INFLUÊNCIA DA REFERÊNCIA GEODÉSICA NA ACURÁCIA DE LEVANTAMENTOS LiDAR RTK EMBARCADOS EM RPA

Diego Sacon Xavier[1], Guilherme Aziliero Tessaro[2], Pamella Aparecida Machado da Silva[3], Érico Fernando de Oliveira Martins[4]

[1,3]Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Engenharia Civil, Sinop, Brasil (diego.xavier@unemat.br)
[2]Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Engenharia Elétrica, Sinop, Brasil
[3]Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Gestão e Regulação De Recursos Hídricos, Cuiabá, Brasil

Resumo: Este artigo avaliou a acurácia de levantamentos LiDAR RTK embarcados em RPA sob diferentes configurações de referência geodésica. Dois cenários foram analisados com nuvens processadas no DJI Terra e comparadas por C2C no *CloudCompare*. O uso de base georreferenciada reduziu o erro médio de 0,131 m para 0,063 m, enquanto o RMSE diminuiu de 0,134 m para 0,066 m, evidenciando a importância da referência geodésica na acurácia absoluta dos levantamentos.

Palavras-chave: Engenharia Civil; Posicionamento GNSS; Acurácia Posicional.

INTRODUÇÃO

O avanço das geotecnologias e dos sistemas de sensoriamento remoto tem promovido transformações significativas nos processos de aquisição, processamento e análise de dados espaciais aplicados as engenharias. Nesse contexto, os sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite System*) desempenham papel fundamental na determinação precisa de coordenadas geoespaciais, permitindo aplicações relacionadas ao georreferenciamento, modelagem topográfica, monitoramento territorial e controle geométrico de obras (Seeber, 2003; IBGE, 2017).

A consolidação de referenciais modernos, como o SIRGAS2000, ampliou a compatibilidade e a integração de informações geodésicas em diferentes plataformas de aquisição espacial. No Brasil, o SIRGAS2000 consolidou-se como referencial geodésico oficial, permitindo maior compatibilidade entre levantamentos GNSS e integração de dados geoespaciais em escala nacional.

Paralelamente, a tecnologia dos RPAs (*Remotely Piloted Aircraft*) consolidou-se como ferramenta estratégica para levantamentos geoespaciais de alta resolução, sobretudo em aplicações que demandam rapidez operacional, elevada densidade de dados e redução de custos de campo.

Na Engenharia Civil, a integração entre RPA, sistemas GNSS e sensores de captura de dados tem sido amplamente empregada em atividades de levantamento topográfico, inspeção de infraestrutura, modelagem tridimensional, monitoramento de obras e cálculo volumétrico. A elevada densidade espacial dos dados obtidos por sensores embarcados permite gerar modelos digitais de terreno e nuvens de pontos com precisão compatível às exigências de projetos executivos, favorecendo aplicações relacionadas à terraplenagem, planejamento urbano e controle geométrico de estruturas.

Entre os métodos de posicionamento GNSS empregados em levantamentos de alta precisão, destaca-se o RTK (*Real Time Kinematic*), técnica baseada no posicionamento relativo em tempo real a partir da utilização simultânea de uma estação de referência (*base*) e um receptor móvel (*rover*). O RTK permite minimizar erros associados à propagação atmosférica, órbitas dos satélites e sincronização temporal, alcançando acurácia centimétrica em aplicações geodésicas e topográficas (INCRA, 2013).

O elevado nível de precisão alcançado pelo RTK está associado ao uso da fase da portadora dos sinais GNSS, permitindo estimativas centimétricas em tempo real quando a ambiguidade da fase é resolvida em solução *FIXED*. Nessa configuração, as correções transmitidas pela estação base permitem reduzir significativamente os efeitos atmosféricos, orbitais e temporais, aumentando a estabilidade geométrica dos levantamentos.

Quando integrado ao RPA, tornando o *rover* de uma *base* em campo, o método possibilita o georreferenciamento direto das imagens e das nuvens de pontos durante o voo, reduzindo a dependência de

pontos de apoio em solo e aumentando a eficiência operacional dos levantamentos geoespaciais. Trabalhos recentes têm demonstrado elevada estabilidade geométrica em levantamentos RTK com RPAs (Pereira Coelho; Rodrigues; Ribas, 2024).

