

**CONTROLE DE QUALIDADE POSICIONAL DE ORTOFOTO
GERADA PELO RPA (*REMOTELY PILOTED AIRCRAFT*) PHANTOM
3 COM RECEPTOR GNSS EMBARCADO**

Positional quality control orthophoto generated by RPA (remotely piloted aircraft) Phantom 3 receiver with GNSS boarded

Alexandre Aquino da Cunha

Universidade Federal da Bahia

Escola Politécnica – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Área: Informações Espaciais
R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, 40210-630
alexandre120@yahoo.com.br

John Hamilton Dias

Casa do Agrimensor

J&C Aperfeiçoamento Profissional
Rua Barão do Triunfo, 207 - Edifício A.M Profissional - Sl 202, Rio Vermelho - Cep: 41950-880 - Salvador – Bahia
john@casadoagrimensor.com.br

Mauro José Alixandrini Junior

Universidade Federal da Bahia

Escola Politécnica – Professor do Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia
R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, 40210-630
mauro.alixandrini@ufba.br

Elias Nasr Naim Elias

Universidade Federal da Bahia

Escola Politécnica – Bolsista de Iniciação Científica CNPq – Graduando de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, 40210-630
elias_naim2008@hotmail.com

Vivian de Oliveira Fernandes

Universidade Federal da Bahia

Escola Politécnica – Professora do Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia
R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, 40210-630
vivian.fernandes@ufba.br

Resumo:

O avanço da tecnologia tem possibilitado aos usuários elaborarem mapas digitais muitas vezes sem o conhecimento necessário, gerando preocupação em relação à sua confiabilidade, dado que para que estes possam cumprir a sua função enquanto mapa precisam se enquadrar nos padrões determinados para o mapeamento, dentre eles o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais – PEC PCD. O presente estudo utilizou um RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) Phantom 3 na obtenção de dados aplicados a atualização cadastral com mapeamento urbano, e posteriormente foram realizados testes estatísticos para avaliar possíveis erros na qualidade posicional do produto digital gerado (Ortofoto). O RPA utilizado no levantamento possui em seu sistema embarcado um receptor GNSS de

navegação, que é responsável por executar a missão programada em escritório e gravar a posição onde cada imagem foi tomada. Para o desenvolvimento do estudo foram estabelecidos uma série de boas práticas para o levantamento, que incluem técnicas de reconhecimento, identificação de obstáculos e obstruções, planejamento de cobertura fotogramétrica e segurança. O trabalho determinou a acurácia do mapeamento realizado a partir do receptor GNSS embarcado no Drone, para escala 1:5000, e análise de tendência. Justifica-se o estudo para referida escala, pois a mesma abrange diversas aplicações cadastrais. Segundo Idoeta (2004) a escala 1:5000 é adequada para a gestão municipal em planejamento e controle. Seu uso abrange: Planta de referência cadastral, Planta de valores genéricos para lançamento de IPTU e ITBI, Planta de Infraestrutura, Planta de equipamentos sociais e de equipamentos de lazer, cadastro de sinalizações, cadastro de peças hidráulicas, cadastro de publicidade e propaganda, cadastro de estruturas primárias e de transformadores de rede elétrica de distribuição e assemelhados. O mosaico gerado alcançou a resolução espacial de 2,6cm. Com os resultados do estudo busca-se mostrar as potencialidades dos RPAs Phantom 3 para a atualização cadastral com mapeamento urbano, dado o custo x benefício favorável do equipamento.

Palavras-chave: Drone; cadastro urbano; controle de qualidade.

Abstract

The advancement of technology has enabled users to develop digital maps often without the necessary knowledge, raising concerns regarding their reliability, given that so that they can fulfill their function, as map must fit the standards set for mapping, including the Cartographic Accuracy Standard for Digital Cartographic Products - PEC PCD. This study used a RPA (Remotely Piloted Aircraft) Phantom 3 in obtaining data applied to updating information with urban mapping, and were later carried out statistical tests to evaluate possible errors in positional quality of the generated digital product (Orthophoto). The RPA used in the survey have in your embedded system a navigation GNSS receiver, which is responsible for executing the mission scheduled in office and record the position where each picture was taken. To develop the study were established a number of good practices for the survey, including recognition techniques, identification of obstacles and obstructions, photogrammetric coverage planning and security. The study determined the accuracy mapping done from the GNSS receiver embedded in Drone to 1: 5000 scale, and trend analysis. Justified the study to that scale, because it covers a number of registration applications. According Idoeta (2004) the 1:5000 scale is suitable for municipal management planning and control. The usage covers: cadastral map, generic values map for release of property tax and ITBI, Infrastructure Plant, Plant of social and leisure equipment, signaling registration, registration of hydraulic parts, publicity and advertising registration, registration of primary structures and mains transformers distribution and the like. The mosaic generated reached the spatial resolution of 2,6cm. With the results of the study aims to show the potential of RPAs Phantom 3 for updating information with urban mapping, given the cost-benefit ratio of the equipment.

Keywords: drone; urban cadastre; quality control.

