



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA URBANA**

PAULO RICARDO EVANGELISTA ARAUJO

**ANÁLISE COMPARATIVA NA AQUISIÇÃO DE DADOS DE
FOTOGRAMETRIA E LIDAR COM USO DE VANT - ESTUDO DE CASO NO
PARQUE ECOLÓGICO DAS TIMBAÚBAS, JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ**

JUAZEIRO DO NORTE

2026

PAULO RICARDO EVANGELISTA ARAUJO

**Análise Comparativa na Aquisição de Dados de Fotogrametria e LiDAR com
Uso de VANT - Estudo de Caso no Parque Ecológico das Timbaúbas, Juazeiro
do Norte, Ceará**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Especialização em Engenharia de
Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências e
Tecnologia da Universidade Federal do Cariri,
como requisito parcial à obtenção do título de
Especialista em Engenharia de Infraestrutura
Urbana.

Orientador(a): Prof. Dr Marcos José Lima
Gomes

JUAZEIRO DO NORTE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Cariri
Sistema de Bibliotecas

A663a Araujo, Paulo Ricardo Evangelista.
Análise comparativa na aquisição de dados de fotogrametria e LiDAR com uso de VANT - estudo de caso no Parque Ecológico das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará / Paulo Ricardo Evangelista Araujo. – 2026.
16 f. : il. color.

Monografia (Especialização em Engenharia de Infraestrutura Urbana) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, CE, 2026.

Orientador: Prof. Marcos José Timbó Lima Gomes.

1.VANT. 2. LiDAR. 3. Aerofotogrametria. 4. Modelo Digital do Terreno. 5. Juazeiro do Norte (CE). I. Gomes, Marcos José Timbó Lima (Orient.). II. Universidade Federal do Cariri.
III. Título.

CDD 526.9

Bibliotecário: João Bosco Dumont do Nascimento – CRB 3/1355

RESUMO

O avanço das geotecnologias tem democratizado o acesso à aquisição de dados espaciais, tornando o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) uma ferramenta indispensável para o mapeamento de alta resolução. Este artigo apresenta uma análise comparativa entre os métodos de aquisição de dados por fotogrametria e por Laser Scanner (LiDAR), ambos embarcados em VANT, voltados à geração de Modelos Digitais de Terreno e de Superfície. O estudo de caso foi conduzido no Parque Ecológico das Timbaúbas, localizado em Juazeiro do Norte, Ceará, área de relevante interesse ambiental e urbano por desempenhar função essencial como dreno natural de águas pluviais. Os dados foram obtidos por meio do drone DJI Matrice 300 RTK, equipado com o sensor Zenmuse L1, e a precisão posicional foi assegurada mediante o uso de pontos de controle rastreados com receptores GNSS Trimble DA2 RTX. O processamento inicial foi realizado no software DJI Terra, seguido pela classificação e análise das nuvens de pontos no Global Mapper. Os resultados demonstram que o LiDAR apresentou maior acurácia altimétrica na representação do terreno, sobretudo em áreas com vegetação densa, confirmando a hipótese inicial do estudo. Conclui-se que o uso do LiDAR fornece subsídios técnicos mais robustos para o planejamento urbano e a gestão de áreas de drenagem, configurando-se como a tecnologia mais adequada para levantamentos topográficos de alta precisão.

Palavras-chave: VANT. LiDAR. Aerofotogrametria. Modelo Digital do Terreno.

ABSTRACT

The advancement of geotechnologies has democratized access to spatial data acquisition, making the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) an indispensable tool for high-resolution mapping. This article presents a comparative analysis between photogrammetry and Laser Scanner (LiDAR) data acquisition methods, both mounted on UAVs, aimed at generating Digital Terrain and Surface Models. The case study was conducted in the Timbaúbas Ecological Park, located in Juazeiro do Norte, Ceará, an area of significant environmental and urban interest due to its essential function as a natural drainage system for rainwater. Data was obtained using a DJI Matrice 300 RTK drone, equipped with the Zenmuse L1 sensor, and positional accuracy was ensured using control points tracked with Trimble DA2 RTX GNSS receivers. Initial processing was performed in DJI Terra software, followed by classification and analysis of point clouds in Global Mapper. The results demonstrate that LiDAR showed greater altimetric accuracy in representing the terrain, especially in areas with dense vegetation, confirming the initial hypothesis of the study. It is concluded that the use of LiDAR provides more robust technical support for urban planning and drainage area management, establishing itself as the most suitable technology for high-precision topographic surveys.