A versatilidade operacional dos RPAs está diretamente associada à possibilidade de integração com diferentes tipos de sensores embarcados, empregados na aquisição de dados geoespaciais em múltiplas escalas e aplicações. Esses sensores podem ser classificados, de forma geral, em passivos e ativos. Sensores passivos, como câmeras RGB e multiespectrais, dependem da radiação eletromagnética refletida pelos alvos, sendo amplamente utilizados em aplicações fotogramétricas e de sensoriamento remoto óptico. Por outro lado, sensores ativos realizam a emissão controlada de energia em direção à superfície e registram o sinal de retorno, permitindo aquisição independente das condições de iluminação natural.

Entre os sensores ativos embarcados em RPAs, destaca-se a tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*), que vem apresentando crescimento significativo em aplicações relacionadas à engenharia, cartografia e monitoramento ambiental (Baltsavias, 1999; Wehr; Lohr, 1999; Colomina; Molina, 2014).

O princípio de funcionamento do LiDAR baseia-se na emissão de pulsos laser em alta frequência e no registro do tempo de retorno do sinal refletido pelos objetos atingidos. A partir do cálculo do tempo de propagação do pulso e da integração com sistemas GNSS e unidades inerciais (IMU), torna-se possível determinar coordenadas tridimensionais com elevada precisão geométrica, gerando nuvens de pontos densas e modelos digitais detalhados da superfície terrestre.

A integração entre RPAs, receptores GNSS e sensores LiDAR ampliou significativamente a capacidade de geração de modelos tridimensionais de alta resolução, consolidando os levantamentos aerotransportados como uma das principais tecnologias para aquisição de dados espaciais em aplicações de engenharia e mapeamento territorial (Shan; Toth, 2018).

Estudos recentes demonstram que sistemas LiDAR embarcados em RPAs aumentam significativamente a eficiência operacional em levantamentos realizados em áreas urbanas complexas, regiões montanhosas e ambientes de difícil acesso, reduzindo custos operacionais e ampliando a qualidade geométrica dos produtos cartográficos gerados (Suzuki; Inoue; Amano, 2023; Trong et al., 2024; El-Diasty; Al-Hashim; Abdalla, 2025).

Apesar dos avanços observados na integração entre GNSS, RTK e sensores LiDAR embarcados, a qualidade geométrica dos produtos gerados ainda depende fortemente das condições ambientais e da estrutura de referência geodésica utilizada durante os levantamentos. A ausência de uma base georreferenciada conhecida (marco geodésico) pode introduzir deslocamentos sistemáticos que comprometem a acurácia absoluta das nuvens de pontos e dos modelos digitais derivados, mesmo quando há coerência geométrica interna nos dados. Além disso, fatores como multicaminho, relevo acidentado e limitações de rastreamento GNSS podem afetar diretamente a qualidade do levantamento.

Embora diversos estudos abordem aplicações de RPAs e sensores LiDAR em levantamentos topográficos, ainda são limitadas as análises integradas que avaliam comparativamente diferentes configurações de posicionamento RTK, especialmente em cenários com e sem referência geodésica conhecida associados a sensores LiDAR embarcados em RPA. Nesse contexto, compreender o impacto da estrutura de apoio geodésico sobre a acurácia absoluta dos produtos gerados torna-se essencial para aplicações que demandam rigor posicional, como levantamentos executivos, modelagem topográfica e planejamento de obras de engenharia.

Parte-se da hipótese de que levantamentos realizados com base RTK georreferenciada tendem a apresentar maior acurácia absoluta e menor dispersão espacial quando comparados a levantamentos executados com bases sem coordenadas conhecidas.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar e validar a acurácia geométrica de levantamentos LiDAR embarcados em RPA, comparando diferentes configurações de posicionamento RTK com e sem referência geodésica conhecida. Busca-se analisar quantitativamente os efeitos dessas condições sobre a qualidade espacial das nuvens de pontos e fornecer subsídios técnicos para o planejamento de levantamentos geoespaciais aplicados à engenharia civil e à cartografia.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos tiveram como objetivo comparar o desempenho do método de posicionamento *RTK* em dois cenários distintos: com base geodésica previamente estabelecida (base conhecida) e com base estacionada em local aleatório (base desconhecida).