1 INTRODUÇÃO

Os recursos tecnológicos disponíveis à cartografia têm viabilizado avanços consideravelmente importantes, através, principalmente, dos softwares e equipamentos que permitem velocidade na obtenção de dados, na troca de informações espaciais e em sofisticadas análises dos fenômenos espaciais. Santos & Segantine (2006, p. 1). Ramirez & Ali (2003), relatam que a qualidade de dados espaciais é uma questão muito importante e complexa. Tradicionalmente, tanto produtores como usuários de dados espaciais reconhecem sua importância, mas dedicam poucos esforços para entender a qualidade dos dados espaciais e para a avaliação dos documentos cartográficos em meio analógico. A ausência de dados precisos implica no fornecimento de informações não confiáveis, que consequentemente irão gerar erros comprometedores à qualidade dos estudos, promovendo desperdícios de verbas destinadas às soluções de problemas. Neste artigo será feito o controle de qualidade da ortofoto para escala 1:5000, produto de um levantamento aerofotogramétrico realizado com a aeronave remotamente pilotada Drone *Phantom 3*, também referida como VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), e que têm nomenclatura oficial no Brasil de RPA, abreviatura para o Inglês *Remotely-Piloted Aircraft*, traduzido como Aeronave Remotamente Pilotada. Tal nomenclatura foi adotada pela Agência Nacional de Aviação Civil

(ANAC) e Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), seguindo orientação da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI). Também foi adotada a nomenclatura RPAS, abreviatura para o termo inglês *Remotely-Piloted Aircraft System*, traduzido para Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada, uma vez que tais equipamentos compõem um sistema, que compreende, além da aeronave propriamente dita, uma Estação de Pilotagem Remota, os necessários enlaces de Comando e Controle (*datalink*), sensores embarcados, equipamentos de lançamento e recuperação, e quaisquer outros elementos que podem, a qualquer momento, ser necessários à operação pretendida. Por essa razão, o termo SISVANT (Sistema de Veículo Aéreo Não Tripulado), também foi adotado no Brasil. Com o mercado de *RPA* comerciais crescendo, a empresa chinesa *DJI* lança o *Phantom 3*, que é acessível à novos públicos graças aos seus novos recursos que o tornam ainda mais fácil de usar, além de seu preço mais acessível. Em dezembro de 2015, novas regras que proíbem o uso de *RPA*'s em áreas urbanas sem autorização da DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) foram instituídas pela aeronáutica. *RPA*'s que atinjam mais de 120 metros de altura terão que obter autorização para realizar o voo em áreas consideradas de espaço aéreo. Sendo assim, segundo o DECEA, os pedidos devem ser protocolados no departamento com até dois dias de antecedência. O voo em regiões rurais e propriedades particulares continua permitido (com restrições à altura de voo mencionada), desde que os proprietários se responsabilizem pelas consequências de possíveis acidentes no uso.

A área de estudo está situada na Universidade Federal da Bahia (UFBA), que é uma instituição de ensino superior pública brasileira, considerada a maior universidade do estado da Bahia, com sede na cidade de Salvador. A região do voo está localizada no Campus de Ondina, e possui uma área aproximada de 79.000 m², figura 1.

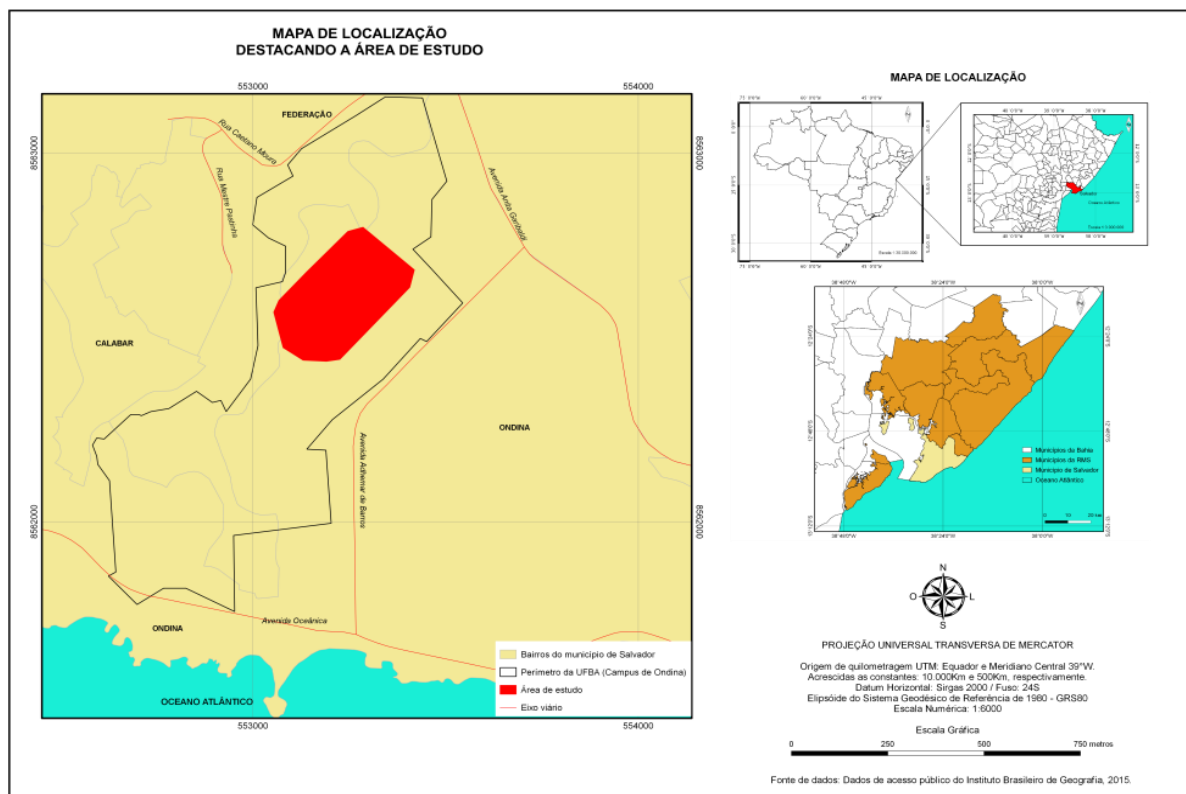


Figura 1 – Ilustração demonstrando Localização da área de estudo

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Neste estudo foram utilizados:

