

ANÁLISE DA ACURÁCIA POSICIONAL DE NUVENS DE PONTOS GERADAS PELO LASER LIDAR DE SMARTPHONE

Positional Accuracy Analysis of Point Clouds Generated by Smartphone LiDAR

Alexandre Assunção Oliveira Guimarães

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | alexandre.aoliveira@outlook.com.br

Júlia Amâncio Fonseca

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | juliafonsecan@gmail.com

Bianca Bernardes Pincer

Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | biancapincer5@gmail.com

Murillo Henrique Ferreira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | murillo.h1@gmail.com

Raquel Diniz Oliveira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | raqueldiniz@cefetmg.br

Cristina Guimarães César

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | cristinagcesar@gmail.com

RESUMO

No âmbito da construção civil, a digitalização das edificações tem possibilitado a documentação arquitetônica, o desenvolvimento de modelos em BIM e a construção de ambientes em realidade aumentada. Nesse contexto, smartphones que possuem o laser LiDAR (*Light Detection and Ranging*) embutido em seu sistema representam tecnologias recentes e emergentes, as quais podem ser exploradas para a reconstrução 3D. Dessa forma, este estudo objetiva investigar e comparar os modelos digitais de nuvens de pontos gerados pelo aplicativo *3D Scanner App* de uma edificação de uso escolar localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Nessa análise, o nível de qualidade dos modelos gerados pelo aplicativo foi comparado com modelo de referência feito por Laser Scanner Terrestre e com medidas reais, de modo a obter conclusões acerca da acurácia posicional. Ademais, analisou-se variações na forma de aquisição dos dados 3D com o smartphone e a interferência na utilização de um estabilizador triaxial para diferentes tamanhos de nuvens de pontos. Os resultados obtidos indicam que a aquisição de nuvens de pontos com o uso de estabilizadores de smartphone, somadas ao georreferenciamento, melhoram significativamente a acurácia posicional e que o levantamento de extensões maiores de nuvens de pontos pode prejudicar a acurácia posicional.

Palavras-chave: Escaneamento; Smartphone; LiDAR; Nuvem de pontos; Registros arquitetônicos.

ABSTRACT

In the construction industry, the digitization of buildings has enabled architectural documentation, the development of BIM models, and the creation of augmented reality environments. In this context, smartphones with built-in LiDAR (*Light Detection and Ranging*) lasers represent recent and emerging technologies that can be exploited for 3D reconstruction. Therefore, this study aims to investigate and compare the digital point cloud models generated by the *3D Scanner App* of a school building located in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. In this analysis, the quality of the models generated by the app was compared with a reference model created by a terrestrial laser scanner and with real measurements to draw conclusions about positional accuracy. Furthermore, variations in the method of 3D data acquisition with the smartphone and the interference of using a triaxial stabilizer for different point cloud sizes were analyzed. The results obtained indicate that the acquisition of point clouds using smartphone stabilizers, in addition to georeferencing, significantly improves positional accuracy and the survey of larger extensions of point clouds can impair positional accuracy.

Keywords: Scanning; Smartphone; LiDAR; Point cloud; Architectural records.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico dos smartphones permitiu a incorporação de sensores 3D aos dispositivos, viabilizando sua aplicação em diversas atividades, como levantamentos tridimensionais. Nesse contexto, a Apple integrou o sistema *Light Detection and Ranging* (LiDAR) em alguns modelos iPhone, a partir do 12 – nas versões Pro e Pro Max. Originalmente projetado para aprimorar fotografias em ambientes com baixa luminosidade, esse sensor passou a ser explorado pela comunidade científica para aplicações em reconstruções tridimensionais de objetos e ambientes (Abbas; abed, 2024). O sistema funciona com base em pulsos de laser que medem distâncias por meio do tempo de retorno do feixe refletido, permitindo a geração de milhares de pontos organizados em um sistema de coordenadas XYZ arbitrário, formando uma nuvem de pontos tridimensional (Yang *et al.*, 2022).

Como trata-se de uma tecnologia recente, introduzida em smartphones a partir de 2020, diversos estudos vêm investigando comparações entre os sensores LiDAR embarcados em smartphones e os equipamentos de Laser Scanner Terrestre (*Terrestrial Laser Scanner* - TLS), além de analisarem fatores como material, cor, textura, reflexividade das superfícies escaneadas e a aplicação dessa tecnologia em diferentes contextos, como varreduras de ambientes urbanos, documentação de patrimônio cultural e reconstituição de cenas de acidentes (Teppati losè *et al.*, 2022; Kottner *et al.*, 2023; Razali *et al.*, 2022).

No campo dos mapeamentos aéreos, estudos como o de Tamimi e Toth (2024) demonstram a combinação das nuvens de pontos obtidas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) com aquelas geradas por smartphones equipados com LiDAR, evidenciando o caráter complementar entre essas duas tecnologias de sensoriamento remoto. No referido estudo, um iPhone foi utilizado para capturar a geometria de edificação a partir do solo, enquanto o ARP realizava a cobertura aérea, resultando na fusão das nuvens de pontos em um modelo tridimensional mais completo da área edificada. Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a qualidade das nuvens de pontos geradas a partir de um estudo de caso, comparando os dados obtidos por TLS com os capturados pela tecnologia LiDAR embarcada em iPhones, por meio do aplicativo “3D Scanner App”. Adicionalmente, investiga-se o impacto da estabilização do dispositivo móvel com o uso de um gimbal na acurácia e na qualidade geométrica dos modelos gerados.

