

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>

Acurácia planimétrica de ortomosaico produzida com imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada

RESUMO

Miguel Julio Machado Guimarães
mjmguiaraes@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-5497-6442>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA SRM), São Raimundo das Mangabeiras, Maranhão, Brasil.

Ítalo Emmanuel dos Anjos Santos
italoemmanuelanjos@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-1310-9286>
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, Bahia, Brasil.

Isadora Benevides Miranda
isadorabenevidesmiranda@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-1821-2389>
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Anderson Santos da Silva
anderson.silva@ufape.edu.br
<http://orcid.org/0000-0002-2229-501X>
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

Fábio dos Anjos Rezende
fabiomil23@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-6432-9337>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão), Petrolina, Pernambuco, Brasil.

Juliane Rafele Alves Barros
juliane-ab@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-0408-0904>
Embrapa Semiárido/FACEPE, Petrolina, Pernambuco, Brasil.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia posicional planimétrica de um ortomosaico confeccionado com imagens obtidas a partir de uma aeronave remotamente pilotada. Para isto, foram georreferenciados 65 pontos de verificação através de um levantamento geodésico utilizando receptores GNSS em uma área de 4,9 ha. Em seguida foi realizado um levantamento aerofotogramétrico com uma aeronave remotamente pilotada, com dez pontos de controle para o georreferenciamento das imagens. O processamento digital das imagens foi realizado através da técnica SFM – *Structure from motion*, tendo como produto o ortomosaico georreferenciado. Após a confecção do ortomosaico, foi realizada a extração de coordenadas geográficas para determinar as discrepâncias posicionais horizontais entre os pontos de verificação foto-identificáveis e seus homólogos extraídos do ortomosaico. O ortomosaico confeccionado foi avaliado conforme os critérios estabelecidos pelo decreto-lei nº 89.817/1984 e Norma de Execução INCRA/DF/ Nº 02/2018. Apesar de não atender aos critérios impostos pelo INCRA para ser utilizada no georreferenciamento de imóveis rurais, o ortomosaico gerado apresentou alta precisão posicional planimétrica, com valores de discrepância médios em torno de 0,121 m dos pontos de verificação, sendo enquadrada na Classe A do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD) para a escala de 1:1.000, mostrando grande potencial de uso em levantamentos cadastrais.

PALAVRAS-CHAVE: Georreferenciamento. GNSS. Ortoimagem. Pontos de Controle. Processamento Digital de Imagens.

INTRODUÇÃO

A utilização da aerofotogrametria a curta distância aumentou notavelmente durante a última década devido ao aumento da disponibilidade de aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) e sistemas de aquisição de imagens digitais mais eficientes, juntamente com o avanço de técnicas mais fáceis para o processamento digital de imagens (PDI) (SADEQ, 2019). Apesar de terem, inicialmente, a finalidade de uso militar, atualmente, os RPAs têm ganhado espaço consolidado no mercado e sendo cada vez mais utilizados. Suas aplicações abrangem os setores de infraestrutura, agricultura, telecomunicação, construção civil, segurança, transporte, minas, entretenimento e mídia, acompanhamentos logísticos e inspeções industriais (VALAVANIS; VACHTSEVANOS, 2015).

As aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) podem ser muito eficientes na aquisição de dados geoespaciais em grande escala, os quais podem ser utilizados para gerar vários produtos, podendo-se citar modelos digitais de superfície, ortofotos, modelos 3D de edifícios, mapas topográficos, características planimétricas e levantamentos quantitativo, entre outros. Estes produtos são cruciais em diferentes áreas, tais como mapeamento topográfico, planejamento urbano e rural, gestão de atividades agrícolas, modelagem de fenômenos ambientais, entre outros (COLOMINA; MOLINA, 2014; OLLERO, 2015).

Em Silva et al. (2016) os autores obtiveram melhores resultados e maior grau de detalhamento no cálculo de distâncias e volumes ao utilizar dados gerados por um RPA para confecção de modelos digitais de terreno, quando comparado com dados da tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR) apoiado por *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Em Casella et al. (2020), os autores obtiveram precisão média de cinco cm no levantamento topográfico planialtimétrico de faixas de areia de praias com RPA. Em Daramola et al. (2017), avaliou-se a acurácia planimétrica de ortomosaicos confeccionados com imagens obtidas com um RPA, chegou-se a conclusão que as mesmas podem ser utilizadas para a compilação de mapas em grande escala ou levantamento similar ao topográfico de áreas parcialmente acessíveis ou inacessíveis.