Keywords: UAV. LiDAR. Aerial photogrammetry. Digital Terrain Model.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	07
2 REFERENCIAL TEÓRICO	08
2.1 Aerofotogrametria com VANT.....	08
2.2 Tecnologia LiDAR Aerotransportada.....	08
2.3 Pontos de Apoio (GCPs) e de Checagem.....	09
2.4 Levantamento GNSS com Tecnologia Trimble RTX.....	09
3 MÉTODO E RESULTADOS	10
3.1 Área de Estudo.....	10
3.2 Aquisição de Dados.....	11
3.3 Processamento de Dados.....	11
3.4 Análise Comparativa de Desempenho.....	13
4 CONCLUSÕES	13
REFERÊNCIAS	14
ANEXO – Declaração de validação	16

1 INTRODUÇÃO

A demanda por dados espaciais de alta resolução e precisão tem se tornado cada vez mais relevante para o planejamento e a gestão de infraestruturas urbanas, especialmente em regiões sujeitas a desafios hidrológicos, como inundações e manejo de águas pluviais (Silva et al, 2020). O avanço do uso dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) transformou as práticas de aerolevanteamento, proporcionando maior rapidez, portabilidade e acurácia em comparação aos métodos tradicionais.

No contexto da modelagem tridimensional do terreno, destacam-se dois métodos principais: a fotogrametria e o Laser Scanner (LiDAR). A fotogrametria, por meio de algoritmos Structure from Motion (SfM), reconstrói a geometria de uma área a partir da sobreposição de imagens digitais (Franco & Naime, 2021). O LiDAR, por sua vez, é um sensor ativo que emite pulsos de laser para medir diretamente a distância entre o sensor e o alvo, gerando uma nuvem de pontos tridimensional de elevada precisão (Pacheco et al., 2011).

A principal vantagem do LiDAR em ambientes naturais é sua capacidade de penetrar a vegetação, permitindo medições diretas do solo, aspecto crucial para a geração de Modelos Digitais de Terreno (MDT) acurados (Nishiwaki et al., 2023). A relevância do tema justifica-se pela necessidade crescente de aprimorar os mecanismos de alta resolução e precisão na aquisição de dados espaciais e registros topográficos confiáveis na elaboração de estudos. A escolha da área de estudo, o Parque Ecológico das Timbaúbas, localizado em Juazeiro do Norte-CE, além de ser um importante espaço de lazer, exerce papel essencial como dreno natural das águas pluviais da região, recebendo contribuições provenientes tanto de Juazeiro do Norte quanto do município vizinho, Barbalha. A caracterização precisa de seu relevo e de sua superfície é, portanto, fundamental para estudos hidrológicos, como a delimitação de bacias de contribuição, e para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura de drenagem.

Diante disso, este artigo tem como objetivo comparar a eficiência e a acurácia posicional na geração de MDT, utilizando as tecnologias de fotogrametria e LiDAR embarcadas em VANT. Busca-se demonstrar, por meio da análise quantitativa e qualitativa dos produtos gerados, qual metodologia apresenta o resultado mais preciso para o mapeamento detalhado da topografia do parque, validando sua aplicabilidade em estudos de planejamento urbano e ambiental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aerofotogrametria com VANT

A aerofotogrametria moderna, impulsionada pelo uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) equipados com câmeras digitais, consolidou-se como uma ferramenta acessível e eficiente para o mapeamento topográfico. Por meio de algoritmos *Structure from Motion* (SfM), é possível processar centenas de imagens com elevada sobreposição, gerando produtos cartográficos de alta resolução, como nuvens de pontos densas, modelos digitais e ortomosaicos (Rocha et al., 2017).

Essa tecnologia apresenta excelente relação custo-benefício, sendo amplamente empregada em diferentes áreas, como agricultura de precisão, monitoramento ambiental e engenharia civil. Contudo, a fotogrametria é um método passivo que depende da iluminação solar e da captura de feições visíveis na superfície. Em regiões com vegetação densa, os modelos gerados representam predominantemente o topo das árvores, revelando-se ineficazes para a modelagem do relevo do solo. Essa limitação constitui um obstáculo significativo para aplicações que demandam MDT com precisão, como estudos hidrológicos e de infraestrutura urbana.

