

[Digite aqui]

ELABORAÇÃO E TESTE DA QUALIDADE POSICIONAL DE UMA CARTA ORTOIMAGEM CADASTRAL A PARTIR DE IMAGENS WORLDVIEW-3

Production and Positional Quality Testing of a Cadastral Orthoimage Map from WorldView-3 Imagery

Jorge Luís Nunes e Silva Brito

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Departamento de Engenharia Cartográfica, E-mail: jsilvabr@eng.uerj.br

Luiz Henrique de Carvalho Freires

Núcleo Universitário de Estudos, Pesquisas e Consultoria (NUPEC)

E-mail: luizfreires@gmail.com

Roberto Penido Duque Estrada

Instituto Mapear

E-mail: robertopde@gmail.com

João Paulo Lopes da Cunha

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Museu Nacional, PPG Arqueologia – Povoamento do Território brasileiro, E-mail: jpldacunha@gmail.com

Fernando Lopes Freitas

Instituto Mapear

E-mail: fernandolf1972@gmail.com

Luiz Carlos Teixeira Coelho Filho

Instituto Pereira Passos – IPP

Programa de Engenharia Urbana (PEU), E-mail: luizcoelho@luizcoelho.com

Wilton Pereira Galvão

Instituto Mapear

E-mail: wiltonpg@gmail.com

Adhemar Luiz de Carvalho Lima

Instituto Mapear

E-mail: adlima@uol.com.br

RESUMO

Este trabalho piloto tem por objetivo avaliar o potencial de utilização de um par estereoscópico de imagens sensoriadas pelo sistema WorldView-3 (WV-3) para o mapeamento em escala cadastral, aí entendidas as escalas entre 1:1.000 e 1:10.000. Para a realização dos experimentos, foi gerada automaticamente uma ortoimagem a partir de uma das cenas do WV-3 que compõem o par

[Digite aqui]

estereoscópico. A área recoberta no terreno equivale a um quadrado de lado igual a 5km, cujo recorte geográfico equivale, aproximadamente, a um conjunto de 25 folhas de carta cadastral em escala 1:2.000. Um levantamento geodésico de um conjunto de 21 pontos de teste foi executado para a realização da análise de qualidade posicional da ortoimagem. Os testes da qualidade posicional revelaram que a ortoimagem produzida a partir de um MDE com 30m de espaçamento de grade regular atende ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Planimétrico Classe “A” para a escala 1:2.000. Quanto à classificação segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) planimétrico, mais rigoroso do que o PEC, e considerado uma extensão deste, obteve-se a Classe “B” em escala 1:2.000 e a Classe “A” em escala 1:5.000.

Palavras-chave: WorldView3. Mapeamento Fotogramétrico. Ortoimagem Cadastral. Teste da Qualidade. PEC.

ABSTRACT

This pilot work aims to evaluate the potential of using WorldView-3 (WV-3) imagery for producing an orthoimage map at a cadastral scale, ranging between 1:1,000 to 1:10,000 scales. An orthoimage was automatically generated from one of the scenes of a stereoscopic pair of the WV-3 images. The area covered on the ground is equivalent to a square of side equal to 5 km, whose geographical cutout is approximately equivalent to a set of 25 orthoimage cadastral map at scale of 1: 2,000. A geodetic survey of a set of 21 testing points was performed to carry out the positional quality analysis of the orthoimage. The results of the testing procedures have revealed that the orthoimage produced meets the Class “A” Planimetric Cartographic Accuracy Standard (PEC) for the 1: 2,000 scale. The classification of the orthoimage according to the Planimetric Standard of Cartographic Accuracy for Digital Cartographic Products (PEC-PCD), more rigorous than the PEC, led the orthoimage to class “B” at the scale 1: 2,000 and class “A” at the 1: 5,000 scale.

Keywords: WorldView3. Photogrammetric Mapping. Cadastral Orthoimage. Quality Testing. PEC.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do Problema

A elaboração de uma base cartográfica confiável, em escala cadastral, é um requisito essencial para o desenvolvimento de Sistemas Municipais de Informações Georreferenciadas (SMIG). Dentre as tecnologias tradicionalmente empregadas para a aquisição de dados geoespaciais citam-se os aerolevantamentos realizados por aeronaves tripuladas, dotadas de sensores imageadores fotogramétricos, que, juntamente com a utilização de levantamentos geodésicos, possibilitam a elaboração de bases cartográficas em escalas cadastrais entre 1:1.000 a 1:10.000. Tradicionalmente os serviços de mapeamento fotogramétrico por aerolevantamento têm sido a solução técnica mais utilizada. Contudo o custo da contratação de tais serviços pode inviabilizá-los, em função dos recursos públicos disponíveis, principalmente em nível municipal.

A evolução tecnológica tem registrado importantes avanços nos sistemas de mapeamento por técnicas fotogramétricas. Nesse contexto, destaca-se a verdadeira “explosão” de sistemas de imageamento por intermédio de aeronaves remotamente pilotadas (RPA), popularmente denominadas de “Drones”. Tais sistemas se mostram como uma vertente bastante promissora, em termos da oferta de sistemas de mapeamento de baixo custo operacional, num primeiro momento.

