LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PLANIALTIMÉTRICO A PARTIR DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS, NO CAMPUS PAULO VI DA UEMA

Luiz Gustavo Barbosa de Amorim[1]

Cláudio José da Silva de Sousa[2]

INTRODUÇÃO

Na Topografia, ciência aplicada que visa representar as feições naturais e artificiais de uma porção da superfície terrestre, de forma que a curvatura do planeta é desconsiderada, a aquisição de variáveis angulares e lineares está relacionada aos métodos de levantamento topográfico: planimétrico, altimétrico e planialtimétrico (Borges, 2013; Silva; Segantine, 2015; Tuller; Saraiva, 2016; Salgado Neto, 2019; McCormac et al., 2019).

Enquanto o primeiro método se propõe a projetar os detalhes topográficos no plano horizontal, de acordo com a finalidade, o segundo almeja a determinação das altitudes e diferenças de nível entre pontos topográficos. O levantamento planialtimétrico, por sua vez, trata do levantamento planimétrico acrescido da determinação altimétrica do relevo e da drenagem natural (ABNT NBR 13.133, 2021). Ainda, quando esse último levantamento envolve a aquisição de detalhes visíveis ao nível e acima do solo, como limites de vegetação ou culturas, cercas, edificações, posteamentos, valas, entre outros, recebe o nome de levantamento planialtimétrico cadastral.

Os levantamentos planialtimétricos fazem uso de equipamentos e acessórios, como estações totais e prismas, ou receptores Global Navigation Satellite Systems (GNSS), segundo os métodos absoluto, relativo ou diferencial, sendo este último o mais utilizado (Monico, 2008). Os levantamentos planialtimétricos também podem ser realizados a partir da Fotogrametria, ciência e tecnologia de obtenção de informações de feições da superfície topográfica por meio dos processos de registro, medição e interpretação de fotografias (Andrade, 1998). Quando são empregadas fotografias obtidas a partir de sensores embarcados em aeronaves, tem-se a Fotogrametria Aérea ou Aerofotogrametria, que engloba o maior número de aplicações em Topografia (Andrade, 1998).

Mais recentemente, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), cujas primeiras plataformas remetem aos anos 1980 e apresentavam forte aplicação militar (Jensen, 2009), tomaram grande impulso nas aplicações topográficas, com a incorporação de plataformas comumente denominadas drones, em alusão ao zumbido produzido pelo motor do equipamento, semelhante ao produzido por um "zangão". Essas plataformas também são conhecidas como Aeronaves Remotamente Pilotadas, termo empregado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), responsável pela regulamentação do uso desses equipamentos.

Ao longo da última década, a evolução dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) demonstra a possibilidade de realizar o levantamento planialtimétrico utilizando a fotogrametria digital para obtenção do modelo digital do terreno, a partir do qual são determinados os elementos altimétricos, e métodos de restituição fotogramétrica para a vetorização dos elementos planimétricos.

1 Discente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão; E-mail luiz.20220000275@aluno.uema.br; Bolsista PIBIC/FAPEMA.

2 Doutor em Geociências Aplicadas e Geodinâmica. Docente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão; E-mail claudiojose@professor.uema.br.

Segundo Tommaselli (2004), a Fotogrametria apresenta uma série de vantagens sobre os processos diretos de medição (como, por exemplo, Topografia e Geodésia), tanto para o mapeamento quanto para outras aplicações: o objeto a ser medido não é tocado; a aquisição dos dados é rápida; podem ser medidos movimentos e deformações; as fotografias podem ser medidas a qualquer momento desejado, podendo-se repetir a medida várias vezes; a precisão pode ser aumentada de acordo com as necessidades particulares de cada projeto; e superfícies complicadas podem ser facilmente determinadas com a densidade desejada.

Pela praticidade e facilidade encontradas na aquisição de medidas em quaisquer tipos de superfície, a Fotogrametria é utilizada em obras da construção civil, na indústria, na agricultura mecanizada, entre outros setores. Diante dessas necessidades, o planejamento e a organização dos serviços, tanto públicos quanto privados, devem ser elaborados de forma eficiente, exigindo modelos atualizados que representem a superfície terrestre de maneira precisa.

No contexto da Universidade Estadual do Maranhão, a disciplina de Topografia compõe o currículo dos cursos de graduação em Engenharia Civil, Engenharia de Pesca, Agronomia e Arquitetura e Urbanismo. Nesse sentido, a implementação e a validação de novos métodos de levantamento topográfico são necessárias para o aprimoramento da atividade de ensino, bem como para o desenvolvimento de habilidades e competências alinhadas às atuais demandas do mercado de trabalho. Esses aspectos justificam o presente trabalho, cujo objetivo consiste em comparar os produtos do levantamento aerofotogramétrico com os da topografia convencional, em uma área-piloto do Campus Paulo VI da UEMA.

METODOLOGIA

A metodologia adotada compreendeu, inicialmente, a revisão bibliográfica sobre métodos de levantamento topográfico por aerolevantamento, seguida da escolha da área-piloto situada na Fazenda Escola da UEMA – Campus Paulo VI, selecionada por apresentar relevo plano a suavemente ondulado e por estar fora da Zona de Exclusão Aérea do Aeroporto Marechal Cunha Machado, garantindo segurança para a realização dos voos.

