

ESTUDO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE DADOS GEOESPACIAIS OBTIDOS COM RPA MEDIANTE USO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA VERIFICAÇÃO DO PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA (PEC)

Mariana dos Santos Diniz^{1*}, Felipe Leite Nisiyama^{2*}, Natália Maria do Carmo Lopes Guimarães Battaglini^{3*}, Felipe Ribeiro de Toledo Camargo^{4*}, Gustavo Vasconcelos Costa de Lacerda^{5*}, Lenildo Santos da Silva^{6*}, Fábio Barros Curado Fleury^{7*}, Eleudo Esteves de Araújo Silva Junior^{8*} e André Luís Brasil Cavalcante^{9*}.

* Universidade de Brasília (UnB), ¹ marianadiniz12@gmail.com; ² felipenisiyama@gmail.com; ³ nataliabattaglini@gmail.com; ⁴ feliperte@gmail.com; ⁵ gusvascosta@gmail.com; ⁶ lenildo@unb.br; ⁷ fabio@gmail.com; ⁸ eleudo@unb.br; ⁹ abrasil@unb.br com.

Key words — RPA, PEC, accuracy, statistics

RESUMO

O presente artigo apresenta um estudo da acurácia posicional de dados geoespaciais gerados com a utilização de um RPA (*Remotely-Piloted Aircraft*) para fins de verificação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Os dados geoespaciais utilizados consistem do ortomosaico e Modelo Digital de Superfície (MDS) gerados a partir de imagens obtidas com o RPA, e pontos de verificação obtidos por um receptor GNSS. As discrepâncias planimétricas e altimétricas são definidas pela comparação entre as coordenadas dos pontos de verificação e o ortomosaico e MDS, respectivamente. O estudo da distribuição espacial dos pontos supracitados indicou uma distribuição com características dispersas, e uma avaliação estatística das discrepâncias evidenciou a existência de erros sistemáticos apenas em uma das direções (N). Não foram apontadas tendências para as discrepâncias altimétricas. Por fim, a avaliação das discrepâncias planimétricas e altimétricas obtidas permitiu atribuir a PEC Classe A aos produtos cartográficos obtidos.

Palavras-chave — RPA, PEC, acurácia, estatística

ABSTRACT

This article studies the positional accuracy of geospatial data obtained by the use of a Remotely-Piloted Aircraft (RPA), aiming to verify a certain cartographic accuracy index (PEC). The geospatial data consist of an orthomosaic and a Digital Surface Model (DSM), generated by images obtained with a RPA, and checkpoints verified with a GNSS receiver. The planimetric and altimetric discrepancies were defined by comparing the coordinates of the checkpoints with the orthomosaic and the DSM, respectively. Evaluating the spatial distribution of these points revealed a dispersed distribution, and a statistical evaluation of their discrepancies indicated the existence of systematic errors in one of the directions (N). No tendencies were observed in the altimetric discrepancies. Lastly, the evaluation of these discrepancies allowed classifying the cartographic products as Class A, with respect to the PEC standard.

1. INTRODUÇÃO

O avanço das geotecnologias nas últimas décadas possibilitou a evolução na aquisição de imagens com elevada resolução espacial e com um baixo custo de operação. Desse modo, as RPAs (*Remotely-Piloted Aircrafts*), conhecidas como drones, se popularizaram de modo que diversos profissionais, das mais diferentes áreas do conhecimento, passaram a desenvolver pesquisas utilizando-as, porém o fato de não serem especialistas na área de cartografia e geoprocessamento finda, em geral, por não primarem pela verificação da qualidade posicional dos dados. O processamento de imagens permite gerar resultados como o Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT) e ortomosaicos, os quais devem ter acurácia avaliada. O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o erro padrão [1]. Isso significa que 90% dos pontos coletados do dado espacial, quando comparados com as coordenadas adquiridas em campo, deverão apresentar valores de discrepâncias posicionais iguais ou menores ao do PEC, em uma certa escala. Ainda, o RMS (*root mean square*) da amostra de discrepâncias deve ser menor ou igual ao erro-padrão estipulado pela norma [2].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Planejamento e realização do voo

Preliminarmente ao voo, foram conduzidas etapas de preparação. Inicialmente, a área de estudo foi delimitada com base nos limites formais do antigo Aterro Controlado do Jockey Clube (ACJC), onde hoje opera a Unidade de Recebimento de Entulhos (URE) [3]. A área em questão, Figura 1, situa-se a cerca de 15 km do centro da Capital Federal, na divisa com o Parque Nacional de Brasília (PNB), e abrange uma área de aproximadamente 200 hectares.