[Digite aqui]

Contudo esse tipo de solução tecnológica possui limitações, principalmente em função das dimensões geográficas da região a ser mapeada, além das reduzidas dimensões dos sensores instalados a bordo de Drones, fato que implica na necessidade do processamento e união de uma quantidade muito grande de imagens (centenas ou mesmo milhares, dependendo da extensão geográfica da área de interesse, de modo a elaborar o mosaico de imagens), fato que, em muitos casos, poderá inviabilizar técnica e economicamente a utilização deste tipo de tecnologia.

Atuando de forma alternativa às aeronaves remotamente pilotadas, encontram-se os sistemas de imageamento óptico em nível orbital de resolução espacial submétrica. Como exemplo de sistemas sensores imageadores ópticos em nível orbital, tem-se os sensores da série *WorldView*, dos quais está em operação o *WorldView-3 (WV-3)*, que fornece valores nominais para os Elementos de Resolução no Terreno (ERT), respectivamente iguais a 31cm, no canal pancromático, e a 1,24m no caso dos 8 canais do sensor multiespectral (SIB, 2020). Nesse ponto, a questão que se levanta é: - Será factível utilizar a capacidade estereoscópica e as resoluções geométrica e radiométrica das imagens do sistema sensor *WV-3* para a produção de documentos cartográficos em escala cadastral?

1.2. Objetivos

A busca da resposta à pergunta acima formulada é o fio condutor deste trabalho piloto, desenvolvido a título de prova de conceito. Assim sendo, o objetivo geral deste estudo é avaliar o potencial de utilização de um par estereoscópico de imagens sensorizadas pelo sistema *WV-3* para o mapeamento em escala cadastral, aí entendidas as escalas entre 1:1.000 a 1:10.000.

Como objetivos específicos deste trabalho, listam-se os seguintes: (i) gerar automaticamente uma ortoimagem a partir das cenas do *WV-3* que compõem um par estereoscópico e avaliar a respectiva qualidade posicional da ortoimagem gerada, a partir de um conjunto de pontos de teste e; (ii) classificar a carta ortoimagem editada a partir da ortoimagem gerada, quanto à exatidão cartográfica planimétrica, à luz das normas técnicas estabelecidas para o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) planimétrico (BRASIL, 1984) e para o Padrão de Exatidão Cartográfica planimétrico para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). DSG (2011, apud DSG 2016).

2. RECURSOS UTILIZADOS

Os recursos materiais utilizados para a realização deste trabalho foram os seguintes: (i) amostras de imagens estereoscópicas sensorizadas pelo sistema *WV-3*, cedidas gratuitamente pela *Space Imaging do Brasil (SIB)*, contendo as bandas dos sensores pancromático e multiespectral, datadas de 22 de janeiro de 2019, compreendendo uma região geográfica com área aproximada de 25km², de formato quadrado, localizada à sudoeste da cidade de Brasília, Distrito Federal, conforme ilustra a Figura 1; (ii) arquivos contendo parâmetros e metadados de cada cena, tais como a calibração do sensor, as efemérides, os coeficientes RPC, dentre outros; (iii) um par de rastreadores geodésicos Promark 500 L1/L2; (iv) licença de software para pós-processamento de dados GNSS (*GNSS Solutions v3*); (v) monografias referentes ao levantamento geodésico dos pontos de apoio de campo; (vi) licença de teste do software *ERDAS Photogrammetry 2020* e; (vii) bases de dados vetoriais em escala 1: 1.000, produzidas a partir de levantamento aerofotogramétrico realizado em 2016, pela empresa TERRACAP e publicadas pelo Governo do Distrito Federal (GDF) no portal <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/#>. Acesso em 16 de março de 2020.

[Digite aqui]

3. METODOLOGIA

3.1. Levantamento Geodésico dos Pontos de Campo

O levantamento geodésico dos pontos de campo foi executado para o suporte ao mapeamento fotogramétrico e, principalmente, para a avaliação da qualidade posicional planimétrica da ortoimagem obtida. Foram levantados 25 pontos de apoio de campo por rastreamento de satélites do Sistema Global de Posicionamento (GNSS), para o qual foi utilizado um par de receptores geodésicos Promark 500 L1/L2. Os dados coletados em campo foram pós-processados em gabinete por intermédio dos *softwares* GNSS *Solutions* e *MAPGEO 2015*, sendo este último utilizado para o cálculo do desnível geoidal. Para o desenvolvimento deste trabalho foi empregado o sistema geodésico SIRGAS2000, cuja justificativa se dá pelo fato de ser este o Sistema Geodésico Brasileiro.

Os resultados do relatório técnico desenvolvido por CUNHA (2020) indicaram uma acurácia dos resultados compatíveis com as prescrições técnicas para o suporte geodésico à escala cadastral em 1:1.000, sendo, portanto, adequados ao desenvolvimento do trabalho ora em tela. As monografias individuais dos pontos levantados contêm as coordenadas ajustadas resultantes do pós-processamento do posicionamento relativo e seus respectivos desvios-padrão, além dos demais metadados, tais como a altura e tipo de antena do rastreador e o registro fotográfico de cada ponto ocupado, de modo a evitar erros de identificação na etapa do processamento fotogramétrico.