Para fins deste estudo, adotou-se a distinção entre *RTK* relativo interno e *RTK* com base georreferenciada, de modo a caracterizar adequadamente as condições de posicionamento utilizadas nos experimentos. Considera-se *RTK* relativo interno a operação em que a antena base é instalada em um ponto sem coordenadas previamente conhecidas; nessa condição, o sistema fornece apenas um referencial local, garantindo coerência geométrica relativa, porém sem controle adequado da acurácia absoluta em relação ao

referencial geodésico oficial. Por outro lado, denomina-se *RTK* com base georreferenciada a operação em que a base é posicionada sobre um marco geodésico com coordenadas conhecidas e referenciadas ao SIRGAS2000, permitindo que todas as observações *GNSS* embarcadas no *RPA* sejam corrigidas em relação a um referencial absoluto. Essa distinção é fundamental para compreender os diferentes comportamentos de acurácia observados.
Foram conduzidas duas campanhas experimentais de posicionamento RTK, conforme síntese dos cenários avaliados apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Configuração dos cenários de levantamento. Fonte: Acervo pessoal, 2026.

Cenário	Método *RTK*	Tipo de Referência
1	*RTK* Relativo Interno	base com coordenadas desconhecidas
2	*RTK com base georreferenciada*	base georreferenciada conhecida

Para as missões de coleta dos cenários foram utilizados o RPA *DJI Matrice 300 RTK* equipado com o sensor LiDAR *Zenmuse L1* e antena *D-RTK2* para posicionamento RTK, equipamentos da Figura 1.

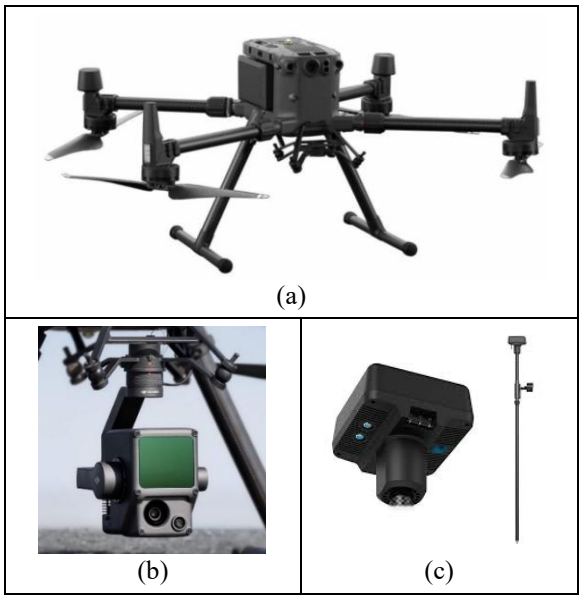


Figura 1. (a) RPA DJI Matrice 300 RTK; (b) sensor Zenmuse L1 e (c) estação móvel D-RTK 2.

Os principais parâmetros operacionais adotados nos levantamentos LiDAR realizados com o sensor *Zenmuse L1* estão apresentados na Tabela 2. Além das especificações apresentadas, destaca-se que os levantamentos foram executados sobre uma área de testes de aproximada 2 hectares, sem obstáculos próximos como prédios ou construções muito altas, além de não haver cobertura vegetal.

Tabela 2. Parâmetros adotados para o sensor L1. Fonte: Acervo pessoal, 2026.

Configuração	Parâmetro
Altitude de voo	75 m
GSD	2 cm
Densidade média	158 pts/m²
Sobreposição frontal	70%
Sobreposição lateral	50%
Velocidade média de voo	8,3 m/s
Modo de varredura	Repetitivo
Modo de retorno	Triplo
Taxa de amostragem	160 kHz

A escolha de uma área aberta para os experimentos teve como objetivo minimizar interferências externas associadas à obstrução do sinal GNSS, multicaminho e redução da visada dos satélites, condições frequentemente observadas em ambientes vegetados. Dessa forma, buscou-se isolar predominantemente o efeito da configuração da referência geodésica sobre a acurácia das nuvens LiDAR geradas, reduzindo a influência de fatores ambientais sobre os resultados.