2.2 LiDAR Aerotransportado

O sistema *Light Detection and Ranging* (LiDAR) é um sensor ativo que funciona emitindo pulsos de laser e medindo o tempo de retorno desses pulsos após atingirem uma superfície. Essa medição direta da distância, combinada aos dados de um Sistema de Navegação Inercial (IMU) e de um receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS) de alta precisão, resulta em uma nuvem de pontos tridimensional georreferenciada de elevada acurácia.

A principal vantagem do LiDAR aerotransportado (*Airborne Laser Scanning* – ALS), especialmente quando embarcado em VANTs, é sua capacidade de penetrar a copa da vegetação. O feixe de laser pode atravessar pequenas aberturas entre folhas e galhos, gerando múltiplos retornos: os primeiros atingem o topo da vegetação, enquanto os últimos alcançam o solo. Essa característica possibilita a filtragem da nuvem de pontos para isolar os pontos correspondentes ao terreno, permitindo a criação de MDTs muito mais precisos em áreas florestadas.

Estudos, como o de Ribeiro (2019), demonstram a eficiência do LiDAR na representação do relevo real e de edificações em contextos urbanos, superando as limitações

inerentes à fotogrametria. Pesquisas comparativas, a exemplo de Oliveira (2022), validam a superioridade do método na obtenção de dados com melhor qualidade posicional em ambientes com vegetação complexa.

2.3 Pontos de Apoio (GCPs) e de Checagem

Para assegurar que os produtos gerados por VANTs apresentem acurácia posicional compatível com as normas técnicas vigentes, é indispensável o uso de pontos de controle em solo. Esses pontos são alvos com coordenadas conhecidas e de alta precisão, utilizados para georreferenciar corretamente os modelos fotogramétricos (Zanetti et al., 2017).

Pontos de Apoio (*Ground Control Points* – GCP): utilizados durante o processamento das imagens para ajustar o modelo tridimensional, corrigindo distorções e amarrando o levantamento ao sistema de coordenadas do terreno. A quantidade e a distribuição dos GCP na área de interesse são fatores determinantes para garantir acurácia homogênea em todo o projeto.

Pontos de Checagem (*Check Points*): pontos adicionais, também levantados em campo com alta precisão. Servem para a verificação independente da qualidade do levantamento, permitindo o cálculo do erro posicional do modelo final e a validação quanto à conformidade com o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), estabelecido pelo Decreto nº 89.817/1984, que estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional.

2.4 Levantamento GNSS com Tecnologia Trimble RTX

A determinação das coordenadas dos pontos de apoio e checagem requer métodos de levantamento geodésico de alta precisão. Tradicionalmente, emprega-se o método RTK (*Real Time Kinematic*), que depende de uma estação base próxima. Entretanto, tecnologias mais recentes, como o serviço de correção Trimble Center Point RTX (*Real Time eXtended*), tornaram esse processo mais ágil e independente.

O RTX é uma tecnologia de Posicionamento por Ponto Preciso (*Precise Point Positioning* – PPP) que fornece correções em tempo real via satélite, permitindo que um único receptor GNSS em campo alcance precisão centimétrica sem a necessidade de uma base local ou conexão à internet (TRIMBLE, 2023). O sistema utiliza uma rede global de estações de monitoramento contínuo para calcular e transmitir parâmetros de correção relativos aos erros de órbita e de relógio dos satélites, além de compensar atrasos ionosféricos e topográficos. Essa tecnologia amplia significativamente a eficiência e a produtividade em campo, sendo

ideal para o levantamento de pontos de controle em áreas remotas ou de difícil acesso.

3 MÉTODO E RESULTADOS

3.1 Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida no Parque Ecológico das Timbaúbas (Figura 01), em Juazeiro do Norte (CE). O local foi escolhido por sua relevância ecológica e por sua função hidrológica como dreno natural para a macrodrenagem pluvial de Juazeiro do Norte e parte de Barbalha. A presença de vegetação densa e áreas abertas (Figura 02) torna o parque ideal para avaliar a eficiência comparativa das tecnologias de LiDAR e fotogrametria.