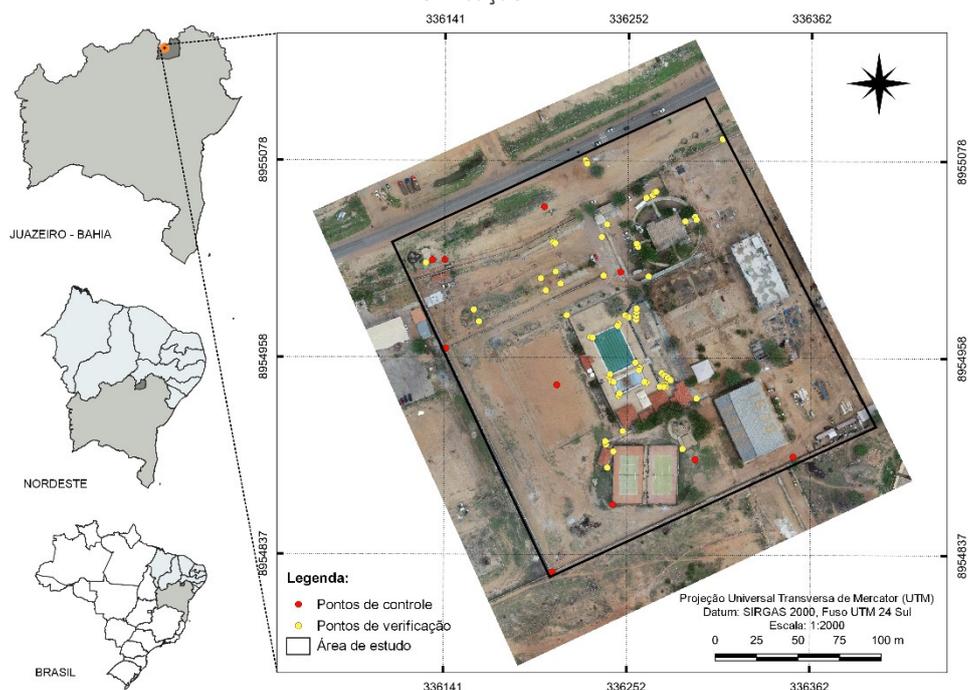
Os ortomosaicos produzidos com imagens obtidas por RPA's são considerados por muitos autores como sendo o principal produto gerado no processamento digital das imagens (COLOMINA; MOLINA, 2014; OLLERO 2015). A precisão posicional de ortomosaicos geradas com imagens obtidas por RPA's pode variar em função do modelo do RPA e do sensor embarcado; das configurações de altitude, velocidade e sobreposição no planejamento de voo; da utilização e quantidade de pontos de controle para georreferenciamento, entre outros fatores. Dos fatores que mais afetam a precisão dos ortomosaicos produzidas com RPA, diversos autores relatam que a utilização e boa distribuição dos pontos de controle na área levantada são essenciais para obter alta precisão do produto gerado (HARWIN; LUCIEER, 2012; MARTÍNEZ-CARRICONDO et al., 2018).

Desta forma, o objetivo deste trabalho se constitui em verificar a acurácia posicional planimétrica de um ortomosaico confeccionado a partir de imagens obtidas com uma câmera embarcada em uma aeronave remotamente pilotada.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de Juazeiro-BA, na região do Submédio do Vale do São Francisco (latitude 09°27'0,86" S, longitude 40°29'29,31" O, altitude 373 m), em uma propriedade localizada na zona urbana, com área de 49.180,12 m² e 765,33 m de perímetro. De acordo com a Figura 1, 84% da área total são de solo descoberto, e possui muros de separação em 3 laterais (oeste, norte e sul).

Figura 1 – Área de estudo com distribuição geográfica dos pontos de controle e verificação



Fonte: Autoria própria (2023).

O levantamento geodésico, utilizado como referência neste trabalho, foi realizado seguindo a norma técnica ABNT NBR 13.133/2021, que trata dos procedimentos que devem ser utilizados em levantamentos topográficos (ABNT, 2021). Com relação ao equipamento, empregou-se um par de aparelhos GNSS do modelo Spectra Precision SP80, com acurácia de 8 mm + 1 ppm para horizontal e 15 mm + 1 ppm na vertical, no modo *Real Time Kinematic* (RTK), com a aquisição de coordenadas geodésicas de 65 pontos de verificação foto-identificáveis.

Uma base de referência foi instalada em um ponto central na área experimental, sendo esses dados processados pela plataforma IBGE-PPP - Serviço online para pós-processamento de dados GNSS, que processa dados de base GNSS coletados por receptores para permitir obter coordenadas referenciadas ao SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) (IBGE, 2021). A partir das coordenadas precisas da base fornecidas pela plataforma, foi realizada a correção das coordenadas coletadas de todos os pontos do levantamento.

O levantamento fotogramétrico foi realizado na sequência com a utilização de uma aeronave remotamente pilotada (RPA) drone da marca DJI, modelo Phantom 4. Foram utilizados dez pontos de controle (GCP), os quais foram pré-sinalizados com peças confeccionadas com placas de madeira com quadrícula de 20 cm x 30 cm de largura e comprimento, respectivamente. O voo foi planejado

no *software PIX4D*, a 60 metros de altura, velocidade de 6 m s⁻¹ e 80% de sobreposição lateral e longitudinal. A área do levantamento foi delimitada a fim de coletar todos os GCPs implantados por todo perímetro do imóvel, com o propósito de classificar e validar esse georreferenciamento por meio de RPA's, ao ser comparado com a técnica geodésica de posicionamento por ponto simples.