Os voos foram realizados em área previamente demarcada com pontos de verificação (*Check Points - CPs*) materializados em campo. Os *CPs* são pontos de validação empregados na verificação da acurácia final dos produtos gerados. A distribuição espacial dos *CPs* utilizados nos experimentos é apresentada na Figura 2.

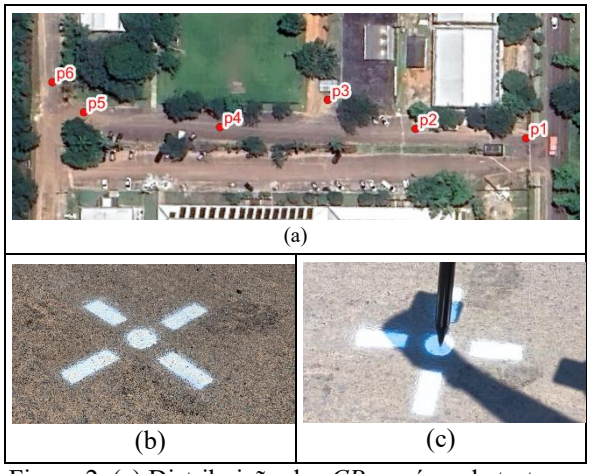
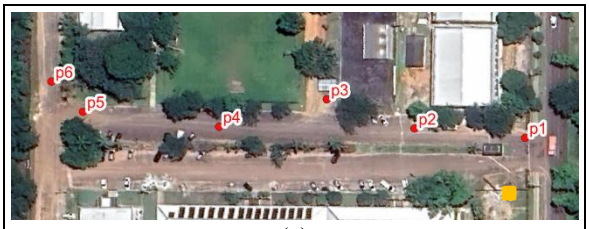


Figura 2. (a) Distribuição dos *CPs* na área de testes e (b,c) marcações dos *CPs* em campo. Fonte: Acervo pessoal, 2026.

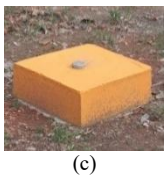
Os *CPs* foram coletados com receptores *GNSS CHCNAV i73* operando em modo RTK, utilizando uma base posicionada sobre o marco geodésico (Figura 3) e um *rover* para aquisição dos pontos. Todas as medições foram realizadas em solução *FIXED*, assegurando acurácia centimétrica compatível com levantamentos de alta precisão.



(a)



(b)



(c)

Sistema de Referência	Coordenada	Valor (Decimal)	Valor (Graus, Minutos, Segundos)	Incerteza (1σ)
SIRGAS2000 – Geográfica	Latitude	−11,851976722°	11° 51′ 07,1162″ S	± 0,0014
SIRGAS2000 – Geográfica	Longitude	−55,514379306°	55° 30′ 51,7655″ W	± 0,0038
SIRGAS2000 / UTM 21S	Norte (N)	8 689 383,433	—	± 0,0041
SIRGAS2000 / UTM 21S	Leste (E)	661 827,736	—	± 0,0041
Elipsoidal (WGS84)	Altitude (h)	365,3408	—	± 0,0053

(d)

Figura 3. (a) Área de testes; (b,c) marco geodésico; (d) coordenadas estabelecidas via PPP do IBGE. Fonte: Acervo pessoal, 2026.

As coordenadas desse marco (Figura 3d) foram obtidas a partir de uma sessão de rastreio contínuo de seis horas e processadas pelo método PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), técnica que utiliza órbitas e relógios precisos para obtenção de coordenadas geodésicas de alta acurácia, utilizando a plataforma do IBGE. Este mesmo marco foi utilizado posteriormente como base conhecida no Cenário 2.

Assim, no cenário de base desconhecida, a antena *D-RTK2* foi estacionada em local aleatório, sem coordenadas prévias conhecidas, simulando uma condição de campo em que não há infraestrutura geodésica de apoio. Já no cenário de base conhecida, a antena *D-RTK2* foi posicionada sobre o marco geodésico estabelecido (Figura 3).