Foram implantados nove pontos de apoio topográfico, distribuídos em setores distintos da área, materializados com piquetes sinalizados, cujas coordenadas foram determinadas por receptores GNSS, utilizando o método Real Time Kinematic (RTK), de forma a assegurar precisão no georreferenciamento. Em seguida, foram obtidos mais 11 pontos para fins de avaliação da exatidão dos produtos resultantes do aerolevantamento.

O levantamento aerofotogramétrico foi realizado com um drone DJI Mini 4 Pro, programado para voo a 48 m de altura, compatível com a escala 1:2000, em função da distância focal de 24 mm da câmera embarcada, definindo-se sobreposições lateral e longitudinal de 80%, largura de faixa de 7,70 m e velocidade de voo de 4,6 m/s. plano de voo foi gerado no software SPACE MAPS, teve duração de aproximadamente 35 minutos e resultou em 521 fotografias.

O processamento ocorreu no Agisoft Metashape, contemplando alinhamento das imagens, otimização, densificação da nuvem de pontos e geração de modelos tridimensionais, culminando na produção do ortomosaico, do Modelo Digital de Superfície (MDS) e do Modelo Digital de Terreno (MDT). Posteriormente, os produtos foram importados para o QGIS (v. 3.28), onde foram gerados o mapa temático hipsométrico, o mapa de declividade e as curvas de nível.

Para fins de comparação com os produtos da topografia convencional, foi realizado um levantamento planialtimétrico com estação total Geodetic GT2, sendo os dados processados no software GeoOffice v.2 para geração de uma planta topográfica planialtimétrica da área-piloto. A comparação entre os resultados obtidos com o drone e com a estação total foi conduzida por meio de cálculos de erro absoluto, erro relativo e desvio-padrão, permitindo avaliar a acurácia e a precisão dos produtos do levantamento aéreo em relação ao método tradicional, verificando-se as potencialidades e limitações do uso de veículos aéreos não tripulados em levantamentos planialtimétricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seleção da área de estudo para realização do aerolevantamento

A seleção da área de projeto partiu da impossibilidade de se trabalhar na área do Bosque da UEMA, sítio frequentemente empregado nas atividades da disciplina de Topografia do Curso de Engenharia Civil, que apresenta terreno plano, distância adequada de árvores, postes e outros elementos artificiais. O impedimento se deu em virtude de essa área se encontrar na Zona de Exclusão Aérea (ZEA) do Aeroporto Marechal Cunha Machado, correspondente ao trecho de pousos e decolagens de aeronaves.

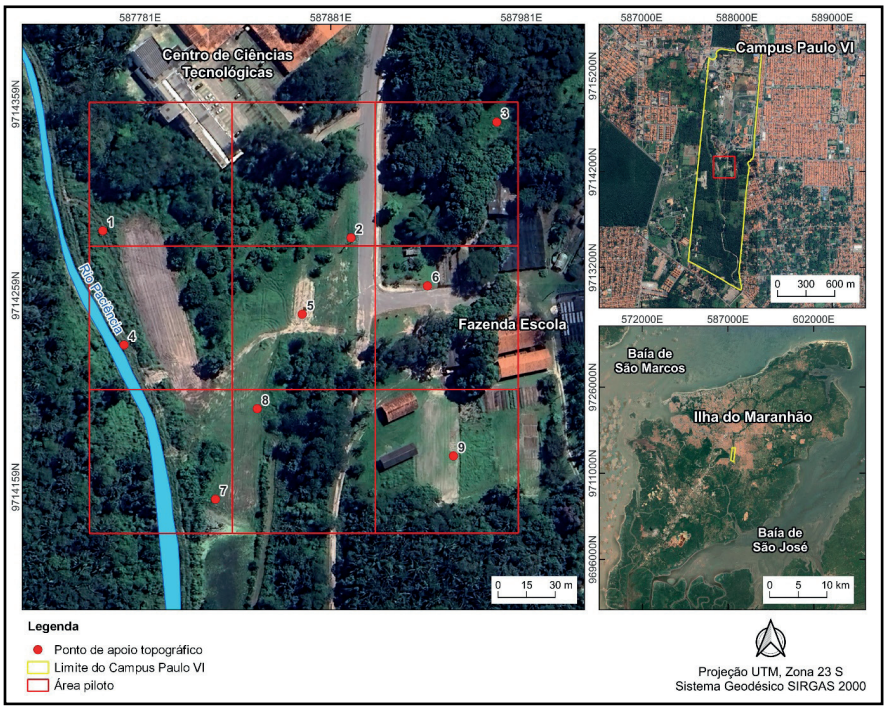
Para contornar esse problema, a área de estudo foi transferida para as dependências da Fazenda Escola (Figura 1). Ela está localizada fora da zona de exclusão, onde é permitido o trânsito de veículos aéreos não tripulados dentro de uma altura definida pela Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por aeronaves não tripuladas.