Figura 1 – Planta de Situação e Localização do Parque.



Fonte: Os Autores (2026).

Figura 2 – Imagem aérea do parque (sem escala).



Fonte: Os Autores (2026).

3.2 Aquisição de Dados

A coleta dos dados foi realizada conforme as seguintes etapas:

- a) Plataforma Aérea: os dados fotogramétricos e os provenientes do sistema LiDAR foram adquiridos simultaneamente utilizando o drone multirrotor DJI Matrice 300 RTK, reconhecido por sua estabilidade e precisão operacional;
- b) Sensor: utilizou-se o sensor integrado Zenmuse L1, que combina um módulo LiDAR Livox, uma IMU de alta precisão e uma câmera RGB de 20 MP com obturador mecânico. Essa integração permite a coleta simultânea de dados LiDAR e imagens RGB em uma mesma missão de voo, otimizando tempo e assegurando a coerência espacial entre os dados;
- c) Apoio Terrestre: para garantir o georreferenciamento de alta acurácia e validar os produtos gerados, foram implantados dez pontos de controle (GCP) e um ponto de checagem, distribuídos estrategicamente pela área de estudo. O rastreamento das coordenadas desses pontos foi executado com o receptor GNSS Trimble DA2, utilizando correções em tempo real via tecnologia RTX, garantindo precisão centimétrica.

3.3 Processamento de Dados

Processamento de Dados

O fluxo de trabalho para o processamento dos dados foi dividido em duas etapas principais, realizadas nos *softwares* DJI Terra e Global Mapper.

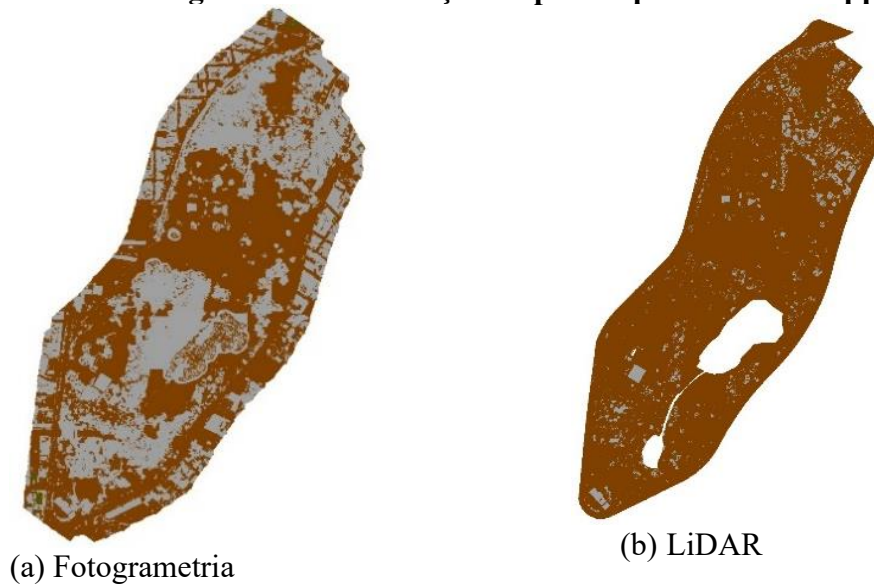
Etapa 1 - Processamento Primário – DJI Terra

- a) Fotogrametria: as 857 imagens RGB coletadas foram processadas para gerar a nuvem de pontos densa por fotogrametria, o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o ortomosaico georreferenciado da área
- b) LiDAR: os dados brutos obtidos pelo sensor Zenmuse L1 foram processados para gerar a nuvem de pontos LiDAR colorizada, integrando informações tridimensionais de alta densidade.

Etapa 2 - Classificação e Análise – Global Mapper

- a) Classificação Automática: as nuvens de pontos geradas (fotogramétrica e LiDAR, Figura 03a e Figura 03b, respectivamente) foram exportadas para o software Global Mapper, onde foram classificadas automaticamente. O software identifica e separa os pontos correspondentes ao solo (*ground*) daqueles relativos à vegetação, edificações e demais objetos;

Figura 3 – Classificação de pontos pelo Global Mapper.



Fonte: Os Autores (2026).