O processamento dos dados do sensor *Zenmuse L1* foi realizado no software *DJI Terra*, responsável por gerar, organizar e estruturar as nuvens de pontos LiDAR, integrando automaticamente informações de navegação e parâmetros de voo.

A acurácia dos produtos foi avaliada por meio do software *CloudCompare*, em particular do algoritmo *Compute Cloud/Cloud Distance* (C2C). O *C2C* realiza a comparação direta entre duas nuvens de pontos ao estimar, para cada ponto da nuvem analisada, a menor distância até a nuvem de referência, permitindo quantificar discrepâncias geométricas sem necessidade de geração prévia de superfícies interpoladas, possibilitando comparação geométrica direta entre os conjuntos de pontos. Neste estudo, considerou-se os *CPs* como referência de validação geométrica, enquanto as nuvens geradas por LiDAR foram tratadas como nuvens de comparação.

A elevada densidade das nuvens de pontos geradas pelo LiDAR torna o método *C2C* particularmente adequado, pois garante grande número de correspondências locais e reduz a influência de lacunas ou ruídos na comparação geométrica.

Essa abordagem permitiu quantificar, de forma objetiva, o valor da discrepância posicional (distância tridimensional absoluta) das nuvens de pontos geradas nos Cenários 1 e 2 em relação aos *CPs*. A partir desses valores, foram obtidas, na etapa de análise dos resultados, métricas estatísticas como erro médio, erro máximo, erro mínimo, desvio padrão e RMSE, utilizadas na comparação dos cenários avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta as distâncias tridimensionais absolutas (*C2C*) obtidas entre os *CPs* e as respectivas nuvens LiDAR nos cenários avaliados. De modo geral, o Cenário 2 apresentou menores distâncias tridimensionais absolutas (C2C) em todos os *CPs*. Já o Cenário 1, embora tenha apresentado coerência geométrica interna, exibiu maiores discrepâncias espaciais, sugerindo a presença de deslocamento sistemático associado à utilização de base RTK sem coordenadas conhecidas.

Tabela 3. Distâncias *C2C* entre *CPs* e a nuvem de pontos LiDAR. Fonte: Acervo pessoal, 2026.

CPs	CENÁRIO 1 Distância (m)	CENÁRIO 2 Distância (m)
P1	0,099	0,035
P2	0,145	0,051
P3	0,125	0,084
P4	0,178	0,073
P5	0,137	0,053
P6	0,102	0,082

As estatísticas descritivas apresentadas na Tabela 4 evidenciam redução significativa dos erros posicionais do Cenário 2.

Tabela 4. Estatísticas descritivas das distâncias C2C obtidas nos cenários avaliados. Fonte: Acervo pessoal, 2026.

Estatística	**Cenário 1**	**Cenário 2**
Erro médio (m)	0,131	0,063
Erro máximo (m)	0,178	0,084
Erro mínimo (m)	0,099	0,035
Desvio padrão (m)	0,029	0,018
RMSE (m)	0,134	0,066

Os valores obtidos encontram-se compatíveis com padrões internacionais de acurácia posicional para produtos geoespaciais digitais (ASPRS, 2015). O Cenário 2 apresentou menores valores de erro médio, RMSE e desvio padrão em relação ao Cenário 1,

indicando maior estabilidade geométrica. A baixa dispersão observada em ambos os cenários demonstra elevada coerência interna das nuvens LiDAR geradas.

Os resultados obtidos no Cenário 1 podem ser visualizados na Figura 4, que apresenta as distâncias tridimensionais absolutas (*C2C*) por *CP*.

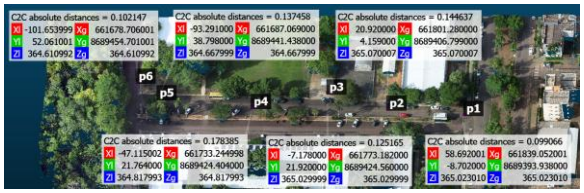


Figura 4. *C2C* entre *CPs* e nuvem LiDAR no Cenário 1. Fonte: Acervo pessoal, 2026.