Além desses aspectos, o local eleito para o desenvolvimento da pesquisa pretendeu caracterizar o sítio de provável implantação de uma estação meteorológica no Campus Paulo VI. Para tanto, foram observadas, a priori, a presença de árvores, postes, as condições de fluxo das águas superficiais e a proximidade com o trecho do Rio Paciência nas dependências do campus.

Implantação dos pontos de apoio topográfico

A Tabela 1 apresenta as coordenadas UTM dos nove pontos de apoio topográfico obtidos a partir do método RTK, utilizando o receptor GNSS i73 + IMU-RTK GNSS, tendo como referência as coordenadas UTM do ponto E3 (587839,137 m; 9714532,727 m), extraídas do trabalho de Amorim e Sousa (2024). Os pontos foram distribuídos ao longo da área de estudo, previamente seccionada em quadrantes, com o objetivo de implantar ao menos um ponto de apoio em cada setor, visando a uma distribuição mais homogênea na área investigada.

Figura 1 – Localização da área de estudo na Fazenda Escola, do Campus Paulo VI, da UEMA. Notar as coordenadas dos pontos de apoio topográfico que foram empregados para o georreferenciamento das fotografias aéreas



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 1 – Coordenadas UTM dos pontos de apoio topográfico empregados no georreferenciamento das fotografias aéreas, expressas em metros, e respectivos valores de desvio-padrão (sigma)

PT	UTM E	UTM N	ALTITUDE	SIGMA X	SIGMA Y	SIGMA PLAN
PC1	587911,189	9714295,085	36,862	0,0018	0,0016	0,0032
PC2	587854,820	9714270,000	35,092	0,0017	0,0015	0,0030
PC3	587801,317	9714264,324	33,718	0,0017	0,0015	0,0029
PC4	587907,051	9714239,563	36,410	0,0017	0,0015	0,0031
PC5	587851,715	9714233,405	34,789	0,0017	0,0015	0,0030
PC6	587804,851	9714229,340	34,258	0,0017	0,0015	0,0029
PC7	587907,965	9714184,107	36,182	0,0017	0,0015	0,0029
PC8	587827,096	9714184,478	33,809	0,0017	0,0015	0,0028
PC9	587803,202	9714208,709	34,32	0,0016	0,0015	0,0028

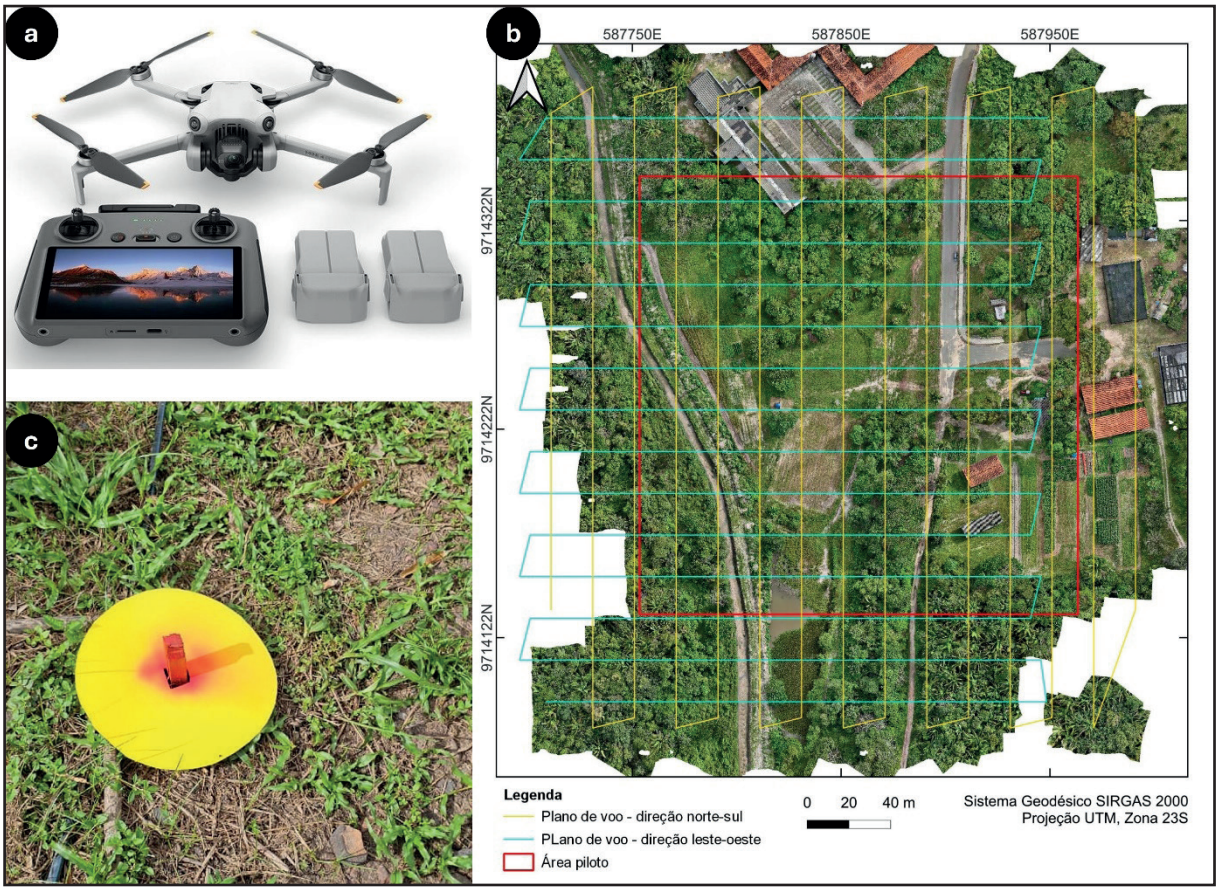
Fonte: Elaboração própria.