- *RPA DJI phantom 3*: utilizado para obtenção das imagens da área;
- Computador com Sistema Operacional Windows 10 Pro, processador Intel core i7 3930K de 6 núcleos, placa mãe *Asus Rampage IV*, placa de vídeo Nvidia GeForce GTX 780 TI e 16GB de RAM DDR3;
- *Software Agisoft PhotoScan 1.2.4*: para processamento de imagens provenientes do Drone para gerar o modelo tridimensional (3D).

2.2 Métodos

2.2.1 Processo de Levantamento e Extração com Drone

O voo feito com o *RPA* foi conduzido a uma altura média de 60 metros, em aproximadamente 10 minutos de voo, sendo coletada uma média de 241 fotos verticais, com aproveitamento de 183 fotografias. O Phantom é da empresa chinesa *DJI Innovations*, é equipado com uma câmera de sensor fixo Sony EXMOR de 1/2,3 polegadas com 12,4 MP de resolução, que faz par com uma lente de abertura $f/3.61$. O ISO máximo para fotos foi de 1.600. A velocidade do obturador foi de 1/8.000 de segundo, garantindo a captura de imagens “congeladas” até mesmo em objetos em movimento. Estava equipado com uma bateria de 4.480 *mAh*, com autonomia de aproximadamente 23 minutos. A fim de obter resultados com menos interferências atmosféricas, as condições clima/tempo foram checadas para evitar o levantamento em horários e dias inviável a equipe. Por isso, foi escolhido um horário com o objetivo de evitar que as sombras provocadas pela inclinação do sol ofusquem detalhes da geometria.

Este *RPA* (Figura 2) é um sistema estruturalmente fabricado com plástico sólido de alta resistência e com peças metálicas parafusadas.



Figura 2 – *RPA* utilizado para levantamento e a localização das tomadas das fotos verticais, respectivamente.

Fonte: <http://www.dji.com/>

Para captação direta de imagens digitais usamos o termo GSD (*Ground Sample Distance*).

O GSD representa o tamanho real, em unidades do terreno, que um determinado pixel representa em função da resolução de uma imagem. O GSD é diretamente relacionado com a altura da aeronave em relação ao solo, da distância focal da câmera e do tamanho do pixel no CCD, é possível verificar na figura 3.

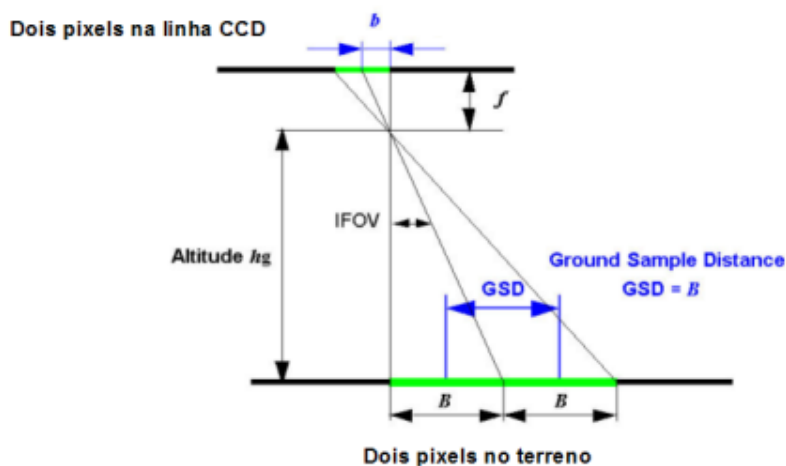


Figura 3 – Ilustração demonstrando os parâmetros utilizados para cálculo do GSD.

Fonte: Adaptado de Neto (2015).

Os principais parâmetros utilizados para cálculo do GSD são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros do voo

Parâmetro	Descrição
b	0,156 = Tamanho do pixel no CCD (μm)
f	3,61 = Distância focal da câmera (mm)
H	60,0 = Altura de voo (m)
imW	4000 = Largura da imagem (pixels)
imH	3000 = Altura da imagem (pixels)
GSD	2,6 = Ground Sampling Distance (cm)

A metodologia empregada para a execução deste trabalho encontra-se descrita no organograma da Figura 4. No estudo preliminar foram realizadas visitas de reconhecimento para identificação de obstáculos, obstruções e local adequado para decolagem. Também nesta fase foram escolhidos os locais dos pontos de controle. Após essa etapa, foi realizado o plano de voo, seguido da aquisição das imagens com voo único.

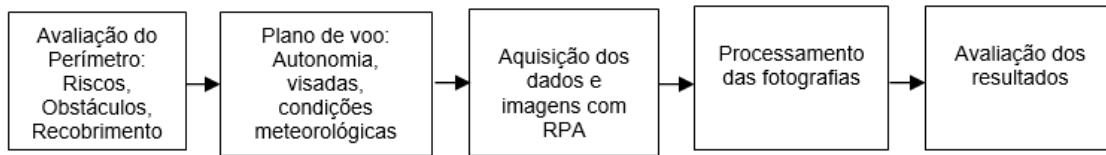


Figura 4 – Organograma dos métodos empregados no presente trabalho

O horário foi entre 11h21min e 11h28min da manhã. O voo foi realizado em ótimas condições de visibilidade e ocorreu em condições normais de planejamento e execução. Foi utilizada uma sobreposição longitudinal de 80% e transversal de 60% com fotos verticais. A figura 5 ilustra as posições das câmeras nas tomadas das fotos.