Conforme sintetizado na Tabela 4, o Cenário 1 apresentou erro médio de aproximadamente 0,13 m, indicando um nível de precisão razoável para um levantamento realizado com base RTK desconhecida, confirmando a boa coerência interna do modelo, mas com limitações em termos de acurácia absoluta.

O baixo desvio padrão (≈ 3 cm) demonstra que os erros são uniformes entre os pontos, sugerindo que o deslocamento detectado é sistemático, provavelmente associado à ausência de correção geodésica no posicionamento da antena *D-RTK2*.

Já os resultados obtidos no Cenário 2 podem ser visualizados na Figura 5, que apresenta as distâncias tridimensionais absolutas (*C2C*) por *CP*.

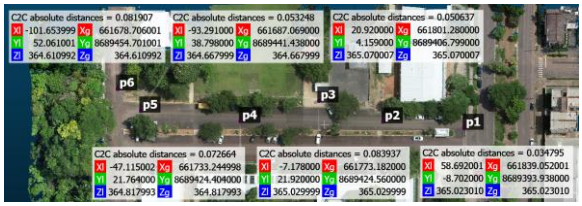


Figura 5. *C2C* entre *CPs* e nuvem LiDAR no Cenário 2. Fonte: Acervo pessoal, 2026.

Os resultados obtidos no Cenário 2 revelam um desempenho consistente do sistema *RTK* operando com base geodésica conhecida, evidenciado pelos baixos valores de distância entre os *CPs* e a nuvem de pontos LiDAR. As distâncias variaram de 0,034 m a 0,084 m, com erro médio de aproximadamente 0,063 m e desvio padrão de 0,018 m, indicando baixa dispersão entre as medições. Essa pequena dispersão dos valores demonstra que o posicionamento manteve alta estabilidade geométrica, com mínima variação espacial entre os pontos analisados.

Tais resultados confirmam que a utilização de uma base *RTK* com coordenadas conhecidas (estabelecida sobre um marco geodésico), proporciona acurácia absoluta satisfatória, reduzindo significativamente as incertezas associadas ao posicionamento.

A análise evidencia que os resultados obtidos são coerentes com o comportamento esperado para sistemas *GNSS-RTK* embarcados em *RPA* e para sensores LiDAR operando sob diferentes estruturas de apoio geodésico.

Quando a base opera com coordenadas conhecidas (Cenário 2), o sensor *LiDAR Zenmuse L1* apresenta acurácia absoluta compatível com aplicações que demandam elevado rigor posicional, além de alinhamento com resultados descritos na literatura sobre integração *GNSS–IMU–RPA*.

A baixa dispersão observada nesses cenários reforça que o sistema mantém estabilidade geométrica quando ancorado a um referencial estático confiável, evidenciando a importância do alinhamento espacial tridimensional fornecido pelo RTK com base georreferenciada.

Nos levantamentos conduzidos com base desconhecida (Cenário 1), observa-se um deslocamento sistemático que não compromete a coerência interna, mas reduz a acurácia absoluta, comportamento amplamente reconhecido em aplicações de posicionamento relativo e documentado em diretrizes do IBGE e de fabricantes de receptores *GNSS*. Esse resultado confirma que, embora a solução *FIXED* garanta consistência relativa, a ausência de referencial geodésico formal limita a utilização dos dados em análises que demandem rigor cartográfico.

Embora o presente estudo tenha sido conduzido em área aberta para reduzir interferências externas no rastreamento GNSS, a literatura demonstra que levantamentos LiDAR em ambientes sob dossel vegetal tendem a apresentar maior variabilidade geométrica devido à redução de retornos efetivos do terreno e às limitações de recepção dos sinais GNSS. Ainda assim, o LiDAR permanece como uma das tecnologias mais adequadas para aquisição topográfica em áreas vegetadas, especialmente em situações em que técnicas fotogramétricas apresentam limitações operacionais.

De forma geral, os resultados demonstram que o uso de bases não georreferenciadas impacta diretamente a acurácia absoluta dos produtos gerados, embora a coerência geométrica interna da nuvem de pontos seja preservada. Assim, os experimentos confirmam que a configuração RTK exerce influência direta sobre a qualidade geométrica dos levantamentos LiDAR embarcados em RPA.