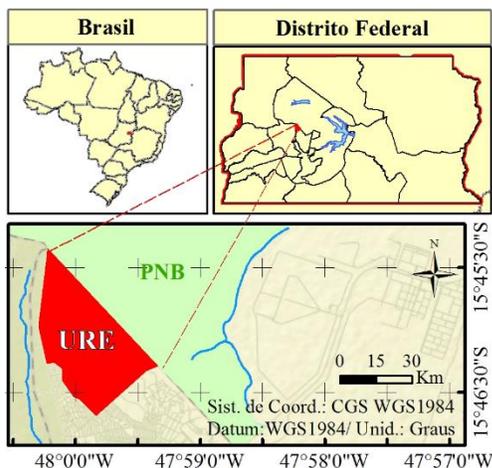


Figura 1. Localização da URE (Imagem: Basemap, ESRI).

Com base no limite proposto realizou-se um planejamento preliminar de voo por meio do software *Drone Deploy*, tendo como especificações uma altura de voo de 120 m, sobreposição de 60% entre as imagens e a imposição de uma distância de voo com relação aos limites da URE de aproximadamente 175 m. Utilizou-se uma RPA comercial modelo Phantom 4, da marca DJI, com câmera de 12.4 Mp acoplada, o que resultou, para o planejamento de voo mencionado, em um GSD (*Ground Sample Distance*) de 5,1 cm/pixel.

Para o processamento e avaliação das imagens obtidas com o RPA planejou-se a distribuição de 27 pontos na área do sobrevoo. Dos 27 pontos, 8 foram escolhidos como pontos de verificação, e os 19 restantes adotados como pontos de controle. A determinação das coordenadas dos pontos supracitados foi realizada com um receptor GNSS Ashtech® ProMark2™ de frequência simples (L1).

No presente estudo utilizou-se o modo *Stop-and-go*, que apresenta acurácias horizontal e vertical, respectivamente, de 0,012 m e 0,015 m [4], onde um dos receptores fica estático em determinado ponto escolhido como base e um segundo receptor realiza o caminhamento entre os pontos, permanecendo estático em cada um dos pontos por um tempo de aquisição de 5 minutos. Para a materialização dos pontos utilizaram-se alvos artificiais, dada a ausência de possíveis alvos naturais dentro do limite da área de estudo. Foram confeccionados 27 alvos, com modelos distintos representados nas Figuras 3 (a), (b) e (c). Os alvos possuíam uma dimensão aproximada de 19 vezes o valor de GSD obtido no planejamento preliminar de voo.

O voo foi realizado no dia 25 de Setembro de 2018, tendo sido conduzido em uma sequência de 5 sobrevoos devido à impossibilidade de cobertura da área total de estudo com a utilização de uma única bateria. Em sua totalidade foram obtidas 813 fotos.

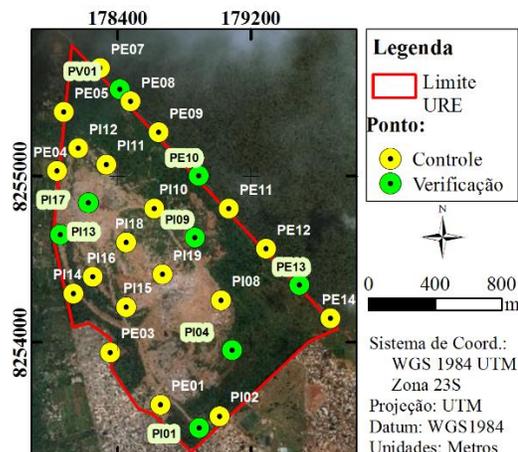


Figura 2. Limite da URE e pontos de controle e verificação propostos (Imagem: Basemap, ESRI).