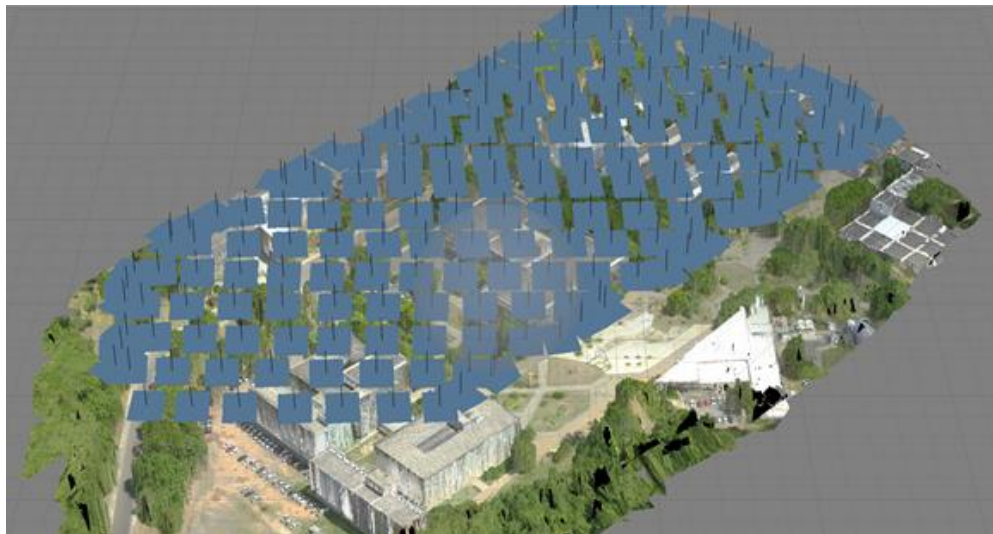


Figura 5 – Ilustração demonstrando a posição das câmeras nas tomadas das fotos verticais

Fonte: Elaborado pelo autor

2.2.2 Processamento e geração da ortofoto

Em laboratório foi realizado o processamento das imagens baseando-se SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) onde pontos são identificados e extraídos automaticamente das imagens e armazenados em banco de dados. Sucessivamente imagem a imagem o algoritmo identifica pontos homólogos em novas imagens comparando pontos candidatos aos correspondentes baseando-se na distância euclidiana dos vetores de posição. Com pontos fotogramétricos identificados se realiza uma orientação absoluta com o uso do posicionamento do centro perspectivo de cada tomada. Esse processo foi implementado na aplicação *Agisoft PhotoScan* 1.2.4. Ele é um software russo que já era utilizado para modelagens 3D, e o foco do software era a fotogrametria terrestre e geração de modelos tridimensionais de prédios, estátuas, monumentos, etc. Com o crescimento acelerado do mercado dos *RPA's*, os desenvolvedores adaptaram este software para processar imagens de aéreas provenientes de *RPA's*, com o algoritmo de busca baseado no SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) este software é capaz de processar milhares de imagens em um tempo relativamente curto (o tempo vai ser proporcional à configuração do processador e placa de vídeo). O fluxo de trabalho do *Agisoft PhotoScan* consiste em 3 principais passos. O primeiro é o alinhamento das imagens, utilizando algoritmos de

identificação de pontos comuns, que permitem fazer a orientação relativa das fotografias para um sistema de coordenadas tridimensional arbitrário. Neste processo de ajuste de feixes é gerada uma nuvem de pontos esparsa e é efetuada uma autocalibração da câmara, com a determinação de uma distância focal melhorada, ponto principal e parâmetros de distorção radial.

Na segunda etapa, baseada na posição relativa de cada câmara, é construída a nuvem de pontos densa, que possibilita determinar informação de profundidade e completar a nuvem esparsa anterior. Este processo gera milhões de pontos, e estes pontos podem ser classificados e editados. A terceira e final fase do workflow consiste na construção do modelo 3D, onde os pontos da nuvem densa são ligados, de modo a construir uma malha de triângulos recorrendo a algoritmos de triangulação. Este *workflow* é essencialmente usado para qualquer tipo de dados, existindo outras ferramentas específicas, como é o caso da implementação de pontos de controlo, que serve para a exportação de mosaicos e de Modelos Digitais de Terreno.

Para este trabalho, inicialmente, foi realizada a seleção e a filtragem das fotografias. A seleção foi realizada manualmente, antes das fotografias serem adicionadas à ferramenta computacional, excluindo aquelas que apresentaram problemas de qualidade decorrentes da inclinação da aeronave no momento da tomada da fotografia (fotografias inclinadas); da variação da altitude do RPA entre tomadas consecutivas (escala); e da deriva da mesma provocada pelo vento (arrasto). No processamento seguem-se as etapas de alinhamento das tomadas, otimização do alinhamento, construção de uma nuvem densa de pontos, construção de um modelo poligonal de interpolação (*poligonal mesh model*), edição da geometria, construção de modelo digital de elevação, texturização e ortomosaico. No alinhamento das tomadas são detectados pontos homólogos entre as regiões de sobreposição das imagens criando uma nuvem esparsa de pontos e estimada a posição de cada tomada do recobrimento da área. Os parâmetros utilizados nesse estágio são grau de acurácia na definição dos pontos homólogos, modo de seleção de pares (para os casos de se ter ou não posições aproximadas nas tomadas) e quantidade limite de pontos candidatos ou chave e de ligação de faixas. O limite de pontos candidatos indica quão fina será a varredura na imagem para busca de pontos individualizados que serão utilizados como candidatos para pontos homólogos nos modelos e entre faixas do bloco de recobrimento.

