita a ortorretificação das imagens utilizando pontos de controle e sem a introdução destes, para a comparação entre os produtos gerados. A fim de investigar a potencialidade do par estereoscópico WV-2 foi calculado os erros planimétrico e altimétrico, e então se classificou os produtos gerados, ortoimagem e MDS, de acordo com o decreto N° 89.817 (BRASIL, 1984). Para a comparação da qualidade visual dos produtos gerados, as bases cartográficas digitais do Instituto Pereira Passos (IPP) do município do Rio de Janeiro foram superpostas sobre as imagens. As escalas das bases são 1:2000 e 1:10000.

Para a ortorretificação das imagens foram utilizados 25 pontos de controle coletados em campo com equipamento GPS (Global Positioning System) e respectivo relatório de campo. Estes pontos foram identificados e medidos fotogrametricamente na plataforma LPS 2011, a Fig. 2 ilustra a distribuição dos 25 pontos de apoio utilizados. Durante a realização do presente trabalho não foi encontrado estudos relacionados que definissem a quantidade necessária de pontos de controle para a feitura da ortorretificação.

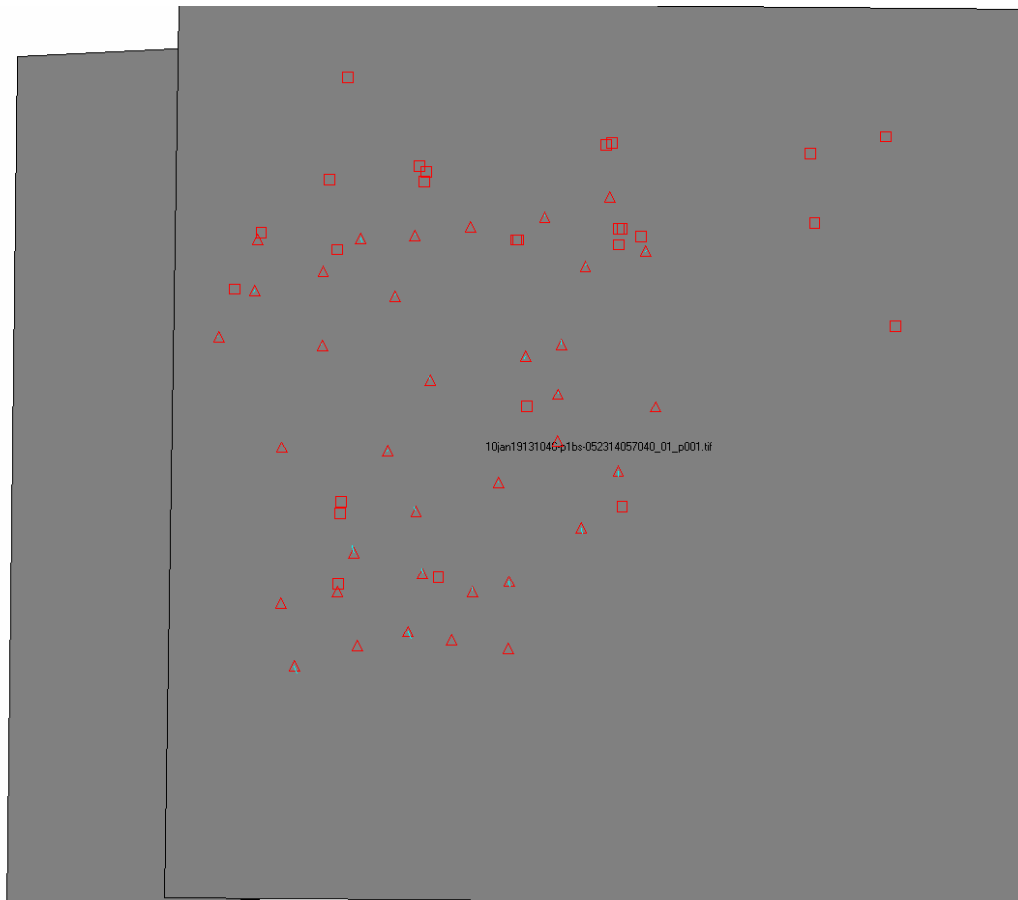


Figura 2 – Distribuição dos pontos fotogramétricos utilizados.

A conversão dos arquivos da base cartográfica da extensão dxf para dgn foi feita no AutoCad Map 3D 2012, versão para estudante disponibilizado pela Autodesk. Foi necessário ainda para a comparação visual das ortoimagens resultantes fazer a conversão dos arquivos dgn para o tipo shapefile, e ainda a transformação de DATUM entre SAD-69 e SIRGAS 2000, esses processos foram realizados no ArcGis 9.3.