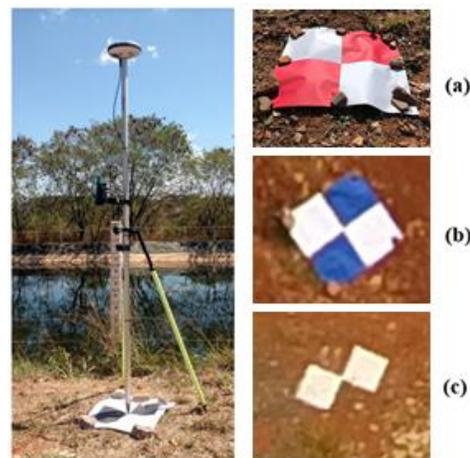


Figura 3. Receptor GNSS Ashtech® ProMark2™ e tipos de alvos utilizados.

2.2. Processamento dos dados

Primeiramente, os dados brutos dos receptores GNSS utilizados foram descarregados em um computador e importados para o software *GNSS Solutions 3.80*. As coordenadas geodésicas dos pontos foram computadas por meio de posicionamento relativo, em uma sequência de duas análises. Na primeira, foram processadas as coordenadas das bases referentes aos dias de aquisição em relação às observações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A RBMC consiste em um conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de alto desempenho, e que proporcionam observações para a determinação de coordenadas [5]. Em seguida, realizaram-se os ajustes das coordenadas destes últimos. De maneira similar, foram processadas as linhas de base entre os pontos com coordenadas ajustadas – nos quais as bases ficaram alocadas – e os pontos visitados, que por fim, também tiveram suas coordenadas ajustadas.

Desse modo, o processamento das imagens com os pontos de controle foi realizado por intermédio do *software Agisoft PhotoScan*, versão 1.4.1. A partir da importação das imagens do voo, executou-se o alinhamento automático no modo *highest*, seguido pelo processo de demarcação dos pontos de controle amarrando suas coordenadas às imagens nas quais os alvos eram visíveis. Em seguida, foi realizada a otimização do posicionamento das imagens. De maneira subsequente, realizou-se a confecção da nuvem densa de pontos, que corresponde às posições 3D em uma amostra de superfície, no modo *high* e filtro no modo *agressive*. De posse desse produto, obteve-se o Modelo Digital de Superfície (MDS). A geração do ortomosaico, por sua vez, se deu mediante a utilização do algoritmo para construção do mosaico das imagens, denominado como *Build Orthomosaic*.

2.3. Avaliação estatística dos pontos de verificação e avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica

Com base na metodologia proposta por [2] realizaram-se avaliações estatísticas relativas aos pontos de verificação utilizados.

Primeiramente, avaliou-se a distribuição espacial dos pontos de verificação, a fim de avaliar se os pontos escolhidos possuem algum nível de agrupamento, baseando-se na Função K de Ripley, que foi implementada pela ferramenta *Multi-Distance Spatial Cluster Analysis* no software ArcGIS na versão 10.6. Outro método para avaliar o nível de agrupamento dos pontos de verificação foi através da Estatística do Vizinho mais Próximo.

Em uma etapa posterior, e de posse das coordenadas medidas em campo e estimadas pelo MDS, relativas aos pontos de verificação, foi realizado o teste t de *Student*, que faz uma análise de tendência e precisão dos dados, através da diferença entre a média de dois grupos. No caso, o primeiro grupo formado pelos pontos de verificação adquiridos em campo e o segundo grupo pelos mesmos pontos observados no ortomosaico e no MDS.

Tanto o método da estatística do Vizinho mais Próximo quanto o teste t de Student foram realizados no *software GeoPEC*, na versão 3.5, que possui algoritmos baseados em [2], sendo ainda de uso gratuito. Assim, foram gerados os resultados a partir dos testes estatísticos mencionados anteriormente e estabelecida a classificação dos trabalhos cartográficos realizados, baseados no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A distribuição espacial dos pontos de verificação pode ser determinante na avaliação da acurácia posicional dos resultados observados, posto que a confiança nestes resultados é baseada na sua capacidade de representação espacial de uma área.

Com base nisso, o teste da função K de Ripley foi aplicado à distribuição espacial dos pontos de verificação e o

gráfico utilizado na realização desta inferência é mostrado na Figura 4. Esse teste é aplicado com intuito similar em [6].