A construção da nuvem densa de pontos, é a etapa de densificação dos pontos fotogramétricos onde são refinados os parâmetros de posição da câmara no instante da tomada de cada imagem e são calculados a partir da nuvem esparsa uma nuvem densa de pontos. Nessa etapa pode-se lançar mão da identificação de pontos de apoio com coordenadas conhecidas eles auxiliam o refinamento do georreferenciamento do bloco de recobrimento, são parâmetros do algoritmo a definição fina ou grosseira da nuvem e o filtro de profundidade que faz menção a capacidade de identificação de padrões mais complexos intratexturizados. Foi gerada então o mosaico de ortofoto, a partir de imageamento RPA.

2.2.3 Obtenção e distribuição das amostras de controle

O processo de validação para análise de precisão e de tendência foi baseado na análise das discrepâncias entre as coordenadas obtidas através de uma planta digital, obtida através de um levantamento topográfico da área de estudo e as obtidas na imagem da ortofoto gerada a partir do RPA *Phantom 3*. A planta utilizada como referência foi classificada como Classe A a partir da análise dos valores do PEC e EP para a escala 1:2000, (CUNHA, 2015). Dessa forma, foi utilizado o método relativo para controle de qualidade posicional.

Para escolha das amostras, buscou-se uma distribuição equilibrada dentro da área de estudo, de forma a abranger toda região. A Figura 6 apresenta a distribuição dos pontos notáveis (amostras)

pela área de estudo. Os cruzamentos e bifurcações, foram considerados importantes planimetricamente, pois facilitam a identificação.

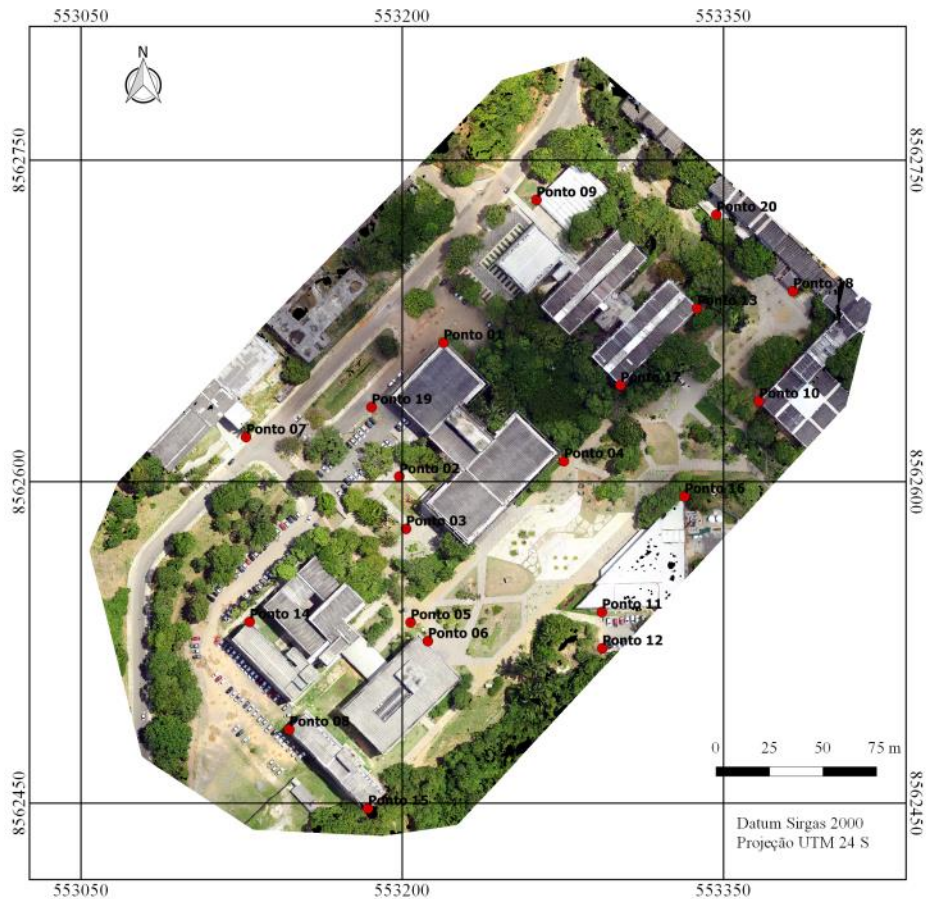


Figura 6 – Ilustração demonstrando a distribuição das amostras para validação

2.2.4 Análise de Acurácia

Para realizar a análise de acurácia foi utilizado o PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais) e o EP (Erro Padrão), conforme valores adotados no Brasil ET-CQDG para escala 1:5000.

Para o cálculo da análise da acurácia foi verificado, a partir de amostras de discrepâncias se o valor do desvio-padrão populacional das amostras é estatisticamente menor do que o valor limite admissível em precisão de acordo com o PEC-PCD para o caso da legislação brasileira atual. Para isso, foi realizado o teste do Qui-Quadrado, pois este possibilita estimar, dentro dos limites de confiança, o desvio-padrão populacional a partir do desvio-padrão amostral.