Do total de pontos levantados em campo, somente três foram utilizados como pontos de apoio para o processamento fotogramétrico. Um dos pontos levantados foi descartado por problemas e identificação nas imagens e os 21 pontos restantes foram empregados para a avaliação da qualidade posicional planimétrica da ortoimagem gerada. A localização aproximada dos pontos de apoio é mostrada na Figura 1. Nela são também mostrados os limites das cenas que compõem o par estereoscópico e a localização aproximada dos pontos de apoio de campo para o processamento fotogramétrico e de teste da qualidade posicional da carta ortoimagem.

3.2. Processamento Fotogramétrico

O processamento fotogramétrico do par estereoscópico das imagens do sensor WV-3 foi realizado por intermédio do *software* proprietário denominado “*ERDAS IMAGINE Photogrammetry*”, conhecido como *LPS (Leica Photogrammetry Suite)* até o fim de 2013, atualmente integrado ao sistema *ERDAS IMAGINE 2020 (EI2020)* de propriedade da *HEXAGON GEOSPATIAL*. Trata-se de *software* proprietário para a extração de informações, operações fotogramétricas e criação de dados geospaciais que engloba os produtos derivados de sensores orbitais, câmaras aéreas (filme ou digital) e câmaras terrestres. A Figura 1 ilustra a localização aproximada da região de trabalho, limites das cenas do par estereoscópico das imagens WorldView-3 e distribuição espacial dos pontos de apoio para o processamento fotogramétrico e de teste da qualidade posicional da carta ortoimagem.

[Digite aqui]

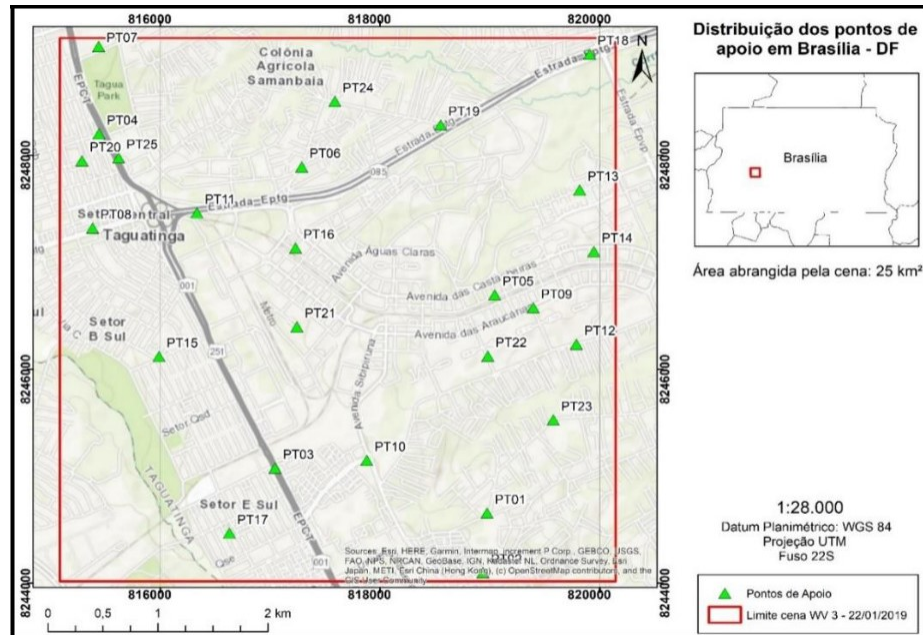


Figura 1: Localização da região de trabalho e distribuição espacial dos pontos de apoio.

Fonte: Os Autores

Para a execução deste trabalho utilizou-se uma licença temporária de 30 dias da versão mais recente do EI2020, gentilmente cedida pelo representante comercial brasileiro da Hexagon Geospatial. O fluxo de trabalho no ambiente *ERDAS IMAGINE Photogrammetry* consistiu das seguintes etapas: (i) pré-processamento das imagens (fusão *ou pansharpening*); (ii) criação do projeto fotogramétrico; (iii) inserção das imagens no projeto fotogramétrico e montagem das respectivas pirâmides; (iv) inserção dos pontos de apoio de campo para o processamento fotogramétrico (*ground control points*) e dos pontos de teste da qualidade (*checking points*) no projeto fotogramétrico; (v) definição do modelo geométrico do bloco e inserção dos coeficientes polinomiais do modelo RPC; (vi) medição automática de pontos fotogramétricos; (vii) medição fotogramétrica manual dos pontos de apoio de campo; (viii) fototriangulação do bloco de imagens; (ix) extração automática do Modelo Digital de Elevações (MDE); (x) geração automática da ortoimagem e; (x) avaliação da qualidade posicional da Ortoimagem.