Analisando as colunas correspondentes aos desvios-padrão, observa-se que estes apresentam ordem de grandeza milimétrica nas três direções, o que evidencia a precisão do levantamento RTK. Em comparação ao método PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), cujo desvio-padrão obtido foi da ordem de 0,0107 m (Amorim; Sousa, 2024), o levantamento RTK apresentou maior precisão e expressivo ganho de tempo em campo. Para atingir precisão de 0,0107 m, os autores utilizaram um tempo de rastreio de 4 horas, enquanto, no levantamento RTK, foi possível atingir precisão de 0,0018 m com tempo de rastreio inferior a 5 segundos.

Parâmetros de definição do plano de voo

Considerando as dimensões de uma fotografia no terreno, de 38,4 × 28,8 m, obtida com a aeronave remotamente pilotada DJI Mini 4 Pro (Figura 2a), para uma altura de voo de 48 m, foram adotados os seguintes parâmetros: sobreposição lateral e longitudinal de 80%, correspondendo, respectivamente, a 30,72 m e 23,04 m; e distância de 7,68 m entre linhas consecutivas de voo. Ao longo da linha de voo, as fotografias foram adquiridas a cada 5 s. Esse intervalo de aquisição, associado à sobreposição longitudinal de 23,04 m, corresponde a uma velocidade da plataforma de 4,60 m/s, sendo adotada, entretanto, velocidade de voo de 4,0 m/s.

Figura 2 – Aspectos concernentes ao planejamento de voo: a) Drone DJI mini 4 PRO; b) plano de voo cruzado, com linhas na direção norte-sul e leste-oeste, na área piloto na Fazenda Escola do Campus Paulo VI; c) destaque no entorno do ponto de apoio topográfico (heliponto)



Fonte: Elaboração própria.

Com isso, foram realizados dois planos de voo (Figura 2b), orientados com diferença de 180° entre si, garantindo maior número de fotografias sobre um mesmo ponto da superfície. De acordo com o relatório de pós-processamento, observou-se que, em média, cada ponto foi coberto por três fotografias (Average tie point multiplicity: 3,08566). A adoção do plano de voo cruzado proporcionou maior segurança operacional, reduzindo a necessidade de repetição dos voos e de novas aquisições fotográficas decorrentes de falhas de cobertura ou de sobreposição insuficiente entre imagens. Para facilitar a identificação dos pontos de controle (PC), com seção de 3 × 3 cm, durante o processamento das imagens, foram utilizados helipontos amarelos com diâmetro de 35 cm (Figura 2c).

Detalhamentos acerca da sequência de processamento

Tendo em vista a utilização do presente relatório como material didático da disciplina Topografia e GNSS, do curso de Engenharia Civil, e em alinhamento aos pressupostos do projeto de pesquisa, os itens a seguir abordam detalhamentos sobre o processamento das fotografias adquiridas. O primeiro momento consistiu na importação das fotografias para o ambiente do software de processamento, no caso em estudo, o Agisoft Metashape.

Em seguida, ocorreu o alinhamento (Figura 3a), no qual as fotografias obtidas sob diferentes ângulos de visada foram posicionadas no espaço tridimensional por meio da identificação de pontos homólogos. No total, foram empregadas 521 fotografias. A Figura 3a ilustra três planos: o primeiro, segmentos de reta verticais que representam a distância focal da