De posse das coordenadas obtidas pela Ortofoto digital e das coordenadas de referência obtidas através da planta topográfica, calcula-se a diferença entre cada uma delas, determinando dessa forma os valores das discrepâncias nas coordenadas E e N:

Equação 1:

$$\Delta E = E_{PLANTA} - E_{ORTOFOTO} \quad (1)$$

$$\Delta N = N_{PLANTA} - N_{ORTOFOTO}$$

Onde:

$\Delta E ; \Delta N$	Discrepâncias
$E_{PLANTA} ; N_{PLANTA}$	Coordenadas obtidas pelo método relativo a partir da planta topográfica
$E_{ORTOFOTO} ; N_{ORTOFOTO}$	Coordenadas obtidas na ortofoto

Após esse procedimento, calcula-se a média e o desvio-padrão das discrepâncias, como descritas na equação 2:

$$\overline{\Delta E} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E}{n} \quad \text{e} \quad \overline{\Delta N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N}{n} \quad (2)$$

Onde ΔE e ΔN são as discrepâncias médias calculadas pelos pontos.

O desvio-padrão da média das discrepâncias foi calculado utilizando a equação 3:

$$\hat{\sigma}_{\Delta E} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta E_i - \overline{\Delta E})^2}{n(n-1)}} \quad \text{e} \quad \hat{\sigma}_{\Delta N} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta N_i - \overline{\Delta N})^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

Onde $\hat{\sigma}_{\Delta E}$ e $\hat{\sigma}_{\Delta N}$ são os desvios-padrão da média das discrepâncias.

Em seguida realiza-se o teste de hipóteses H_0 e H_1 :

$H_0:$	$H_1:$
$\hat{\sigma}_{\Delta E} = \sigma$	$\hat{\sigma}_{\Delta E} > \sigma$
$\hat{\sigma}_{\Delta N} = \sigma$	$\hat{\sigma}_{\Delta E} > \sigma$

Sendo σ o desvio-padrão esperado, obtido através da equação $\sigma = \frac{EP}{\sqrt{2}}$

Para testar as hipóteses H_0 e H_1 deve-se calcular um qui-quadrado amostral e logo após comparando este resultado com o valor teórico adquirido pela distribuição de probabilidade do qui-quadrado (χ^2). Para obter o valor teórico se usa tabelas próprias, onde o grau de liberdade utilizado como argumento é $\nu = n - 1$, e o nível de confiança $(1-\alpha)$, no nosso caso. Aplica-se

então teste qui-quadrado amostral usando a equação 4:

$$\hat{\chi}_{\Delta E}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta E}^2}{\sigma^2} (n - 1) \quad e \quad \hat{\chi}_{\Delta N}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta N}^2}{\sigma^2} (n - 1) \quad (4)$$

Aplicando-se o teste do qui-quadrado, verifica-se se o valor satisfaz a aceitação:

$$\hat{\chi}_{\Delta E}^2 \leq \chi_{1-\alpha}^{2v=n-1} \quad e \quad \hat{\chi}_{\Delta N}^2 \leq \chi_{1-\alpha}^{2v=n-1}$$

O desvio-padrão final é obtido a partir das coordenadas nas direções N e E ($\sigma_{\Delta N}$ e $\sigma_{\Delta E}$) conforme as aceitações 5 e 6. Desta forma, para a coordenada N:

$$H_0: \sigma_{\Delta N}^2 \leq \sigma_{2_{PEC}(\Delta N)}^2$$

versus

$$(5)$$

$$H_1: \sigma_{\Delta N}^2 > \sigma_{2_{PEC}(\Delta N)}^2$$

Para a coordenada E:

$$H_0: \sigma_{\Delta E}^2 \leq \sigma_{2_{PEC}(\Delta E)}^2$$

versus

$$(6)$$

$$H_1: \sigma_{\Delta E}^2 > \sigma_{2_{PEC}(\Delta E)}^2$$

2.2.5 Análise de Tendência

A análise de tendência pela distribuição *t-Student* possibilita o uso de amostras pequenas (no mínimo 20 amostras) ou grandes, a partir dos resíduos das diferenças entre as coordenadas de pontos notáveis obtidas no produto cartográfico e em levantamentos ou documentos de referência (VIEIRA E GENRO, 2011). Segundo Silva (2009), para análise de tendência verifica-se se a média das discrepâncias pode ser considerada estatisticamente igual a zero. Para isso avaliou-se as seguintes hipóteses:

$$H_0: \quad \overline{\Delta E} = 0 \qquad H_1: \quad \overline{\Delta E} \neq 0$$

versus

$$\overline{\Delta N} = 0 \qquad \overline{\Delta N} \neq 0$$

A partir daí usa-se a distribuição de probabilidade t de *Student*, calculando um t amostral contra um valor teórico obtido da tabela, com grau de liberdade $v = n - 1$ e o nível de confiança 90%. A estatística amostral t é calculada a partir da equação 7:

$$\hat{t}_{\Delta E} = \frac{\overline{\Delta E}}{\hat{\sigma}_{\Delta E}} \sqrt{n} \quad e \quad \hat{t}_{\Delta N} = \frac{\overline{\Delta N}}{\hat{\sigma}_{\Delta N}} \sqrt{n} \quad (7)$$

Após o cálculo da estatística amostral, será aferido se os valores de t amostrais obtidos estão no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. O intervalo de confiança relativo ao teste t de *Student* a ser analisado é o de:

$$|\hat{t}_{\Delta E}| < t_{1-\alpha/2}^{v=n-1} \quad ou \quad |\hat{t}_{\Delta N}| < t_{1-\alpha/2}^{v=n-1}$$

Se o valor calculado de “ t ” estiver fora do intervalo estabelecido pelo nível de significância, a base cartográfica não pode ser considerada livre de erros sistemáticos. O inverso, ou seja, se o valor encontrado satisfizer a condição disposta pelo intervalo, o produto pode ser aceito como livre de erros sistemáticos.