3.3. Avaliação da Qualidade Posicional das Ortoimagens

A avaliação da exatidão posicional das ortoimagens geradas baseou-se no cálculo do erro planimétrico (E_{plani}), para cada ponto de teste, o qual foi obtido a partir do cálculo das diferenças “DifE” e “DifN” entre as respectivas coordenadas UTM dos pontos de teste medidas em campo (E_{campo} , N_{campo}) e a média de três leituras dessas coordenadas na respectiva ortoimagem (E_{orto} , N_{orto}), conforme a equação (1) a seguir:

$$E_{plani} = [(DifE)^2 + (DifN)^2]^{1/2} \quad (1)$$

Os resultados do cálculo dos respectivos erros planimétricos foram avaliados à luz das normas técnicas contidas nos seguintes documentos: (i) Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984), que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Este documento estabelece os Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC), tanto para a planimetria, quanto para a altimetria, para a escala de mapeamento desejada. Assim sendo, um documento

[Digite aqui]

cartográfico deve conter, por força deste Decreto, a classificação correspondente à respectiva exatidão cartográfica, traduzida pela colocação da respectiva classe (“A”, “B” ou “C”) para a escala de impressão considerada, após a execução dos respectivos testes de exatidão e; (ii) Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG), (DSG, 2016), que estabelece os Padrões de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) planimétrico e altimétrico que, embora não tenham força de Lei, são considerados uma extensão das especificações contidas no Decreto, de modo a adaptá-las à cartografia apoiada por computador e aos respectivos produtos cartográficos digitais. O Erro Padrão (EP) foi calculado dentro dos parâmetros estabelecidos pela ET-CQDG.

Ressalta-se também a realização de uma análise estatística preliminar, para detecção e eliminação de eventuais erros grosseiros nos conjuntos de observações, a fim de evitar a “contaminação” das amostras de teste. Para tal foram construídos os respectivos intervalos em nível de confiança de 99,73% em torno da média amostral das observações, ou seja: média amostral \pm 3.0 vezes o desvio-padrão amostral para os respectivos limite inferior (L.I.) e superior (L.S.) do intervalo de confiança (BESSEGATO, 2014).

4. EXPERIMENTOS REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS

4.1. Fusão das imagens multiespectrais com as imagens pancromáticas

Como etapa preliminar do processamento fotogramétrico realizado neste trabalho foi executada a fusão das bandas multiespectrais (1,24m de resolução espacial) e pancromática (31cm de resolução espacial) de cada cena WV-3. Para a execução desta operação foi utilizado o algoritmo denominado *Subtractive Resolution Merge (SRM)*. HEXAGON GEOSPATIAL (2013a). Este algoritmo está disponível dentre as funcionalidades do EI2020, tendo sido o que apresentou melhor desempenho, do ponto de vista da qualidade visual as imagens resultantes, justificando, portanto, a utilização deste método para a geração das duas cenas multiespectrais fusionadas WV-3. A Figura 2 apresenta uma amostra do resultado do processo de fusionamento.

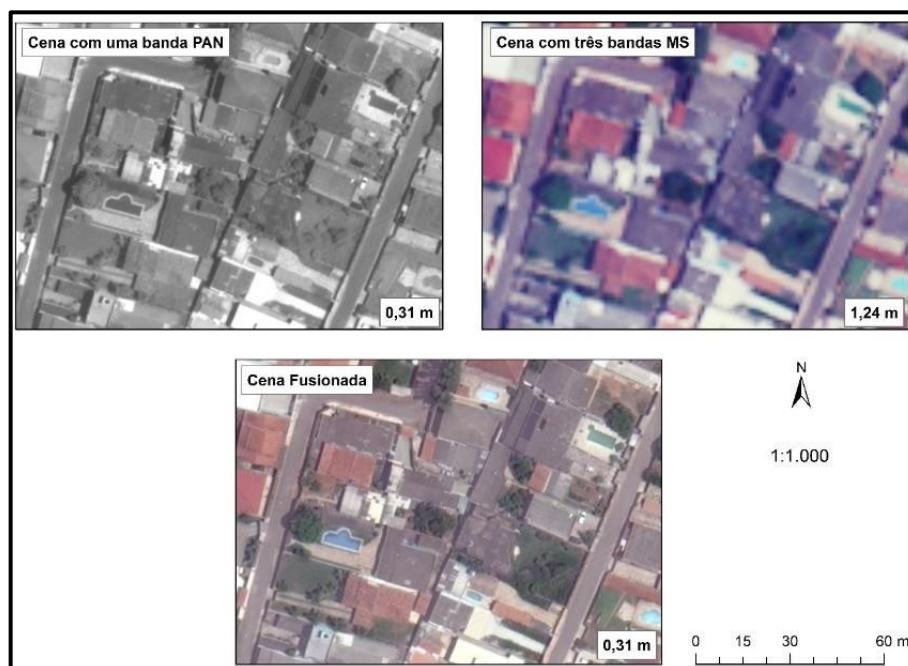


Figura 2: Ilustração do processo de fusão das imagens multiespectrais com a imagem pancromática.
Fonte: Os autores