Uma vez realizada a medição dos pontos de apoio de campo no par estereoscópico, procedeu-se a execução da triangulação. Após o ajustamento do bloco fotogramétrico o RMSE apresentado foi abaixo de 1 pixel. A etapa seguinte foi gerar automaticamente os tie points. Concluída as fototriangulação foi extraído o Modelo Digital de Superfície automaticamente e a geração da ortoimagem. Para efeito de comparação foi extraído o MDS e gerado ortoimagem utilizando apenas os arquivos RPC, sem a medição dos pontos fotogramétricos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise dos resultados foi realizada uma análise estatística, eliminando erros grosseiros e por fim feito a análise de precisão. Nesta etapa do trabalho foi calculado o erro padrão e o desvio padrão referentes às coordenadas (E,

N, h) obtidas em campo e as coordenadas calculadas pelo LPS. Esses processos foram seguidos a fim de efetuar a avaliação e classificação das ortoimagens e o MDS gerados e quanto à escala a ser utilizada. Após a identificação e eliminação dos erros grosseiros foi calculada a escala a qual se adequa melhor as ortoimagens resultantes. Para tanto foi considerado os 16 pontos resultantes e seguido os critérios de classificação quanto à sua exatidão descritos na seção 2 do Decreto N° 89 817 (BRASIL, 1984). Os valores correspondentes são referidos à escala da carta, as classes A, B e C estão descritos na tabela 1.

Tabela 1– Critérios para classificação das classes

Classe	PEC Planimétrico	Erro Padrão
A	< 0,5 mm	< 0,3 mm
B	< 0,8 mm	< 0,5 mm
C	< 1,00 mm	< 0,6 mm

Pelo desvio padrão do erro planimétrico dos 16 pontos usados para a avaliação poder-se-ia concluir que o produto gerado viria a atender ao PEC planimétrico classe “A” para escala 1:2.000 e menores. Contudo considerando o PEC planimétrico para a classe “A” em escala 1:2.000, ou seja, 0,5 mm multiplicado por 2000, que tem como resultado 1,0 m, verificou-se que dos 16 pontos testados apenas 8 (50%) apresentaram erro planimétrico inferior ao PEC considerado. Logo, julgou-se necessário verificar o PEC classe “A” para escala 1:5.000, sendo 0,5 mm multiplicado pelo denominador da escala, resulta em 2,5 m, tendo-se concluído que os 16 pontos testados atendem a esse limite.

Quanto à exatidão da altimetria foi calculado erro padrão e comparado com o critério de classificação da norma que diz que: o PEC altimétrico para a classe “A” é de metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço desta equidistância o erro-padrão correspondente. O erro padrão altimétrico encontrado foi de 1,095 m. Então, temos que a equidistância das curvas de nível a serem geradas a partir do MDS extraído deve ser maior ou igual a 3,29 m. Se for considerado o PEC altimétrico classe A para escala 1:10.000, cuja equidistância das curvas de nível é de 5 m, pode-se observar que o MDS possui precisão compatível com essa escala.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, apesar não conclusivos, indicam claramente a possibilidade de se utilizar MDS e ortoimagens gerados de modo semi-automático a partir de pares estereoscópico do sensor pancromático para a produção cartográfica e escalas em escalas 1:10.000 e 1:5.000, respectivamente.

Portanto a elaboração do presente trabalho identificou que as imagens do sensor *WorldView-2* quando ortorretificadas, utilizando os coeficientes polinomiais racionais e pontos de controle, permitem obter um produto final em escala 1:5.000 e menores de acordo com o PEC classe “A”.

Quanto ao MDE os testes da qualidade posicional indicaram adequação de um par estereoscópico *WorldView-2* pancromático para o mapeamento altimétrico classe “A” em escala 1:10.000.

As imagens ortorretificadas do sensor *WorldView-2* apresentam diversas aplicações, como o monitoramento de grandes áreas, tanto urbanas quanto rurais, utilizadas como parte constituinte da base cartográfica em ambientes SIG. E ainda podem ser potencialmente usadas para a atualização do mapeamento sistemático.

AGRADECIMENTOS

Às empresas Novaterra e Digital Globe pela cessão dos dados utilizados para a realização deste trabalho. Ao laboratório de fotogrametria da UERJ pela disponibilidade dos softwares.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 24 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

DIGITAL GLOBE. **White Paper The Benefits of the 8 Spectral Bands of WorldView-2**. March, 2010. Disponível em: <http://worldview2.digitalglobe.com/docs/WorldView-2_8_Band_Applications_Whitepaper.pdf> Acesso: 24 outubro 2010.

NOVO, EVLYN. M. L. DE MORAES. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**, p 59, 2008.

SILVA, WAGNER BARRETO; **Avaliação da geometria de imagens Ikonos ortorretificadas através das transformações polinomiais racionais.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia; Rio de Janeiro, 2005.

XU, Zhizhong Jeff. 2004. **The Rational Function Model (RFM) in Photogrammetric Mapping: Method and Accuracy.** Dissertação de Mestrado do Department of Earth and Space Science & Engineering da York University; North York, Ontario, Canadá 2004. Disponível em: <<http://geoict.yorku.ca/test-page/papers/past-researchers-papers/Final-report-Jeff.pdf>>. Acesso: 12 janeiro 2011.