3 RESULTADOS

O trabalho determinou a análise de precisão e análise de tendência para escala 1:5000 do mapeamento realizado a partir do *RPA Phantom 3* com receptor *GNSS* de navegação embarcado. O mosaico de ortofoto (figura 7) gerado alcançou a resolução espacial de 2,6cm.

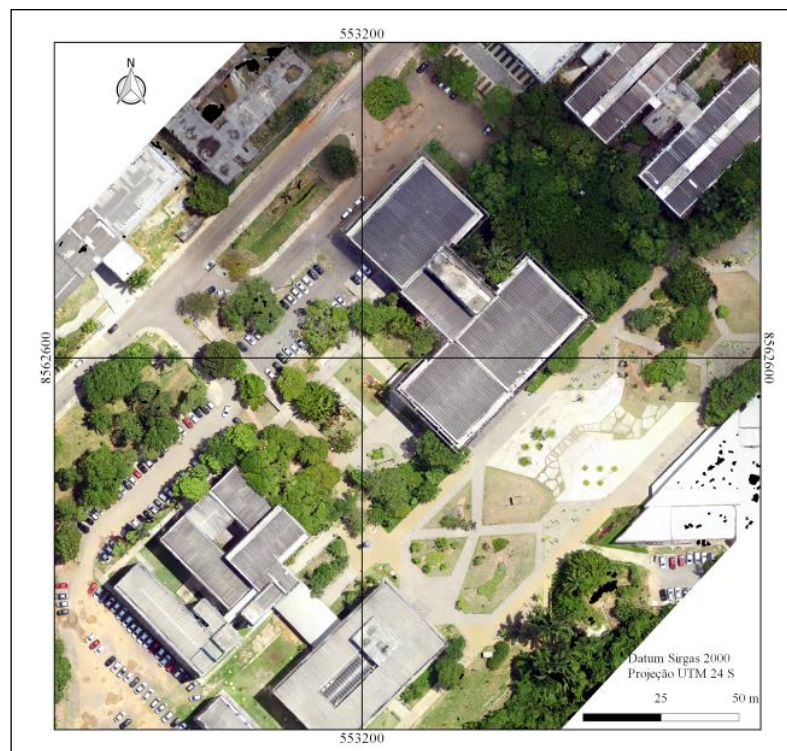


Figura 7– Ilustração demonstrando parte da ortofoto gerada pelo *software Agisoft PhotoScan 1.2.4*

A tabela 2 apresenta as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos coletados na ortofoto e suas coordenadas homólogas adquiridas na planta topográfica utilizada como referência.

Tabela 2 – Discrepância das coordenadas dos pontos da ortofoto e suas coordenadas homólogas adquiridas na planta topográfica.

DISCREPÂNCIAS		
PONTO	Delta (E)	Delta (N)
Ponto 01	0,410	-1,104
Ponto 02	0,030	1,090
Ponto 03	0,332	0,449
Ponto 04	-0,182	-0,790
Ponto 05	0,264	1,451
Ponto 06	0,343	0,056
Ponto 07	0,852	1,050
Ponto 08	0,272	0,384
Ponto 09	-0,415	0,241
Ponto 10	-0,740	0,524
Ponto 11	-0,146	0,628
Ponto 12	-0,010	0,496
Ponto 13	0,549	-0,147
Ponto 14	0,322	0,328
Ponto 15	0,379	0,310
Ponto 16	-0,102	0,536
Ponto 17	0,755	-0,154
Ponto 18	-0,649	0,021
Ponto 19	0,681	0,567
Ponto 20	-0,455	0,359

A tabela 3 a seguir exibe a classificação do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) planimétrico estabelecida na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV, 2012) em que os valores estabelecidos na mesma são diretamente proporcionais ao fator de escala determinado pelo produto cartográfico gerado.

Partindo das amostras tratadas estatisticamente, realizou-se os testes de qualidade cartográfica para análise de precisão, utilizando como referência valores do PEC e EP para escala 1:5000 (tabela 3), segundo metodologia apresentada, chegou-se nos seguintes resultados apresentados na tabela 4.

Tabela 3 – Valores do PEC e EP para a escala 1:5000

PEC-PCD	1:5.000	
	PEC (m)	EP (m)
A	1,40	0,85
B	2,50	1,50
C	4,00	2,50
D	5,00	3,00

Tabela 4 – Resultado do teste Qui-Quadrado

Teste Qui-Quadrado		
PEC-PCD	Delta (E)	Delta (N)
A	10,940	18,187
B	3,513	5,840
C	1,265	2,102
D	0,878	1,460
Qui-Quadrado Tabelado		34,382

A partir da análise do erro padrão e consultando a tabela 3, referente aos valores do PEC e EP para a escala 1:5000, conclui-se que o produto digital se enquadra na classe A na escala referida. O qui-quadrado teórico tabelado para os parâmetros envolvidos foi 34,382.

A tabela 5 representa os resultados do teste *t Student* formulado no item 2.25 deste artigo.