- b) Geração dos MDT: a partir da nuvem de pontos classificada como “solo”, foram gerados os MDT para cada tecnologia utilizada, permitindo uma comparação direta e objetiva entre os relevos mapeados. As Figuras 04 e 05 apresentam os modelos obtidos a partir da fotogrametria e LiDAR, respectivamente.

Figura 4 – MDT gerado pelo Global Mapper a partir dos dados de fotogrametria.

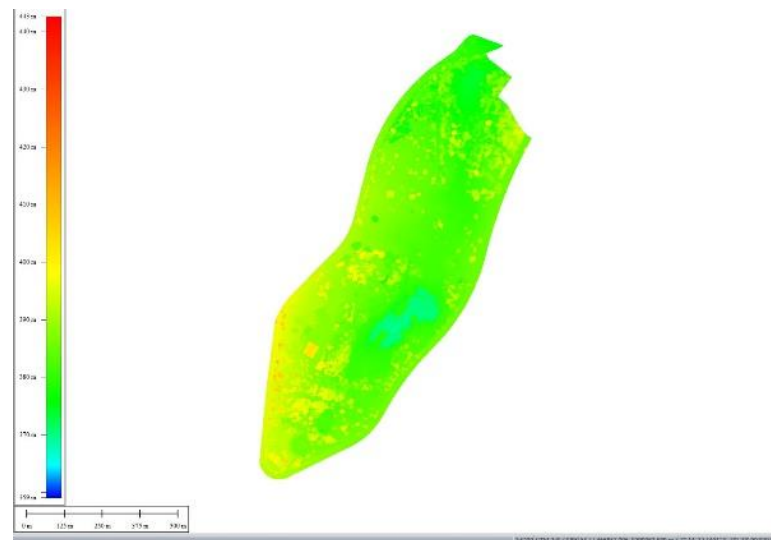
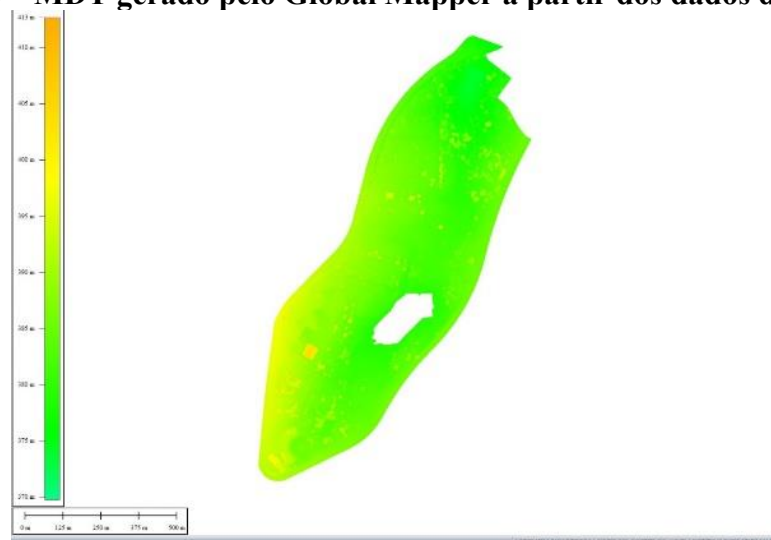


Figura 5 – MDT gerado pelo Global Mapper a partir dos dados do LiDAR.



Fonte: Os Autores (2026).

3.4 Análise Comparativa de Desempenho

A comparação direta entre as duas metodologias evidenciou que, para o objetivo deste estudo, o LiDAR apresenta desempenho claramente superior. O modelo derivado da fotogrametria mostrou-se limitado em áreas de cobertura vegetal, pois tende a confundir a altura da vegetação com a elevação real do terreno. Em contrapartida, o MDT obtido por LiDAR representa com maior fidelidade o relevo natural, sem interferência das copas de árvores ou edificações. A Tabela 1 apresenta os metadados de classificação global dos levantamentos fotogramétrico e com LiDAR.

Tabela 1 – Metadados da Porcentagem de Classificação.

Material	Fotogrametria	LiDAR
Solo	1.580.532 (57,55%)	2.943.159 (93,60%)
Vegetação baixa	2.128 (0,08%)	4.121 (0,13%)
Sem classificação	1.163.839 (42,38%)	197.188 (6,27%)
Contagem de pontos total	2.746.499	3.144.468

Fonte: Os Autores (2026).