[Digite aqui]

4.2. Processamento fotogramétrico

4.2.1. Definição do Modelo Geométrico

Como modelo geométrico do projeto para o processamento fotogramétrico das cenas orbitais, foi utilizado o modelo *Orbital Pushbroom*. HEXAGON GEOSPATIAL (2013b). Foram também inseridos os coeficientes RPC para a construção do modelo geométrico. Posteriormente refinou-se a geometria do bloco, por intermédio da medição automática de um conjunto de pontos fotogramétricos (*tie points*), além da medição manual de três pontos de apoio de campo localizados nas extremidades do bloco. Justifica-se a estratégia de se utilizar apenas três pontos de apoio de campo para refinamento do modelo Orbital para que não houvesse prejuízo à quantidade de pontos de teste, já que o total de pontos medidos em campo foi de 25. Neste trabalho, o bloco fototriangulado foi formado por um único par estereoscópico, com mais de 95% de sobreposição das imagens ao longo da órbita do satélite WV-3.

4.2.2. Fototriangulação

A próxima etapa consistiu na realização do cálculo e ajustamento da fototriangulação, tendo-se obtido como resultado para o Erro Médio Quadrático dos Resíduos (RMSE) um valor igual a 0,104 pixel, no espaço imagem. Este valor corresponde, em unidades métricas, à aproximadamente 3cm, o que, por si só demonstra a rigidez da geometria do par estereoscópico.

4.2.3. Extração Automática do Modelo Digital de Elevações (MDE)

A extração automática dos MDE foi realizada neste trabalho por intermédio das funcionalidades disponíveis no módulo de fotogrametria do EI2020. Esta operação foi necessária para gerar o dado de entrada para a geração automática da ortoimagem. Inicialmente foram extraídos MDE em formato de grade regular, com células quadradas, que variaram de 3m a 30m de lado. Este procedimento foi realizado tanto no par estereoscópico de imagens pancromáticas (PAN), quanto no par de imagens multiespectrais fusionadas (PSH), a fim de determinar o MDE mais adequado para a geração automática da ortoimagem. Após testar-se a acurácia dos MDE extraídos automaticamente, optou-se pela utilização do MDE obtido a partir do par de imagens multiespectrais fusionadas, com espaçamento de grade de 30m, cuja classificação quanto à exatidão altimétrica, tanto pelo PEC quanto pelo PEC-PCD, de mesmos parâmetros para a altimetria, resultou na Classe “A” em escala 1:25.000 e na Classe “B” em escala 1:10.000. Este MDE foi o que possibilitou a obtenção de melhores resultados, em termos da qualidade visual da ortoimagem gerada, sem lhe comprometer a acurácia posicional.

4.2.4. Geração automática da ortoimagem

O interesse deste trabalho para a produção cartográfica de ortoimagens e cartas ortoimagem se justifica em função do baixo custo operacional e da rápida produção destes tipos de documentos cartográficos, se comparados aos demais produtos. O processo de ortorretificação consiste na correção geométrica de uma imagem devido às diversas distorções nela presentes, as quais se dão principalmente em função da perspectiva cônica ou central da formação de sua imagem fotográfica de base, isto é, a imagem que lhe dará origem. Neste trabalho foi gerada uma ortoimagem multiespectral com 8 bandas, com ERT igual a 31cm, a partir da fusão das

[Digite aqui]

imagens multiespectrais com a banda pancromática (PSH) e do MDE automaticamente extraído, com grade regular de 30m de lado, a partir do par estereoscópico formado por estas imagens. Justifica-se esta decisão em face da acurácia posicional da ortoimagem obtida (a ser apresentada na próxima seção), além do fato de que imagens com várias opções de composição colorida em muito facilitam a interpretação visual e extração das feições cartográficas.

4.3. Avaliação da qualidade posicional da ortoimagem

4.3.1. Seleção da imagem a ser ortorretificada

Testes preliminares realizados para avaliar a exatidão das observações estereoscópicas, tanto com os pares de imagens PAN quanto com o par PSH, revelaram que a qualidade dos resultados foi a mesma. Tal constatação permitiu a seleção do par estereoscópico de imagens PSH, não só pelo fato de se ter obtido a mesma qualidade das observações, mas, sobretudo, devido ao fato de que as imagens multiespectrais permitem a geração de composição colorida em cores verdadeiras, fato que em muito facilita a aquisição das feições, tanto sobre a ortoimagem gerada, quanto a partir das medições estereoscópicas feitas a partir desse par de imagens.

Uma vez selecionado o par de imagens PSH, restava decidir sobre a escolha de uma das imagens desse par estereoscópico a ser utilizada com imagem base para a ortorretificação. Para tal optou-se pela seleção da imagem que estivesse situada mais próxima à visada nadiral do sensor, ao longo de sua órbita, fato que minimiza as distorções ou deslocamentos devidos ao relevo presentes na imagem. Para a geração automática da ortoimagem utilizou-se um elemento de resolução no terreno (ERT) de 30cm x 30cm, o que corresponde aproximadamente à projeção no terreno de um pixel nas imagens multiespectrais fusionadas.