O processamento das imagens foi realizado no *software Agisoft Metashape 1.6.3*, em que a etapa central é realizada por meio da técnica SFM (do inglês - *Structure from motion*), que é uma técnica de processamento de imagem utilizada para reconstruir estruturas tridimensionais a partir de sequências de imagens bidimensionais coletadas por câmeras em movimento (JIANG et al., 2020).

A confecção do ortomosaico seguiu o seguinte fluxo de trabalho: importação das fotos, alinhamento de fotos (correspondência automática de pontos homólogos e cálculo dos parâmetros de posição e orientação das imagens), apontamento de pontos de controle, realinhamento de fotos, geração de nuvem densa de pontos, geração e exportação de modelo digital de elevação (MDE) e por fim, geração e exportação do ortomosaico. Foi utilizado um computador com a seguinte configuração de hardware para o processamento das imagens: processador Intel Core i5-8265U 1.6GHz com 4 núcleos de processamento e 8 *Threads*; unidades de armazenamento do tipo SSD com 240 Gb e HD com 1Tb; placa gráfica NVIDIA modelo GeForce MX110 com 2 Gb; e memória RAM de 8 Gb.

Após a confecção do ortomosaico, o *software* livre QGIS® 3.14 foi utilizado para extração de coordenadas através de uma camada vetorial do tipo ponto, em que foram determinados os pontos foto-identificáveis e mensuradas suas coordenadas no plano do ortomosaico. Na sequência foram importadas no mesmo ambiente as coordenadas dos pontos levantados com o GNSS.

Em seguida, foram calculadas as discrepâncias posicionais horizontais (d) entre os pontos de verificação foto-identificáveis em campo e seus homólogos extraídos do ortomosaico, conforme a Equação 1.

$$d = \sqrt{(X_r - X_i)^2 + (Y_r - Y_i)^2} \quad (1)$$

Em que: d é a discrepância posicional horizontal; X_r e Y_r são coordenadas geográficas obtidas pelo método de referência e X_i e Y_i são as coordenadas geográficas determinadas através do ortomosaico confeccionado.

A inspeção de *outliers* foi realizada através da determinação do valor limite de detecção de *outliers* (VLO) (Equação 2), na qual os pontos que obtiveram valores de d superior ao VLO são classificados como outliers, através da Equação 2 (SANTOS et al., 2016; VITTI et al., 2018). Para tal avaliação foi selecionada Classe A do Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais (ET-ADGV-Defesa FT) como referência de qualidade do estudo (DSG, 2016).

$$VLO = [|d \text{ médio}| + 3 * EP(\text{Classe})] \quad (2)$$

Em que: VLO é o valor limite de detecção de outliers; d média é a discrepância posicional horizontal média; EP (Classe) é o erro posicional máximo para a classe escolhida.

Em posse das discrepâncias das coordenadas, foi calculado o erro médio quadrático (RMSE) conforme Jiménez-Jiménez et al. (2021), através da Equação 3.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(d_i)^2}{n-1}} \quad (3)$$

Em que: RMSE é a Raiz quadrada do erro-médio; d_i é a discrepância do ponto i , e n , o número de pontos.

Para especializar a discrepância posicional horizontal em toda a área de estudo foi realizada a interpolação dos dados obtidos através da técnica de Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW), com o software *QGIS*® 3.14. Este método realiza a estimativa da variável ao longo do espaço, ponderando pesos a cada um dos n postos mais próximos, o que é função do inverso de uma potência da distância, ou seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior o peso atribuído ao ponto amostrado (JIMENEZ; DOMECCO, 2008).

Para determinar a qualidade do ortomosaico gerado, foi utilizado o *software GeoPEC 3.5.2* para avaliação do padrão de acurácia posicional, conforme decreto-lei nº 89.817/1984 e a Norma de Execução INCRA/DF/ Nº 02 de 19 de fevereiro de 2018 do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). O decreto-lei leva em consideração o RMSE e a distribuição de erros ao longo do produto, utilizando um indicador estatístico da qualidade posicional, denominado de “Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)”, apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional planimétrica utilizando o Decreto-lei nº 89.817 aliada à ET-ADGV-Defesa FT para cartas com escala de 1:1.000

Classe PEC	Classe PEC-PCD	PEC (m)	EP* (m)
-	A	0,28	0,17
A	B	0,50	0,30
B	C	0,80	0,50
C	D	1,00	0,60

* EP é uma tolerância chamada “erro-padrão”. Fonte: DSG (2016).

Desta forma, para o enquadramento do produto em uma determinada classe, segundo o padrão de acurácia posicional do Decreto-lei 89.817/ET-ADGV, devem ser atendidas duas condições (BRASIL, 1984; DSG, 2016): noventa por cento (90%) dos pontos coletados no produto, quando as suas coordenadas forem comparadas com as levantadas em campo, por método de alta precisão, ou levantadas em outro dado espacial de maior acurácia, deverão apresentar os valores de discrepâncias posicionais iguais ou inferiores ao valor da tolerância “PEC” em relação à escala e classe testada; e o RMSE da amostra de discrepâncias posicionais deve ser igual ou inferior à tolerância, indicado pelo Erro-Padrão (EP) definido pela norma, para a escala e classe testada.