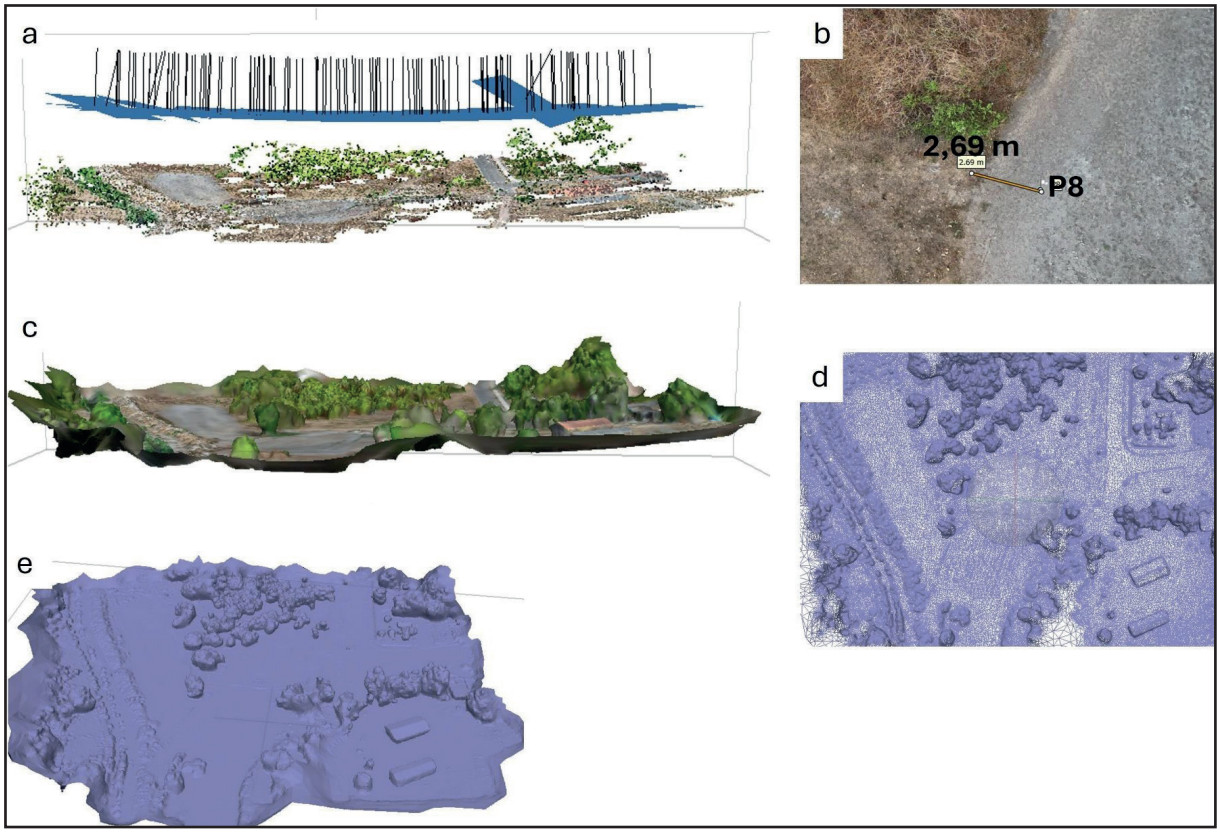
câmera fotográfica (24 mm); o segundo, o plano das fotografias obtidas ao longo da linha de voo; e o terceiro, correspondente à projeção dos pontos homólogos na superfície topográfica virtual.

Na sequência, procedeu-se à otimização do alinhamento, ajustando possíveis distorções, para garantir maior precisão no posicionamento das fotografias. Nesse processamento, foram identificados 70.392 pontos homólogos. Em seguida, realizou-se a importação dos pontos de apoio oriundos do levantamento RTK, os quais foram utilizados para melhorar a precisão das fotografias.

A Figura 3b ilustra o posicionamento do ponto de apoio topográfico de número 8, próximo ao respectivo piquete de madeira na fotografia. A priori, ao ser importado, o ponto de apoio deveria estar posicionado exatamente sobre o piquete de madeira na fotografia, o que não ocorreu em virtude da defasagem de precisão entre o receptor GNSS e o equipamento embarcado na aeronave remotamente pilotada (de 3 a 5 m). O procedimento, então, prosseguiu com o arraste do ponto de apoio para o respectivo piquete, repetindo-se esse mecanismo para todos os pontos de controle.

Posteriormente, ocorreu a densificação dos pontos homólogos, resultando em uma nuvem de 7.455.597 pontos, os quais estão ilustrados na Figura 3c. A partir dessa nuvem de pontos, foi gerado o modelo 3D (Figura 3d), representação matemática matricial (raster) que associa, para cada ponto de coordenadas UTM (E, N), seu respectivo valor de altitude normal (H). Por fim, por meio do modelo digital de superfície, deu-se a criação do mosaico de ortofotos (Figura 3e), uma planta georreferenciada e corrigida das distorções geométricas proporcionadas pela projeção central da câmera fotográfica, posteriormente convertida para uma projeção ortográfica.

Figura 3 – Etapas do processamento das fotografias no software Agisoft Metashape: a) alinhamento das imagens; b) importação dos pontos de controle; c) densificação da nuvem de pontos; d) geração do modelo tridimensional (3D); e) modelo digital de superfície (MDS)



Fonte: Elaboração própria.