4.3.2. Classificação da ortoimagem quanto ao PEC

Para a classificação da ortoimagem segundo os critérios estabelecidos no Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico (BRASIL, 1984) foi necessário o cálculo dos erros planimétricos da ortoimagem automaticamente gerada. Para tal foram realizadas 3 observações de coordenadas planimétricas (E, N) para cada um dos 21 pontos de teste. Em seguida utilizou-se a média de cada uma das três observações das coordenadas planimétricas UTM observadas na ortoimagem (operação também realizada no EI2020) e comparou-se os respectivos valores dos pontos de teste da qualidade medidos em campo, para o cálculo dos respectivos erros planimétricos, segundo a equação (1). A Tabela 1 apresenta os resultados das medições e a respectiva classificação quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico.

Tabela 1: Classificação segundo o PEC planimétrico da ortoimagem para escalas cadastrais.

Pt ID	Dif E (m)	Dif N (m)	Erro Plan (m)	1: 1 000	1: 2 000	1: 5 000	1: 10 000
				Classe A	Classe A	Classe A	Classe A
				PEC = 0,50 m EP = 0,30m	PEC = 1,00 m EP = 0,60m	PEC = 2,50 m EP = 1,50m	PEC = 5,00 m EP = 3,00m
1	0,1670	-0,1117	0,2009	Aceito	Aceito	Aceito	Aceito
3	0,6683	-0,2520	0,7143	Rejeitado	Aceito	Aceito	Aceito
				...			
24	0,0063	-0,5043	0,5044	Rejeitado	Aceito	Aceito	Aceito
25	0,1867	-0,0553	0,1947	Aceito	Aceito	Aceito	Aceito
∑	4,13	-3,82	-----	48%	100%	100%	100%

[Digite aqui]

A Tabela 1 permite concluir que a média e o desvio-padrão dos erros planimétricos calculados foram respectivamente iguais a 0,48m e 0,24m. Com base no intervalo de confiança construído não foram detectados erros grosseiros nos erros planimétricos calculados a partir das leituras de coordenadas (E,N) realizadas nos 21 pontos de teste na ortoimagem. Particularmente quanto ao critério estabelecido no PEC planimétrico, conclui-se que somente 48% dos pontos amostrais apresentaram erro inferior ao PEC planimétrico correspondente à Classe “A” para a escala 1:1.000. Já para as escalas 1:2.000 e maiores, concluiu-se que 100% dos 21 pontos de teste apresentaram erro inferior ao PEC planimétrico correspondente à Classe “A”.

Esse resultado permite inferir que a exatidão esperada de feições cartográficas planimétricas obtidas a partir da aquisição vetorial 2D sobre a ortoimagem ora em tela é compatível com a classe “A” para a escala cartográfica de 1:2.000. Para a escala 1:1.000, contudo, a ortoimagem somente atinge a classificação na Classe “B” (PEC igual a 0,80m e EP igual a 0,50m).

4.3.3. Classificação da ortoimagem quanto ao PEC-PCD

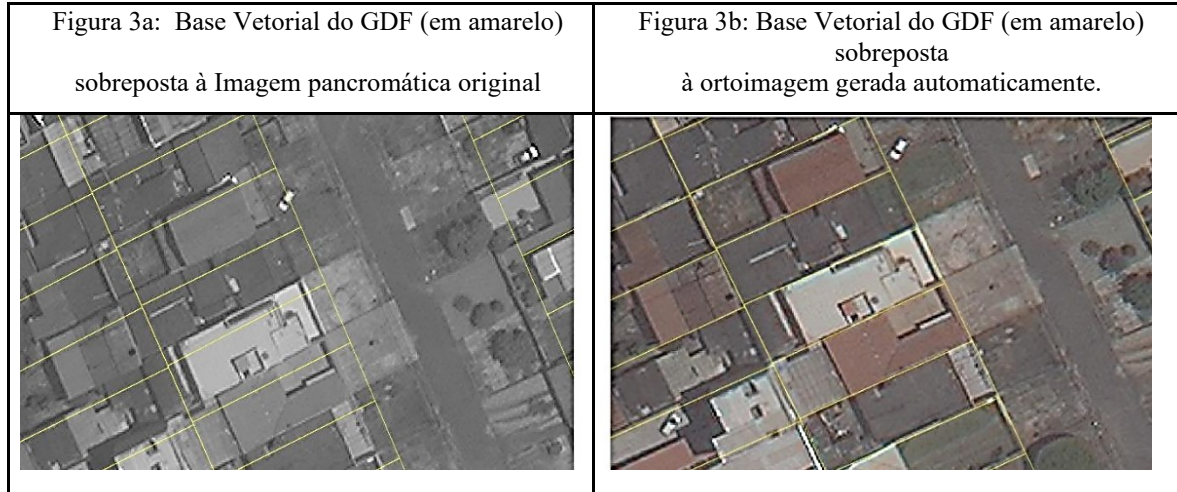
Para a classificação da ortoimagem gerada segundo o PEC-PCD foram utilizadas as mesmas observações e estatísticas amostrais já apresentados na Tabela 1. Para o julgamento dos erros planimétricos da ortoimagem à luz do PEC-PCD, tem-se para a classe “A” na escala de 1:2.000 o PEC-PCD igual a 0,56m e o EP igual a 0,34m. Trata-se, portanto, de valor bem menor (56%) do que o valor de 1,0m anteriormente considerado para o PEC classe “A” nessa mesma escala. Nessa situação conclui-se que apenas 14 dos 21 pontos amostrais (66%) apresentaram erro inferior ao PEC-PCD planimétrico correspondente à Classe “A” para a escala 1:2.000. Esse resultado permite inferir que a exatidão esperada de feições cartográficas planimétricas obtidas a partir das medições sobre a ortoimagem é compatível com a Classe “A” do PEC-PCD da escala cartográfica de 1:5.000, na qual, o PEC-PCD é igual a 1,40m e o EP igual a 0,85m, uma vez que 100% dos pontos de teste apresentaram erro inferior a 1,40m, nessa escala. Contudo, caso seja considerada a Classe “B” do PEC-PCD planimétrico para a escala 1:2.000, que corresponde à Classe “A” do PEC para a mesma escala, concluir-se-á que as medições sobre a ortoimagem ora em tela são compatíveis com essa classificação, pois 100% dos pontos testados apresentaram erros planimétricos menores do que o PEC-PCD planimétrico da Classe “B” para a escala 1:2.000.