Já a Norma de Execução INCRA/DF/ Nº 02/2018 (INCRA, 2018) cita os critérios que devem ser atendidos ao utilizar aerofotogrametria para fins de

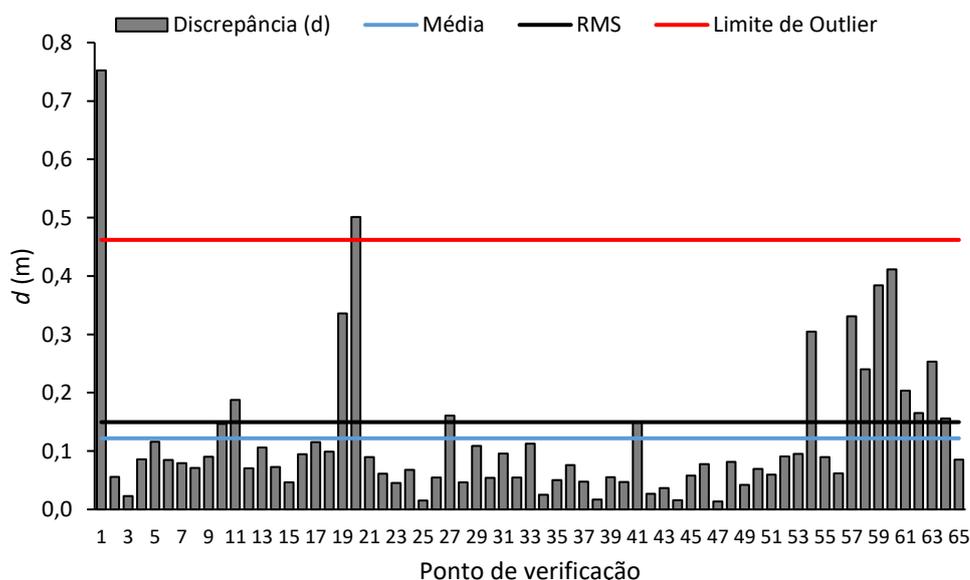
georreferenciamento de imóveis rurais, destacando quatro pontos técnicos e estatísticos específicos:

1. Uso de no mínimo 20 pontos de verificação, os quais deverão ser devidamente pré-sinalizados em campo;
2. Teste estatístico que comprove a normalidade das discrepâncias posicionais planimétricas ao nível de confiança de 95%, usando o método de Shapiro-Wilk;
3. Teste de tendência ao nível de 90%, usando o teste *t-student*, que comprove a não-tendenciosidade;
4. 100% das discrepâncias posicionais menores ou iguais à precisão posicional correspondente a cada tipo de limite, segundo o item 7.2 do Manual Técnico de Posicionamento (INCRA, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados gerados a partir da determinação das discrepâncias ponto-a-ponto são apresentados na Figura 2, onde é possível observar os valores de discrepâncias posicionais planimétricas e a discrepância média, RMSE e o limite utilizado para determinar um ponto como outlier no produto. No estudo realizado, os pontos 01 e 20 foram considerados como outliers, pois apresentaram discrepâncias (d) superiores a 0,461 m, e com isto não foram utilizados para verificação da precisão do ortomosaico confeccionado.

Figura 2. Discrepância posicional planimétrica obtido através do método de Pontos utilizado no processo de avaliação da acurácia posicional



Fonte: Autoria própria (2023).

Pode-se observar um d médio de 0,121 m nos dados avaliados, com um valor máximo de 0,752 m no ponto 01, classificado como outlier, com um valor mínimo de 0,014 m no ponto 47, localizado no centro do ortomosaico, com um RMSE de 0,149 m. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem alta acurácia do

ortomosaico produzido, haja vista que os valores de d observados foram relativamente baixos quando comparados a outros trabalhos similares na literatura. Fonseca Neto et al. (2017) observou discrepância média de 0,163 m, com RMSE de 0,186 m ao utilizar a mesma metodologia para avaliar a acurácia posicional planimétrica de um ortomosaico gerado a partir de um sensor embarcado em uma plataforma RPA de modelo idêntico ao utilizado neste trabalho. Em Vitti et al. (2018) foram verificados valores de RMSE superiores a 0,375 m, com valor máximo de 0,514 m, ao avaliar a precisão de mosaicos de imagens obtidas com RPA com diferentes sensores de aquisição de imagens. Já Liu et al. (2018) e Gómez-Candón et al. (2014) obtiveram resultados de RMSE na ordem milimétrica, indicando a viabilidade do uso desse produto em aplicações de alta precisão.