Além disso, a diferença percentual entre os pontos classificados como solo (57,55% na fotogrametria contra 93,60% no LiDAR) reforça quantitativamente a superioridade do método ativo. A integração dos dados LiDAR com produtos fotogramétricos, como ortomosaicos de alta resolução, pode, contudo, fornecer um conjunto de informações complementares para o planejamento urbano, ambiental e de drenagem.

4 CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo foi comparar a eficácia dos métodos de fotogrametria e LiDAR embarcados em Veículos Aéreos Não Tripulados, sendo plenamente alcançado.

A análise comparativa confirmou a hipótese inicial: a metodologia LiDAR apresenta desempenho significativamente superior para a caracterização precisa do relevo em áreas cobertas por vegetação. Sua capacidade de penetrar em alta vegetação e registrar múltiplos retornos permitiu classificar 93,60% dos pontos como solo, em contraste com os 57,55% obtidos pela fotogrametria.

Essa diferença é determinante para aplicações de engenharia, geoprocessamento e planejamento ambiental. O MDT gerado a partir dos dados LiDAR mostrou-se mais limpo, coerente e adequado para análises de drenagem urbana e planejamento de infraestrutura.

No contexto específico do Parque Ecológico das Timbaúbas, a utilização de um MDT de alta acurácia é essencial para garantir a segurança e a sustentabilidade das intervenções urbanas. Embora a fotogrametria permaneça uma ferramenta valiosa para levantamentos rápidos e de baixo custo, este estudo evidencia que, em projetos que demandam modelagem fiel do terreno, o investimento em tecnologia LiDAR é plenamente justificado.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.** Brasília, DF, 1984.
- FERREIRA, F. R. **Segmentação do espaço urbano por meio da tecnologia LiDAR aerotransportado.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- FRANCO, G. G.; NAIME, A. F. **Structure from Motion (SfM): uma breve revisão histórica, aplicações nas geociências e perspectivas futuras.** Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, v. 44, 2021. DOI: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_40853.
- NISHIWAKI, A. A. M. et al. **Uso do LiDAR na estimativa de atributos florestais: uma revisão.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 16, n. 1, p. 505–527, 2023. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p505-527>.
- OLIVEIRA, D. R.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T.; MAROTTA, G. S. **Geração de modelo digital do terreno a partir de imagens obtidas por veículo aéreo não tripulado.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 6, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n6-44316>.
- OLIVEIRA, P. H. L. **Utilização de drones e análise comparativa de métodos de aquisição:**

fotogrametria e laser scanner – estudo de caso Oficina Francisco Brennand. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

PACHECO, A. P.; CENTENO, J. A. S.; ASSUNÇÃO, M. G. T.; BOTELHO, M. F. **Classificação de pontos LiDAR para a geração do MDT**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 17, n. 3, p. 471–483, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-21702011000300006>.

RIBEIRO, S. C. L. **O uso do LiDAR aerotransportado para obtenção de métricas de ocupação em assentamentos precários**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

SILVA, R. M. da. **Proposta metodológica de alta acurácia para delimitação de áreas de inundação urbana: um estudo de caso em Itaqui-RS, Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, v. 43, n. 2, p. 263–276, 2020. DOI: https://doi.org/10.11137/2020_2_263_276.

TRIMBLE. **Serviço de correção RTX**. Trimble Field Systems Help Portal, 2023. Disponível em: <https://help.trimble.com/>. Acesso em: 9 out. 2025.

ZANETTI, J.; GRIPP JÚNIOR, J.; SANTOS, A. P. dos. **Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n2-44016>.

ANEXO

DECLARAÇÃO DE VALIDAÇÃO

Declaro para os devidos fins que este Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo Científico), escrito sob minha orientação, está em versão final, de acordo com as solicitações realizadas pela banca examinadora. Informo também que procedi à revisão final do texto, constatando que atende às especificações das normas da ABNT para apresentação de trabalhos acadêmicos da UFCA, no que diz respeito ao conteúdo e à formatação.



Documento assinado digitalmente

MARCOS JOSE TIMBO LIMA GOMES

Data: 17/03/2026 21:45:21-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Data e local da assinatura eletrônica