4.3.4. Avaliação adicional por intermédio da sobreposição de bases vetoriais

A avaliação da qualidade posicional de documentos cartográficos produzidos em nosso país, de um modo geral é orientada a feições punctiformes. Contudo, julgou-se relevante incluir uma avaliação adicional neste trabalho: a sobreposição de uma base cartográfica vetorial mais acurada (escala 1:1.000) do que a ortoimagem produzida, sobre esta, a fim de se avaliar, visualmente, a coerência entre os resultados obtidos no presente trabalho e um conjunto de bases de dados geoespaciais vetoriais produzidas de forma completamente independente do processo de produção cartográfica ora em tela. Para isto, utilizou-se a base de dados disponível no Geoportal do Governo do Distrito Federal (GDF,2020).

As Figuras **3a** e **3b** mostram, respectivamente, a base vetorial sobreposta à imagem original pancromática e à ortoimagem gerada, na qual se pode observar nitidamente a correção geométrica e o encaixe da ortoimagem na base vetorial.

[Digite aqui]



4.4. Edição da Carta Ortoimagem

Uma vez avaliada a qualidade posicional da ortoimagem, procedeu-se à edição da carta ortoimagem. Esta etapa do trabalho consistiu em se fazer um recorte na ortoimagem (*extract*) da área enquadrada dentro da moldura de uma folha da articulação na escala 1:2.000, cujo Índice de Nomenclatura é: SD-22-Z-D-VI-4-NE-F-I-5; MI: 2214-4-NE-F-I-5 (DSG, 2016b), acrescentando-se o grid retangular (canevá) e os dados marginais da carta, como a legenda, as coordenadas geográficas dos cantos da moldura e as coordenadas planas do canevá. Não foram aplicados os símbolos e convenções cartográficas previstos para as feições geográficas vetoriais sobre a ortoimagem, a fim de permitir a visualização do encaixe da ortoimagem na base vetorial oriunda do Geoportal Federal (GDF, 2020). Para a geração da carta editada foi utilizada a ferramenta de *layout* do software ArcGIS. Para a composição colorida RGB utilizou-se as bandas 5, 3 e 2, respectivamente. A Figura 4 apresenta a carta ortoimagem editada.

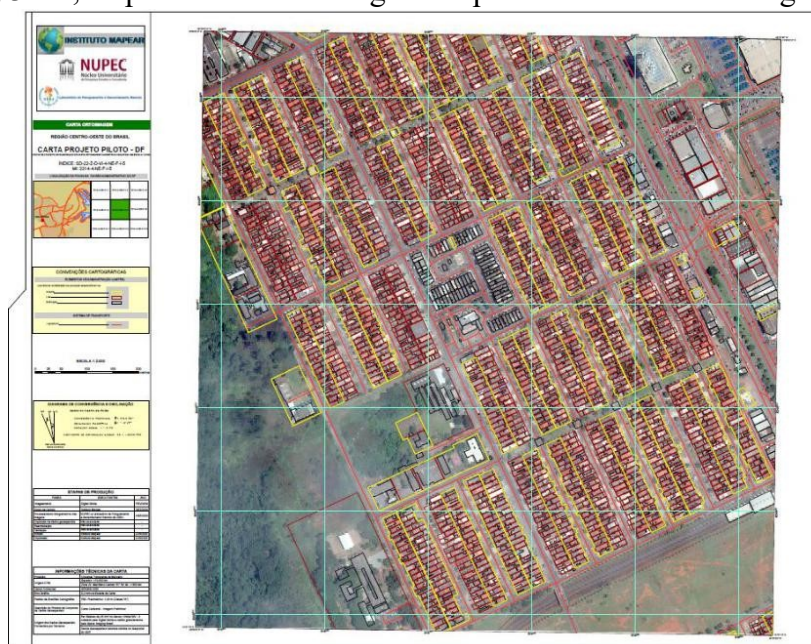


Figura 4: Recorte reduzido da Carta Ortoimagem na escala 1:2000, em formato PDF.