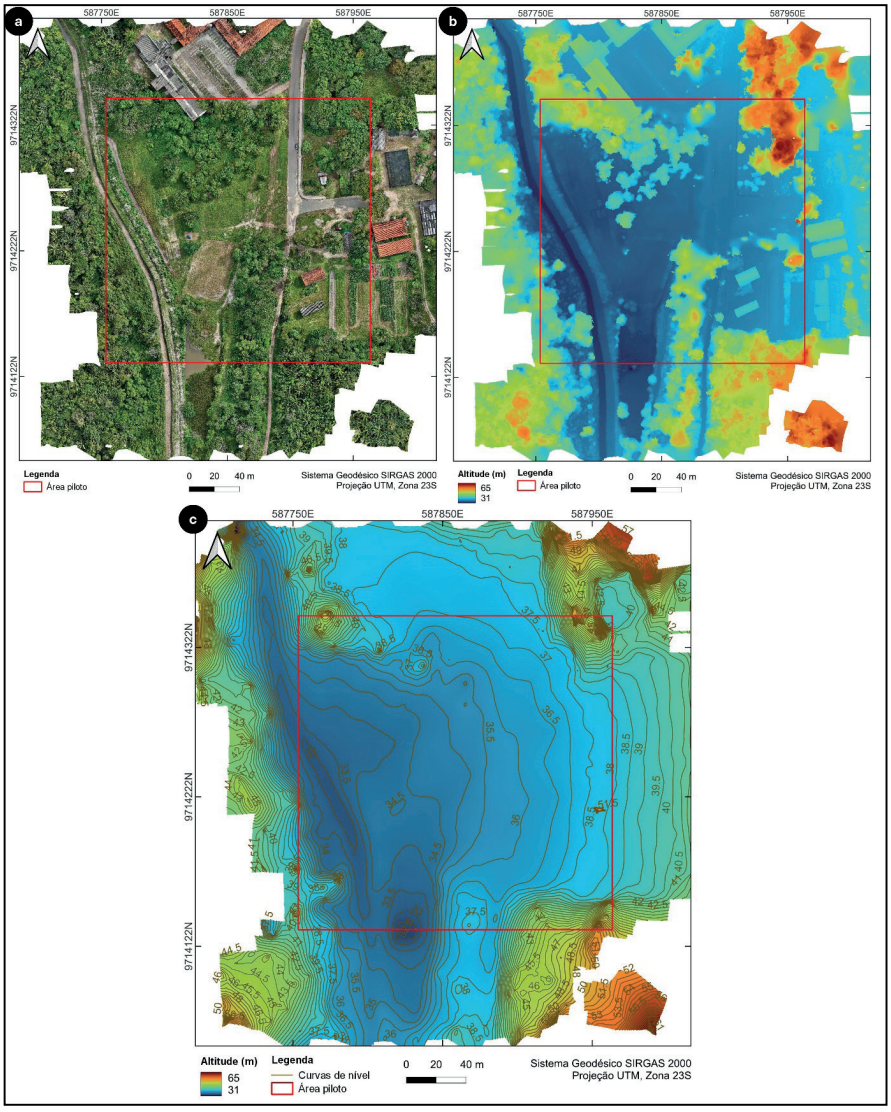
Produtos obtidos do levantamento aerofotogramétrico

Através da sequência de processamento descrita na metodologia e detalhada anteriormente, foi produzido o mosaico de ortofotos (Figura 4a), com resolução espacial de 1,52 cm/pixel. Ressalta-se que, em levantamentos aéreos, a área coberta deve ser maior que a área de estudo (representada nos produtos pelo quadrado vermelho). Isso garante que as bordas com menor sobreposição de imagens não interfiram na análise. A baixa densidade de fotografias nas extremidades ocorre devido à mudança de linha de voo, momento em que a aeronave precisa realizar uma manobra para alterar a direção.

A Figura 4b apresenta o MDS, com resolução de 12,2 cm/pixel. O MDS representa, em escala de cores, as altitudes da superfície topográfica, considerando tanto os aspectos naturais — terreno, copa das árvores e sistema de drenagem — quanto os aspectos artificiais, como construções e estradas. O MDS evidencia uma superfície mais acidentada, com maior variação altimétrica, alcançando altitude máxima de 65 m.

A partir do processamento de filtragem, é produzido o MDT (Figura 4c), que representa a superfície topográfica propriamente dita, constituindo uma superfície suavizada, com altitudes mais consistentes. Por representar de maneira mais fiel a topografia do terreno, o MDT é amplamente utilizado em aplicações de engenharia, como projetos de estradas, drenagem urbana, modelagem de escoamento superficial, entre outros.

Figura 4 – Produtos do levantamento aerofotogramétrico: a) mosaico de ortofotos; b) Modelo digital de superfície; c) modelo digital de terreno com as curvas de nível com equidistância de 0,5 m



Fonte: Elaboração própria.

Avaliação do levantamento aerofotogramétrico em comparação ao levantamento topográfico convencional com estação total

De acordo com a Tabela 1, apresentada anteriormente, as coordenadas obtidas com o levantamento GNSS RTK apresentaram precisão milimétrica e foram adotadas como valores de referência para fins de avaliação da exatidão do ortomosaico resultante do aerolevantamento. As coordenadas do ortomosaico foram obtidas a partir do software Agisoft Metashape. A Tabela 2 apresenta 11 pontos de verificação, selecionados aleatoriamente, empregados na avaliação da exatidão do ortomosaico processado com pontos de controle.