A resolução espacial do ortomosaico confeccionado foi de 0,03 m, ou seja, cada pixel da imagem representa as informações referentes a uma área de 0,03 x 0,03 m. Ao correlacionar este valor com o RMS obtido (0,149 m), verifica-se que, em termos de pixel, este resultado infere que o erro é em média equivalente a 5 pixels. De acordo com autores da área, em trabalhos com aerofotogrametria, é desejável que se obtenha um RMSE menor que o tamanho de 1 pixel, sendo escasso o número de trabalhos que se encontra esse valor com imagens obtidas por RPAs (LALIBERTE et al., 2010; POPESCU et al., 2016).

Ao observar a espacialização da d em toda a área estudada através da interpolação IDW, pode-se observar alta precisão do produto gerado, haja vista que em mais de 85% da área estudada, d é inferior a 0,186 m (Figura 3A). Na Figura 3B e 3C são apresentados os recortes de detalhe dos pontos 01 e 20, os quais foram classificados como outliers devido ao elevado valor de d . Pode-se observar que no ponto 20 esta magnitude de d foi provocada por uma distorção no ortomosaico produzido. Erros advindos de distorções na geração de ortofotos são frequentes, e podem ser provocados por diversos fatores que incidem no momento da aquisição das imagens (SANZ-ABLANEDO et al., 2018), podendo-se citar a velocidade e altura de voo, sobreposição configurada, bem como a incidência de ventos fortes sobre o equipamento.

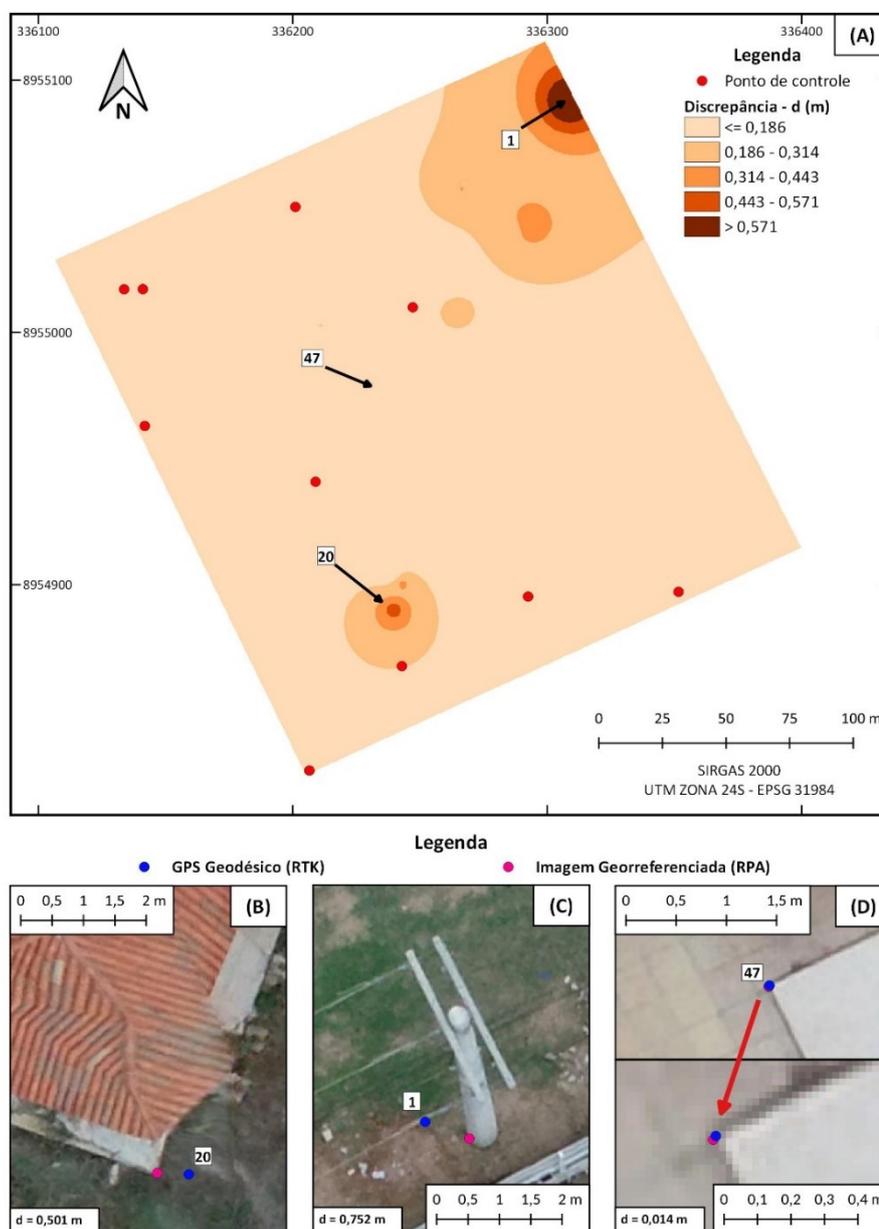
Sai et al. (2019) verificaram distorções em ortomosaicos gerados com imagens obtidas por RPA e atrelaram esses erros não somente às configurações de voo. Para estes autores, um dos principais fatores que podem reduzir problemas de distorções em ortomosaicos é a qualidade da nuvem de pontos gerada no momento do processamento digital das imagens, sendo necessário verificar e corrigir os erros de incerteza gerados pelo *software* de processamento das imagens. Liu et al. (2018) afirmaram que a qualidade do ortomosaico tem relação direta com o modelo digital de elevação produzido com a nuvem de pontos gerada a partir das imagens obtidas, logo, a correção de erros de incerteza configura etapa extremamente importante para garantir a qualidade da imagem.