Fonte: Os autores

[Digite aqui]

5. CONCLUSÃO

A principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho piloto, foi a investigação da viabilidade técnica de se utilizar a capacidade estereoscópica e a resolução geométrica das imagens do sistema sensor imageador orbital o WorldView-3, visando a produção de documentos cartográficos em escala cadastral de 1:1.000 a 1:10.000.

Para que os objetivos específicos fossem atingidos, inicialmente realizou-se a fusão das imagens multiespectral e pancromática, utilizando a melhor resolução espacial nominal da banda pancromática (0,31m) como base para a extrapolação da resolução espacial das bandas do sensor multiespectral.

Os resultados dos testes da avaliação da qualidade posicional da ortoimagem permitiram concluir que a qualidade posicional corresponde ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) planimétrico Classe “A” para a escala 1:2.000. Quanto à classificação segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica planimétrico para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), mais rigoroso do que o PEC, obteve-se Classe “B” para a escala 1:2.000 e classe “A” para a escala 1:5.000.

A avaliação adicional da ortoimagem por intermédio da sobreposição da base vetorial do GDF demonstrou a correção do processo de ortorretificação desenvolvido neste trabalho.

Ressalte-se que a base vetorial está supostamente acurada como PEC Classe “A” para a escala 1:1.000, além do fato de ter sido obtida por intermédio de sensor digital aerotransportado e por restituição fotogramétrica

Como uma palavra final, reconhece-se que, apesar de promissores, os resultados até aqui obtidos, não esgotam o tema, ao contrário, há que se realizar novos experimentos empregando-se amostras de pontos de teste com maiores quantidades de pontos, além dos 21 utilizados. Há também a necessidade de se processar blocos de imagens com diversos pares estereoscópicos, e não apenas um único, recobrando áreas maiores do que os 25km² disponíveis na cobertura estereoscópica da área de teste.

Agradecimentos

À empresa Space Imaging do Brasil, em particular ao Sr Wilson Stefano Junior, pela cessão gratuita dos insumos e respectivos metadados relativos aos pares estereoscópicos das imagens do sensor WorldView-3.

À empresa *Hexagon Geospatial*, em particular ao seu representante comercial brasileiro, Sr. Juliano Lazaro, pela cessão gratuita de uma licença temporária de teste da plataforma ERDAS IMAGINE 2020 (EI2020), por um período de um mês. Além da cessão da licença temporária, há que agradecer ao suporte técnico on-line fornecido pelo Engenheiro Wolmar Sabino, particularmente para a configuração dos aplicativos e licenças dos respectivos módulos componentes da plataforma EI2020.

Referências

BESSEGATO, L. F., 2014. Controle Estatístico de Qualidade, Módulo 5. Gráficos de Controle por Variáveis. Disponível em: <https://www.ufjf.br/lupercio_bessegato/2014/10/21/controle-estatistico-de-qualidade/>. Acesso em 22 jun. 2020.

[Digite aqui]

BRASIL (1984). Decreto nº 89.817, de 22 junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em 14 maio 2020.

CUNHA, J. P. L. Relatório Técnico do Levantamento de Pontos de Apoio para Processamento de Imagens do Sensor WorldView-3. Brasília, DF, 2020.

DSG, Diretoria de Serviço Geográfico. (2016). Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) 1ª. Edição 2016. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf>. Acesso em 18 jun. 2020.

_____. (2016b). Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG), 2ª Edição – 2016

_____. (2011). Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). 2ª. Edição. Versão 2.1.3. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf>. Acesso em 18 jun. 2020.

GDF. Governo do Distrito Federal, Geoportal Infraestrutura de Dados Espaciais IDE/DF <<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/#>>. Acesso em: 23 jun. 2020.

HEXAGON GEOSPATIAL (2013a). *Subtractive Resolution Merge. ERDAS IMAGINE Help. Version 16.3.* Disponível em: <<https://hexagongeospatial.fluidtopics.net/reader/fH0o7KrMKUViXGUeoilQuA/XNc621wkHD42XFYLLu9A>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

_____. (2013b). *Sensor Model Selection Guide. ERDAS IMAGINE Help. Version 16.3* Disponível em: <<https://hexagongeospatial.fluidtopics.net/reader/fH0o7KrMKUViXGUeoilQuA/OcJkPqbUGPKU4A~RxurOrg>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

SIB (2020). Space Imaging do Brasil. Especificações Técnicas do Sensor WorldView-3. Disponível em: <<https://www.sibbrasil.com/satelites/worldview-3>>. Acesso em: 18 jun. 2020.