Tabela 2 – Coordenadas UTM obtidas do levantamento RTK (valores de referência) e coordenadas UTM oriundas do ortomosaico

PT	COORDENADAS RTK			COORDENADAS ORTOMOSAICO		
	E(m)	N(m)	H(m)	E(m)	N(m)	H(m)
PV1	587794,892	9714233,915	34,103	587794,938	9714233,519	34,095
PV2	587781,777	9714259,908	33,511	587781,798	9714259,925	33,703
PV3	587836,743	9714258,083	34,831	587836,858	9714258,174	34,705
PV4	587829,222	9714235,690	34,613	587829,268	9714235,268	34,567
PV5	587854,559	9714212,735	34,599	587854,536	9714212,779	34,724
PV6	587868,268	9714261,375	35,466	587868,362	9714261,422	35,217
PV7	587868,161	9714295,418	35,514	587868,176	9714295,527	35,287
PV8	587898,096	9714326,225	36,942	587898,126	9714326,410	37,106
PV9	587926,298	9714267,040	36,739	587926,348	9714267,131	36,567
PV10	587927,058	9714216,868	36,503	587927,115	9714216,963	36,523
PV11	587894,191	9714259,727	36,143	587894,245	9714259,763	35,957

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 mostra os erros absolutos obtidos mediante subtração entre as coordenadas dos onze pontos de verificação resultantes do levantamento RTK e as correspondentes coordenadas no ortomosaico. Os erros absolutos médios em E e N foram, respectivamente, de 0,050 m e 0,139 m, resultando em um erro planimétrico de 0,157 m. Já o erro altimétrico médio foi de 0,138 m. Os desvios-padrão planimétrico e altimétrico foram, respectivamente, de 0,133 m e 0,082 m.

De acordo com o Manual Técnico de Limites e Confrontações para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais (Brasil, 2022), em seu item 1.4, define-se que o desvio-padrão das coordenadas deve ser de até 50 cm (precisão mais restritiva). Como o desvio-padrão planimétrico observado na pesquisa foi de 13,3 cm, o ortomosaico resultante do aerolevantamento pode ser utilizado para fins de georreferenciamento de imóveis rurais.

Já em relação ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), para a escala de 1:2000 (adotada na pesquisa), a média dos erros planimétricos entre os pontos obtidos no levantamento RTK e os oriundos do ortomosaico foi de 0,157 m, portanto inferior a 0,2 mm × 2.000, ou seja, 400 mm ou 0,40 m, evidenciando a exatidão do ortomosaico para a escala mencionada.

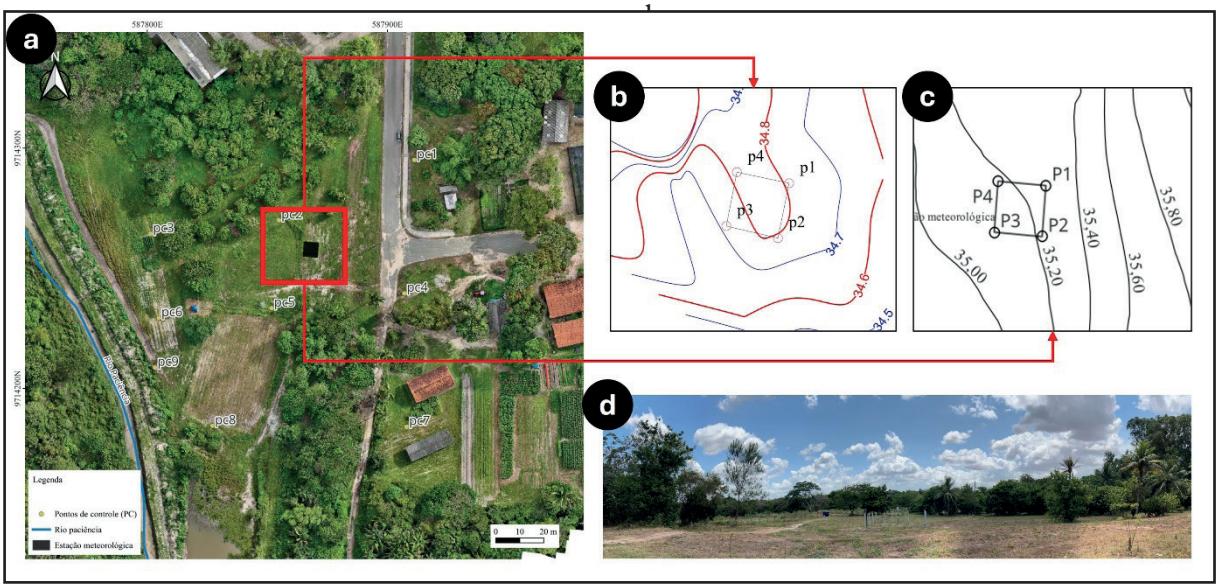
Tabela 3 - Erros absolutos obtidos entre as coordenadas de referência RTK e suas correspondentes coordenadas no ortomosaico