Já no ponto 01 (Figura 3C), o elevado valor de d foi provocado pela distribuição dos pontos de controle utilizados para o georreferenciamento do ortomosaico. Pode-se observar que o mesmo encontra-se na extremidade norte da área de estudo, com ausência de pontos de controle próximos. Desta forma, uma melhor precisão seria alcançada caso os pontos de controle fossem uniformemente distribuídos em toda a área. Em Sanz-Ablanedo et al. (2018) os autores avaliaram a interferência da localização dos pontos de controle na acurácia de ortomosaico gerado por um RPA, e verificaram que concentrar os

GCPs em locais específicos na área de estudo pode provocar lacunas com baixa precisão, logo, os mesmos devem ser distribuídos uniformemente por toda a área, principalmente nas regiões periféricas (GOMES-CANDÓN et al., 2014; HARWIN; LUCIEER, 2012; TAHAR, 2013).

Em Martínez-Carricondo et al. (2018), os autores avaliaram a acurácia planimétrica de um ortomosaico em função da distribuição dos GCP, foi verificado erros horizontais de até 0,035 m quando distribuíram os GCPs apenas nas regiões periféricas da área, sendo que este erro aumentou para 0,045 m quando os GCPs foram distribuídos de forma estratificada em toda a área, reforçando assim a importância da seleção de áreas periféricas para aumentar a qualidade dos produtos gerados.

Figura 3. Espacialização da discrepância horizontal em imagem obtida por aeronave remotamente pilotada



Fonte: Autoria própria (2023).

Por meio do *software* GeoPEC, foi definido o padrão de exatidão cartográfica dos pontos listados anteriormente na escala 1/1000 (Tabela 2). Pode-se observar um comportamento não tendencioso ao teste de tendência T de Student a 90% de significância, não havendo assim tendências de distorção da imagem produzida para as direções norte e este.

Tabela 2. Parâmetros de processamento e classificação final do produto gerado.

Processamento		
Escala de Referência:	1/1000	
Pontos de verificação	65	
N.º de outliers	2	
Pontos de verificação utilizados	63	
Valor limite de detecção - VLO (m)	0,4619	
Testes de Precisão		
Teste de Tendência t de Student (90%)		
Discrepância das coordenadas	t - Tabelado	t - Calculado
Δd (E)	1,6701	0,077
Δd (N)	1,6701	-0,5063
Resultado	Não tendencioso	
Azimute		
Média direcional	137,86°	
Variância circular	0,7371	
Resultado	Não tendencioso	
Teste de Shapiro-Wilk		
Coordenada	W calculado	p - value
W (N)	0,9823	0,4789
W (E)	0,7594	0
W (2d)	0,6835	0
Resultado	Amostra Não Normal	
PEC-PCD (Decreto-lei 89.817/ET-ADGV-Defesa FT)		
PEC Classe A	0,28	
EP Classe A	0,17	
RMS	0,1496	
Acurácia Posicional Planimétrica		
Aplicação	Limite Artificial	
Decreto-lei 89.817	Classe A	
INCRA / Georreferenciamento	Não atende	

Fonte: Autoria própria (2023).

O azimute dos vetores formados a partir da comparação dos pontos apresentou média direcional de $137,86^\circ$, com variância circular de 0,7371, a qual foi classificada como não tendenciosa haja vista que valores próximos a 1 indicam que não há tendência no ortomosaico produzido (SANTOS et al., 2016), concluindo-se assim que as direções das discrepâncias estão distribuídas por todo o círculo de azimutes possíveis.

O p-valor do teste de Shapiro-Wilk para as discrepâncias em E e 2d observadas no ortomosaico foi de 0,0, classificando assim a amostra avaliada como não normal. Resultados semelhantes foram obtidos por Vitti et al. (2018) ao avaliar a acurácia posicional de ortoimagens produzidas a partir de imagens capturadas por um RPA.

Desta forma, pode-se concluir que, mesmo apresentando precisão posicional inferior ou igual a 0,5 m, o que enquadraria a imagem para ser utilizada na identificação de vértices de limites artificiais, a imagem produzida não atendeu os critérios estabelecidos pelo INCRA para utilizar aerofotogrametria para fins de georreferenciamento de imóveis em ambiente rural haja vista que a amostra não apresenta normalidade ao ser avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk a 95% de confiança (INCRA, 2018). Por sua vez, a mesma é acurada posicionalmente para a escala de 1:1.000, classe A (Decreto-lei 89.817/ET-ADGV-Defesa FT), apresentando RMS de 0,1496 m.