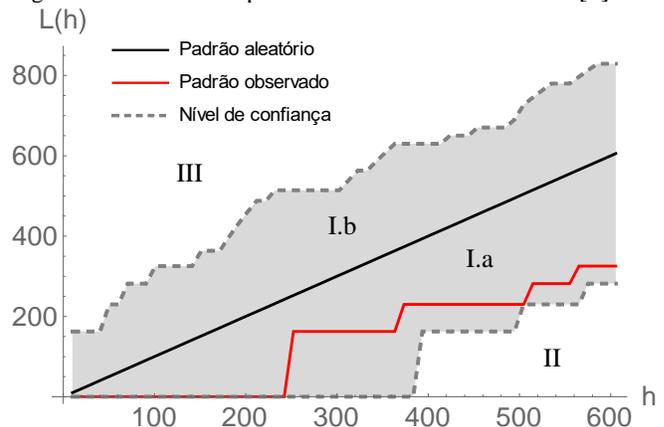


Figura 4. Gráfico da função K de Ripley para os pontos de verificação.

A reta preta indica um padrão teórico de distribuição aleatória e a porção hachurada que a envolve (Região I) estabelece um limite de confiança para atribuir significância estatística ao padrão aleatório. A reta vermelha indica o padrão observado para os 8 pontos de verificação indicados na Figura 2. A reta em questão, estando abaixo da curva referente a um padrão teórico de distribuição aleatório, é um indicativo de um padrão mais disperso que o aleatório, porém, predominantemente dentro da significância estatística de um padrão aleatório (Região I.a).

Uma característica mais dispersa também foi observada por meio da obtenção da Estatística do Vizinho mais Próximo, onde obtiveram-se que os valores do índice R (Tabela 1), os quais excederam a unidade para todas as ordens, indicam uma distribuição dispersa. O teste Z, para R, resultou em um valor de Z calculado que excede o seu valor tabelado, indicando que o nível de dispersão dos pontos em questão é estatisticamente significativo, para todas as ordens.

De posse do ortomosaico e do o MDS gerados durante o processamento, foi possível realizar a fotoidentificação dos alvos considerados como pontos de verificação e a consequente obtenção de suas coordenadas planimétricas e altimétricas (Figura 5). Pela aplicação do teste de normalidade Shapiro-Wilk, com nível de confiança de 95%, atestou-se que as discrepâncias (N, E e altimétrica) da amostra dos 8 pontos seguem uma distribuição normal, de forma que o teste t de *Student* pode ser utilizado. Aplicando-se o teste t de *Student* à amostra destas discrepâncias (Tabela 1), verificou-se a inexistência de tendências na direção E ($t_{calc(E)} < t_{tab}$) e na altimetria ($t_{calc(H)} < t_{tab}$). Por outro lado, sendo $t_{calc(N)} > t_{tab}$, as discrepâncias no sentido N mostraram-se tendenciosas. Segundo [7], as tendências nas discrepâncias podem ser parcialmente amenizadas pela adoção de um maior número de pontos de controle, de modo a minimizar a ocorrência de erros sistemáticos.

Tabela 1 - Estatísticas dos pontos de verificação

Distribuição espacial – Estatística do Vizinho mais Próximo		
1ª ordem	Índice $R = 1,4582$	$Z_{calc} = 2,4793$
2ª ordem	Índice $R = 1,7831$	$Z_{calc} = 6,1027$
3ª ordem	Índice $R = 66,9793$	$Z_{calc} = 634,5812$
$Z_{tab} = 1,96$		
Tendência – Teste T de Student		
$t_{calc(E)} = -0,4736$	$t_{calc(N)} = 2,4338$	$t_{calc(H)} = -0,489$
$t_{tab} = 1,8946$		
Decreto nº 89.817/1984		
PEC Classe A – Planimetria – Escala 1/2000		
$PEC = 1,0\text{ m}$	$EP = 0,6\text{ m}$	
$\%di(abs) < PEC \rightarrow 100\%$	$RMS = 0,1448\text{ m}$	
PEC Classe A – Altimetria – Equidistância = 2m		
$PEC = 1,0\text{ m}$	$EP = 0,6667\text{ m}$	
$\%di(H) < PEC \rightarrow 100\%$	$RMS = 0,339\text{ m}$	