Tabela 5 – Resultado do teste Qui-Quadrado

T-Student		
Tabelado (95%)	1,729	
Delta (E)	1,221	PASSOU
Delta (N)	2,394	NÃO PASSOU

No nível de significância de 90%, as hipóteses nulas (teste *t de Student*) para as componentes E, N e conseqüentemente para a resultante planimétrica foi aceita para as coordenadas E e não passou para as coordenadas N, logo verificou-se a inexistência de erros sistemáticos para E. A presença de erros sistemáticos para as coordenadas N indicam que, para esta direção, foi manifestada uma tendência constante ou variável com o tempo, ou seja, a estimativa de precisão do posicionamento destas coordenadas é afetada quando analisadas em relação à média e o desvio padrão do conjunto total de amostras previamente estabelecidas e, a partir da identificação e normatização das discrepâncias encontradas, corrigir os erros apresentados. Dessa forma, na área de estudo analisada e no método de mapeamento desenvolvido, a presença de erros sistemáticos em tal direção pode ser justificada com alguns fatores que parte desde os parâmetros utilizados para o mapeamento realizado ou até a precisão dos equipamentos utilizados para a realização da mesma, uma vez que dizem respeito a aspectos rotineiros que se identificados podem ser facilmente corrigidos.

4 CONCLUSÃO

A avaliação de qualidade posicional planimétrica realizado através de testes estatísticos apresentou resultados que indicam a constância geométrica da ortofoto digital, classificada como de Classe A para planimetria na escala de 1:5000. A ortofoto gerada pode ser utilizada na vetorização de elementos do entorno da área de estudo, atendendo bem para escala testada. Deve-se ressaltar que a precisão e acurácia necessária ao arquivo digital dependem da finalidade do produto. Assim, o usuário deve saber claramente qual o erro que ele pode aceitar, de modo a não rejeitar desnecessariamente produtos de classe B, C ou mesmo inferior. Ou, caso necessite maior precisão, rever a qualidade do original e minimizar os erros do processo.

Realizou-se uma investigação com relação ao teste estatístico que vem sendo utilizado na prática para a análise de tendência, o qual usa a distribuição *t de Student*. Após verificação das hipóteses, no nível de significância de 90%, verificou-se a existência de erros sistemáticos na planta digital, dentro deste intervalo de confiança, para o norte.

É válido ressaltar que a precisão encontrada na aplicação dos testes amostrais a partir do PEC-PCD é diferente do calculado pelo GSD, uma vez que a mesma determina os valores estabelecidos em relação ao pixel do produto cartográfico o que utiliza parâmetros diferentes na determinação dos atributos, em detrimento do cálculo da acurácia posicional que se baseia no método de levantamento estabelecido (GPS de navegação) e na realização do controle de qualidade.

Finalmente, seria interessante que houvesse uma divulgação de trabalhos desta natureza de modo a qualidade do produto cartográfico disponível a partir da utilização de determinado equipamento. Pode-se observar ao longo do desenvolvimento deste trabalho que com as tecnologias existentes atualmente de *RPA*, é possível efetivar um trabalho de qualidade com um custo relativamente barato (Entre 400 e 1300 dólares, a depender do modelo do *Phantom*).

Referências Bibliográficas

CONCAR. **Especificações Técnicas Para Estruturação de Dados Geoespaciais Digitais Vetoriais Versão 2.0**. Sistema Cartográfico Nacional. Norma Cartográfica Brasileira. Brasília-DF. 2007.

CONCAR. **Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil – Perfil MGB**. Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais – CEMG. Brasília, 2009.

CUNHA, Alexandre Aquino da. **AValiação de Mapas Urbanos – Estudo de Caso Universidade Federal da Bahia**. Salvador, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO SUBDEPARTAMENTO DE OPERAÇÕES. **Departamento de Controle do Espaço Aéreo Subdepartamento de Operações**. Rio de Janeiro, Disponível em: Acesso em: 05 abril. 2016.

ET-ADGV. **Especificação Técnica para a Aquisição de dados Geoespaciais Vetoriais**. Diretoria de Serviços Geográficos. Ministério da defesa. Brasília, 2011.

GALO, M.; Camargo, P.O. **Utilização do GPS no controle da qualidade de carta**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 1994, páginas 41-48.

GROETELAARS, N. J. **Um estudo da Fotogrametria Digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas**. 2004. 257 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Bahia, 2004.

IDOETA, Irineu; Idoeta, Ivan V; Cintra, Jorge P. **São Paulo Vista do Alto 75 Anos de Aerofotogrametria**. São Paulo: Editora Érica Ltda. 96 p.abril. 2004.

INDE, **A Infra Estrutura Nacional de Dados Espaciais: Apresentação**, Disponível em: <<http://www.inde.gov.br/a-inde/apresentacao> > Acesso em 10 de junho de 2016.

NETO, Manoel Silva. **Planejamento de voo: tudo o que você precisa saber**. *Droneng*, 2015. Disponível em: <http://droneng.com.br/planejamento-de-voo/>. Acesso em 10 de junho de 2016.

ROCHA, Ronaldo dos Santos da. **Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas**. Florianópolis, 2002. 128f.

Santos, A.G.; Segantine, P.C.L. **Avaliação da Qualidade das Coordenadas geográficas de Mapas digitais**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – UFSC Florianópolis, 15 a 19 de outubro 2006.

VIEIRA, H. B. G; GENRO, R. S. **Inferência estatística para validação de documentos cartográficos obtidos com sensores remotos orbitais ou aerotransportados, em áreas de operação da Petrobras**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 2339-2346. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em <<http://http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.18.13.26/doc/p0475.pdf> >. Acesso em 12 de junho de 2016.