Estes resultados são satisfatórios para serem utilizados na cartografia cadastral, podendo o ortomosaico em questão constituir uma ferramenta cartográfica relevante para diversas aplicações, como o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), o Cadastro Ambiental Rural (CAR), Georreferenciamento de Imóveis Rurais, cadastro para liberação de crédito rural das instituições financeiras, entre outras (FONSECA NETO et al., 2017).

Diversos autores relatam que para se obter produtos digitais advindos de levantamentos aerofotogramétricos realizados por RPAs, devem ser considerados vários fatores que incidem desde à aquisição das imagens em campo, como a velocidade e altura de voo, sobreposição configurada, incidência de ventos fortes sobre o equipamento (SANZ-ABLANEDO et al., 2018), até o processamento digital das imagens, podendo-se citar a qualidade da nuvem de pontos gerada durante o processo (SAI et al., 2019; LIU et al., 2018).

CONCLUSÃO

Conforme a metodologia utilizada, e a partir dos resultados obtidos, foi possível obter um ortomosaico com alta precisão posicional planimétrica quando comparada a trabalhos similares, com valores de discrepância médio em torno de 0,121 m dos pontos de verificação, sendo enquadrada na Classe A da PEC-PCD para a escala de 1:1.000.

Os altos valores de discrepância verificados em alguns pontos podem ser explicados pela distribuição dos pontos de controle utilizados para o georreferenciamento do ortomosaico, evidenciando que uma melhor precisão planimétrica é alcançada quando os pontos de controle são uniformemente distribuídos em toda a área.

Os resultados também mostraram que erros advindos de distorções de imagem na geração de ortomosaicos são frequentes, o que pode provocar perda significativa da qualidade do produto digital. Estes erros já são conhecidos na literatura e podem ser provocados por fatores que incidem no momento da aquisição das imagens em campo, bem como no momento do processamento digital.

A aplicação de parâmetros de avaliação de imóveis em propriedades rurais, como a Norma de Execução INCRA/DF/ Nº 02/2018, em propriedades urbanas e/ou de uso misto é importante para balizar os estudos de aplicação da aerofotogrametria nesses tipos de propriedades.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação da metodologia em áreas de estudo maiores, com variação da quantidade e distribuição dos pontos de controle para melhor verificar a influência sobre o produto gerado.

Planimetric accuracy of an orthomosaic produced with remotely piloted aircraft images

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the planimetric positional accuracy of an orthomosaic made with images obtained with a remotely piloted aircraft. For this, 65 verification points were georeferenced by a conventional topographic survey using GNSS receivers in an area of 4.9 ha. Then an aerophotogrammetric survey was carried out with a remotely piloted aircraft, with ten control points for the georeferencing of the images. The digital processing of the images was carried out using the SFM - Structure from motion technique, with the georeferenced orthomosaic as a product. After making the orthomosaic, the geographic coordinates were extracted to determine the horizontal positional discrepancies between the photo-identifiable checkpoints and their counterparts extracted from the orthomosaic. The orthomosaic made was evaluated according to the criteria established by Decree Law No. 89,817/1984 and Execution Standard INCRA/DF/ No. 02/2018. Despite not meeting the criteria imposed by INCRA to be used in the georeferencing of rural properties, the orthomosaic generated showed high positional planimetric accuracy, with average discrepancy values around 0.121 m from the verification points, being classified in Class A of the Standard of Cartographic Accuracy (PEC-PCD) for the scale of 1:1,000, showing great potential for use in cadastral surveys.

KEYWORDS: Georeferencing. GNSS. Orthoimagery. Ground Control Points. Digital Image Processing.

AGRADECIMENTO

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus São Raimundo das Mangabeiras, pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR13133 - Execução de Levantamentos Topográficos - Procedimentos. 2ª Edição. Rio de Janeiro. 57 p., 2021.

BRASIL. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. Normas Técnicas Da Cartografia Nacional. Brasil. 1984. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm. Acesso em: 02 jan. 2020.

CASELLA, E.; DRECHSEL, J.; WINTER, C.; BENNINGHOFF, M.; ROVERE, A. Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. **Geo-Marine Letters** v. 40, n. 1, p 255-268. 2020. <https://doi.org/10.1007/s00367-020-00638-8>

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** v. 92, n. 1, p. 79–97, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>

DARAMOLA, O.; OLALEYE, J.; AJAYI, O. G.; OLAWUNI, O. Assessing the geometric accuracy of UAV-based orthophotos. **South African Journal of Geomatics**, v. 6. n. 3, p. 395-406, 2017. <https://doi.org/10.4314/sajg.v6i3.9>

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO - DSG. Norma da especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais de defesa da força terrestre: ET-ADGV-Defesa F Ter 1ª Parte. 2ª ed., EB80-N-72.003. Local de publicação: Ministério da Defesa: Exército Brasileiro, 85 p., 2016. Disponível em < https://bdgex.eb.mil.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=82&Itemid=354&lang=pt> Acessos em 01 Jul. 2023.