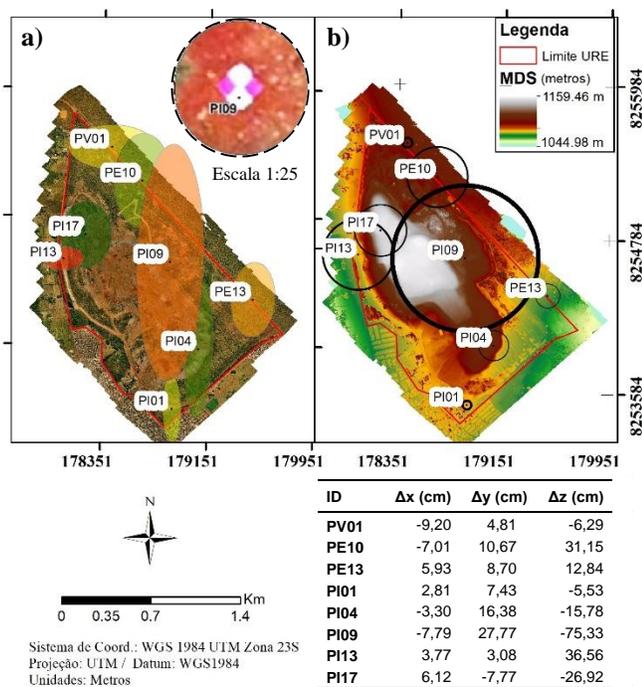


Figura 5. Tem-se, em a), as discrepâncias planimétricas representadas nos eixos x e y pelas elipses sobre o ortomosaico e, em b), as discrepâncias altimétricas representadas pelas circunferências sobre o MDS.

Por fim, como apresentado em [1], os valores do PEC e do Erro-padrão (EP) para que seja atingida a Classe A – com planimetria na escala 1:2000 e com altimetria para equidistância das curvas de nível de 2m – são apresentados na Tabela 1. Para as discrepâncias planimétricas ($di(abs)$) e altimétricas ($di(H)$), a totalidade dos valores obtidos encontraram-se abaixo do PEC exigido. O mesmo ocorreu com o Erro Médio Quadrático (ou RMS), ou seja, encontrou-se abaixo do Erro Padrão (EP). Desta maneira, as discrepâncias posicionais obtidas estão de acordo com o PEC Classe A. A distribuição das discrepâncias planimétricas e

altimétricas são, respectivamente, apresentadas no ortomosaico e MDS gerados (Figura 5).

4. CONCLUSÕES

A utilização de RPAs com o intuito de gerar produtos cartográficos vem sendo amplamente utilizada como uma opção rápida e economicamente atraente. Em contrapartida, diversos são os aspectos relacionados à acurácia posicional dos produtos gerados desta maneira. O presente artigo visou estudar estes aspectos a luz da normativa brasileira referente à precisão cartográfica [1]. Pela aplicação da metodologia proposta por [6] foi possível avaliar a distribuição espacial dos pontos de controle, e identificar a existência de tendências nas discrepâncias das coordenadas planimétricas e altimétricas destes pontos, quando comparados ao ortomosaico e ao MDS. Por fim, avaliou-se a adequação dos produtos cartográficos obtidos a uma classe do PEC.

5. REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL, DECRETO Nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817.htm>. Acesso em: 7 de outubro de 2018.
- [2] Santos, A.P.; Rodrigues, D.D.; Santos, N.T.; Junior, J.G., “Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais Utilizando Técnicas de Estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira.”, *BCG – Boletim de Ciências Geodésicas*, Versão Online, ISSN 1982-2170, 2016.
- [3] SLU, “Relatório de Atividades SLU – 1º trimestre 2018”, Brasília, DF, 98p., 2018. Disponível em: <http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/07/relatorio_de_atividades_primeiro_trimestre_2018.pdf>. Acesso em: 28 de setembro de 2018.
- [4] Thales Navigation, “ProMark2™ System User Guide”, E.U.A., 160p., 2004. Disponível em: <http://old.vtpup.cz/common/manual/PrF_geog_Ashtech_ProMark2_manual_EN.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2018.
- [5] IBGE, “RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GNSS”, Brasil, 2018. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>> Acesso em: 24 de setembro de 2018.
- [6] Zanetti, J.; Junior, J.G.; Santos, A.P., “Influência do Número e Distribuição de Pontos de Controle em Ortofotos Geradas a Partir de um levantamento por VANT”, *Revista Brasileira de Cartografia*, nº 69/2, 263-277, ISSN 1808-0936, 2017.
- [7] Silva, C.A.; Duarte, C.R.; Souto, M.V.S.; Sabadia, J.A.B., “Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)”, *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, João Pessoa, Brasil, INPE, 25 a 29 de abril de 2015.