CONCLUSÃO

A análise dos dois cenários avaliados demonstrou de forma consistente que a configuração da base RTK exerce influência direta sobre a precisão dos levantamentos LiDAR embarcados em RPA. Em áreas abertas, o uso de base georreferenciada reduziu o erro médio de 0,13 m no cenário operado com coordenadas

desconhecidas (Cenário 1) para aproximadamente 0,06 m no levantamento realizado com base georreferenciada, ou seja, marco geodésico (Cenário 2), assegurando acurácia compatível com aplicações geoespaciais que demandam rigor posicional.
Nos cenários realizados com base desconhecida, embora a coerência interna da nuvem de pontos tenha sido preservada, foi identificado um deslocamento sistemático que inviabiliza o uso desses dados em aplicações cartográficas de maior rigor. Tal comportamento confirma que levantamentos em modo relativo interno são adequados apenas para análises preliminares ou estudos que dependam exclusivamente de precisão relativa, não devendo subsidiar projetos executivos.

Do ponto de vista prático, os achados deste estudo oferecem diretrizes claras para aplicações em engenharia e gestão territorial: (i) levantamentos com exigência centimétrica devem ser realizados com base RTK de coordenadas conhecidas (marco geodésico); (ii) levantamentos em modo relativo interno são adequados apenas para análises exploratórias ou aplicações com menor rigor posicional; e (iii) protocolos consistentes de controle e validação são indispensáveis para garantir confiabilidade em mapeamentos, análises volumétricas e levantamentos executivos.

Assim, o estudo reforça a importância do controle geodésico na aquisição de dados LiDAR embarcados em RPA.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Sinop. Ao curso de Engenharia Civil. À Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no âmbito do Edital nº 008/2025 – UNEMAT/PRPPG – Bolsas PIBIC/CNPq, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), por meio do Edital nº 010/2025 – UNEMAT/PRPPG – Bolsas PROBIC-GP, pelo financiamento das bolsas de iniciação científica. Os autores agradecem ainda ao Laboratório de Informação Espacial (SpInLab) e ao Laboratório de Análise de Imagens Digitais (LAID) pelo suporte técnico, científico e estrutural fornecido durante a execução das atividades de campo, processamento e análise dos dados geoespaciais.

REFERÊNCIAS

ASPRS. *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 81, n. 3, p. A1–A26, 2015.

BALTSAVIAS, Emmanuel P. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Lausanne, v. 54, n. 2-3, p. 199–214, 1999.

COLOMINA, Ismael; MOLINA, Pere. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 92, p. 79–97, 2014.

EL-DIASTY, M.; AL-HASHIM, A.; ABDALLA, R. UAV-Based LiDAR System for Urban Mapping and Modelling Applications. *The Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inf. Sciences*, v. XLVIII-M-8-2025, p. 13–17, 2025.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more*. Vienna: Springer, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro*. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). *Manual técnico de posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais*. 1. ed. Brasília: INCRA, 2013.

PEREIRA COELHO, D.; RODRIGUES, R. A. S.; RIBAS, E. B. Drone na engenharia de agrimensura: vantagens da utilização de drone com sistema RTK. *Paramétrica*, [S. l.], v. 16, n. 1, 2024.

ROHR, Priscila Bocussi. *Comparação do erro altimétrico da aerofotogrametria com drone com o método de posicionamento RTK GNSS*. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

SEEBER, Günter. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. 2. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SHAN, Jie; TOTH, Charles K. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018.

SUZUKI, T.; INOUE, D.; AMANO, Y. Robust UAV Position and Attitude Estimation using Multiple GNSS Receivers for Laser-based 3D Mapping. *arXiv preprint*, arXiv:2312.02485, 2023.

TRONG, T. D. et al. Study of the application of UAV and LiDAR to topographic survey of mountainous forest areas. *RGG*, Warsaw, 2024.

VOSSELMAN, George; MAAS, Hans-Gerd. *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Dunbeath: Whittles Publishing, 2010.

WEHR, Achim; LOHR, Uwe. Airborne laser scanning an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Lausanne, v. 54, n. 2-3, p. 68–82, 1999.