FONSECA NETO, F. D.; GRIPP JÚNIOR, J.; BOTELHO, M. F.; SANTOS, A. P.; NASCIMENTO, L. A.; FONSECA, A. L. B. Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por vant utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 134 - 149, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702017000100009>

GÓMEZ-CANDÓN, D.; DE CASTRO, A. I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. **Precision Agriculture**, v. 15, n. 1, p. 44–56, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9335-4>

HARWIN, S.; LUCIEER, A. Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery. **Remote Sensing**, v. 4, n. 6, p. 1573-1599, 2012. <https://doi.org/10.3390/rs4061573>

INCRA. Norma de Execução INCRA/DF/Nº 2 de 19 de Fevereiro de 2018. Brasília. 2 p., 2018. Disponível em < https://www.gov.br/incra/pt-br/centrais-de-conteudos/legislacao/NE_02_2018_DF.pdf> Acesso em 18 nov. 2022.

INCRA. Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais. 1ª ed. Brasília: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. 37 p., 2013. Disponível em < https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/manual_tecnico_posicionamento_1ed.pdf> Acesso em 18 nov. 2022.

JIANG, S.; JIANG, C.; JIANG, W. Efficient structure from motion for large-scale UAV images: A review and a comparison of SfM tools. **ISPRS J Photogramm**, v. 167, p. 230-251, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.isprsiprs.2020.04.016>

JIMENEZ, K. Q.; DOMEQ, F. M. Estimaco de chuva usando métodos de interpolao. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidrulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.16, 2008.

JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, S. I.; OJEDA-BUSTAMANTE, W.; MARCIAL-PABLO, M. DE J.; ENCISO, J. Digital terrain models generated with low-cost UAV photogrammetry: methodology and accuracy. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 5, p. 1-27, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050285>

LALIBERTE, A. S., HERRICK, J. E., RANGO, A., & WINTERS, C. Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 76, n. 6, p. 661-672, 2010. <https://doi.org/10.14358/PERS.76.6.661>

LIU, Y.; ZHENG, X.; AI, G.; ZHANG, Y. ZUO, Y. Generating a High-Precision True Digital Orthophoto Map Based on UAV Images. **ISPRS International Journal of Geo-Information**. v. 7, n. 9, p. 1-15, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijgi7090333>

MARTÍNEZ-CARRICONDO, P.; AGÜERA-VEGA, F.; CARVAJAL-RAMÍREZ, F.; MESAS-CARRASCOSA, F.; GARCÍA-FERRER, A.; PÉREZ-PORRAS, F. Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 72, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.015>

OLLERO, A. UAV applications. In: Handbook of unmanned aerial vehicles. Edited by K.P. Valavanis and G.J. Vachtsevanos. Springer, the Netherlands. p. 2637–2860 2015.

POPESCU, G.; IORDAN, D; PĂUNESCU, V. The Resultant Positional Accuracy for the Orthophotos Obtained with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 10, n. 1, p. 458-464, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.09.016>

SAI, S. S.; TJAHJADI, M. E.; ROKHMANA, C. A. Geometric Accuracy Assessments of Orthophoto Production from UAV Aerial Images. **KnE Engineering**, v. 4, n. 3, p. 333–344. 2019. <http://dx.doi.org/10.18502/keg.v4i3.5876>

SADEQ, H. A. Accuracy assessment using different UAV image overlaps. **Journal of Unmanned Vehicle Systems**, v. 7, n. 3, p. 175-193, 2019. <https://doi.org/10.1139/juvs-2018-0014>

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JUNIOR, J. Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais Utilizando Técnicas de Estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 22, n. 4, p. 630-650. 2016. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702016000400036>

SANZ-ABLANEDO, E.; CHANDLER, J. H.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; ORDÓÑEZ, C. Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and sfm photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used. **Remote Sensing**, v. 10, n. 10, p. 1-19, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10101606>

SILVA, C. A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; BICHO, C. P.; SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, p. 73 - 94, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000100005>

TAHAR, K. N. An evaluation on different number of ground control points in unmanned aerial vehicle photogrammetric block. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XL-2/W2, p. 93-98, 2013. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W2-93-2013>

VALAVANIS, K.; VACHTSEVANOS, G. Handbook of unmanned aerial vehicles. Heidelberg: Springer, 2015. 3022 p.

VITTI, D. M. C.; MAUAD, F. F.; MARQUES JUNIOR, A.; INOCÊNCIO, L. C.; VERONEZ, M. R. Análise Direcional de Erros Sistemáticos em ortomosaico gerado por meio de ARP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 5, p. 1566-1594. 2018. <https://doi.org/10.14393/rbcv70n5-44563>

Recebido: 18 dez. 2022

Aprovado: 01 jul. 2023

DOI: 10.3895/rbgeo.v11n2.16230

Como citar: GUIMARÃES, M. J. M.; SANTOS, I. E. A.; MIRANDA, I. B.; SILVA, A. S.; REZENDE, F. A.; BARROS, J. R. A.. Acurácia planimétrica de ortomosaico produzida com imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 11, n. 2, p.501-516, abr./jun. 2023. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Miguel Julio Machado Guimarães

Rodovia BR-230, Km 319, CEP 65840-000, São Raimundo das Mangabeiras, Maranhão, Paraná, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