PONTO	ERROS ABSOLUTOS			
	E (m)	N (m)	PLANIMÉTRICO	ALTIMÉTRICO (m)
PV1	0,046	0,396	0,399	0,008
PV2	0,021	0,017	0,027	0,192
PV3	0,115	0,091	0,147	0,126
PV4	0,046	0,422	0,424	0,046
PV5	0,023	0,044	0,050	0,125
PV6	0,094	0,047	0,105	0,249
PV7	0,015	0,109	0,110	0,227
PV8	0,030	0,185	0,187	0,164
PV9	0,050	0,091	0,104	0,172
PV10	0,057	0,095	0,111	0,020
PV11	0,054	0,036	0,065	0,186
Média	**0,050**	**0,139**	**0,157**	**0,138**
Desvio Padrão	**0,031**	**0,141**	**0,133**	**0,082**

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, a Figura 5a ilustra a área piloto na Fazenda Escola do Campus Paulo VI da UEMA, de onde foram elaboradas duas plantas topográficas: a obtida a partir de levantamento planialtimétrico, empregando estação total (Figura 5b) e a resultante do aerolevantamento (Figura 5c). Ambas retratam os mesmos elementos: o perímetro da estação meteorológica e a representação do relevo por meio das curvas de nível.

Figura 5 – Comparação entre os produtos do levantamento topográfico convencional e do aerolevantamento: a) área piloto com localização dos pontos de controle; b) planta topográfica obtida com estação total; c) planta topográfica obtida por aerolevantamento; d) fotografia de campo da área



Fonte: Elaboração própria.

As curvas de nível provenientes do MDT do aerolevantamento (Figura 5c) exibem uma configuração mais aderente às características do relevo — com altitudes mais elevadas na

porção leste e menores na porção oeste, onde se encontra o canal do Rio Paciência — quando comparadas às curvas de nível oriundas do levantamento topográfico convencional (Figura 5b), que indicam uma pequena elevação do terreno no entorno dos quatro pontos da estação meteorológica.

A Figura 5d exibe em primeiro plano, uma área de solo mais exposto, nas proximidades da estrada ao centro da área piloto, onde as altitudes são mais elevadas. Ao fundo, observa-se a mata ciliar do Rio Paciência, onde as altitudes são mais baixas. Esse comportamento é mais bem caracterizado na representação planialtimétrica oriunda do levantamento aerofotogramétrico, indicando que esse método de levantamento topográfico apresentou melhor aderência às características naturais e artificiais da superfície terrestre.

CONCLUSÕES

O levantamento aerofotogramétrico na área da Fazenda Escola, no Campus Paulo VI da UEMA, foi possível em virtude de a área-piloto não estar situada na Zona de Exclusão Aérea do Aeroporto Marechal Cunha Machado, em São Luís/MA. Nessa área, foram implantados nove pontos de apoio topográfico, os quais exerceram impacto significativo no processo de georreferenciamento das fotografias obtidas. Com o uso dos pontos de controle, o erro planimétrico foi reduzido de 2,34648 m para 5,30963 mm, demonstrando sua importância para a precisão dos produtos resultantes do aerolevantamento.

Os produtos gerados apresentaram precisão e exatidão compatíveis com aplicações de engenharia e georreferenciamento de imóveis rurais, atendendo aos critérios estabelecidos pelo Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais e ao Padrão de Exatidão Cartográfica para a escala de 1:2.000. Dessa forma, o uso de aeronaves remotamente pilotadas mostrou-se uma alternativa tecnicamente viável e eficiente para levantamentos planialtimétricos, permitindo a obtenção de ortomosaicos e modelos digitais do terreno com qualidade adequada para aplicações cartográficas e de planejamento territorial.

Em comparação ao levantamento topográfico convencional, a representação planialtimétrica da área-piloto exibiu configuração das curvas de nível mais aderente às características do terreno, demonstrando ganhos de tempo e precisão. No entanto, é válido ressaltar a necessidade do suporte proporcionado pela rede de pontos de controle que, a depender das características da área investigada e das dificuldades de acesso, pode ter sua distribuição comprometida.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão pela concessão da bolsa de iniciação científica e à Universidade Estadual do Maranhão pela oportunidade de desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMORIM, L. G. B. de; SOUSA, C. J. da S. de. **Avaliação de medições angulares e lineares implicadas nos levantamentos topográficos**. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – SEMIC, 36., 2024, São Luís. *Livro de resumos* [...]. São Luís: Editora UEMA, 2024. p. 1905-1907. Disponível em: https://www.ppg.uema.br/wp-content/uploads/2025/02/LIVRO-DE-RESUMOS-SEMIC-2024-_.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.

ANDRADE, J. B. de. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13133: execução de levantamento topográfico: procedimento**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Disponível em: Plataforma Target GEDWeb. Acesso em: 12 abr. 2023.

BORGES, A. de C. **Topografia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2013. v. 2. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521207658/pageid/0. Acesso em: 15 out. 2023.

BRASIL. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Manual técnico para georreferenciamento de imóveis rurais**. 2. ed. Brasília, DF: INCRA, 2022.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2009.

McCORMAC, J.; SARASUA, W.; DAVIS, W. **Topografia**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

SALGADO NETO, J. B. **Fundamentos de topografia**. São Luís: Viegas Editora, 2019.

SILVA, I. da; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria básica**. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2004.

TULLER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de topografia**. Porto Alegre: Bookman, 2016.