2 METODOLOGIA

Esta seção detalha os materiais e a sequência de procedimentos empregados na análise comparativa das nuvens de pontos. Como modelo 3D de referência para validação da acurácia posicional, utilizou-se o *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Além disso, conforme Marconi e Lakatos (2010), a análise quantitativa perpassa pelo conjunto de métodos que quantificam os dados numéricos com o intuito de interpretar as informações e suas relações com o objeto de estudo. No caso em questão, o objeto de estudo são as nuvens de pontos geradas pelos aplicativos de smartphone e a pesquisa é experimental e comparativa com outros estudos publicados.

2.1 EQUIPAMENTOS E SOFTWARES

Para a varredura das edificações, utilizou-se o smartphone da marca Apple, modelo iPhone 15 Pro Max. O aplicativo instalado no smartphone para as varreduras foi o 3DScanner App, o qual é disponível apenas para os sistemas IOS e possui todas as funcionalidades gratuitas, de modo a não ser necessário obter licença para utilizá-lo.

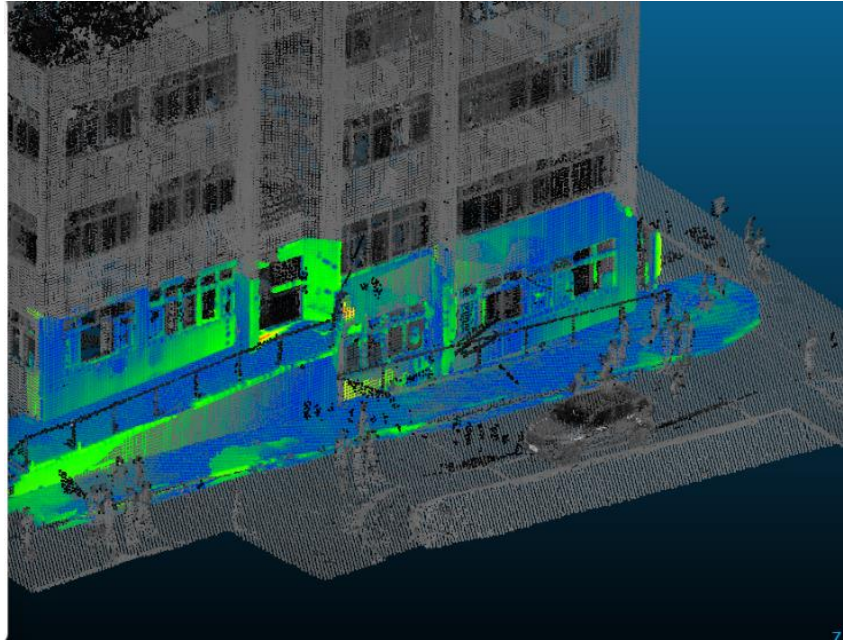
Em se tratando do modo de estabilização do smartphone, o DJI gimbal OSMO Mobile 6 foi um equipamento utilizado para promover estabilidade na aquisição. O gimbal é um dispositivo projetado para estabilizar câmeras e outros equipamentos que capturam imagem, como os smartphones, e sua função é reduzir e/ou amenizar os impactos causados involuntariamente ou devido ao movimento necessário no registro da imagem (Dji, 2025).

Os levantamentos feitos a partir da utilização do smartphone apoiado pelas mãos do usuário, isto é, sem o uso de estabilizadores para o aparelho podem ser chamados de Handheld. Nessa prática, mais simples de ser realizada, o único instrumento necessário é um smartphone e o aplicativo instalado para o levantamento.

Para georreferenciar e escalar os modelos de nuvens de pontos, foram confeccionados seis pontos de controle físicos de tamanho 45x45cm e estes foram dispostos ao redor da edificação. As coordenadas desses pontos de controle foram aferidas por meio do receptor GNSS Trimble R12i RTK (*Real Time Kinematic*) e por meio de um levantamento com o TLS da marca Riegel e modelo vz400i.

Para a manipulação e comparação das nuvens de pontos, utilizou-se o *software* gratuito CloudCompare. O programa possui inúmeras ferramentas, como recorte e filtragem de pontos. Além disso, para a pesquisa em questão, utilizou-se uma de suas ferramentas aplicada à análise da distância entre duas nuvens, denominada de distância cloud-to-cloud (C2C). Na Figura 1 pode-se visualizar o resultado da comparação da nuvem do laser (com cores RGB) com a do laser scanner (em cinza) por meio da análise da distância C2C. Os pontos mais esverdeados evidenciam distâncias maiores em relação à referência.

Figura 1: Representação visual da distância entre a nuvem de referência (cinza) e a do smartphone (em cores)



Fonte: Autores (2025)

2.2 ÁREA DE ESTUDO

A edificação de estudo se situa no campus do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), em Belo Horizonte. Conforme pode-se visualizar na Figura 2, esta edificação possui 4 pavimentos, altura aproximada de 17 metros, estrutura em concreto armado com ressaltos externos devido aos pilares da estrutura e janelas de correr por todas as fachadas. A entrada principal é pela lateral esquerda do edifício.

Figura 1: Localização da área de estudo



Fonte: Google Maps e Autores (2025)

2.3 FLUXOGRAMA

Para elucidar o fluxo de procedimentos, pode-se visualizar a Figura 3. Nela, tem-se representado o caminhamento das ações ao longo de cada fase na pesquisa. As etapas foram detalhadas no subitem 2.4.

Figura 2: Fluxograma da pesquisa apresentada



Fonte: Autores (2025)

2.4 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS PRÁTICAS

2.4.1 PLANEJAMENTO

A escolha da edificação baseou-se na facilidade de acesso dos autores para realizar os testes sem a necessidade de adquirir permissões. Dessa forma, para antes do processo de aquisição de dados, foi necessário dispor os seis pontos de controle ao redor do prédio, sendo quatro colocados no solo e dois em fachadas, com o intuito de cobrir toda a área de estudo e instalar o aplicativo 3D Scanner App no celular.

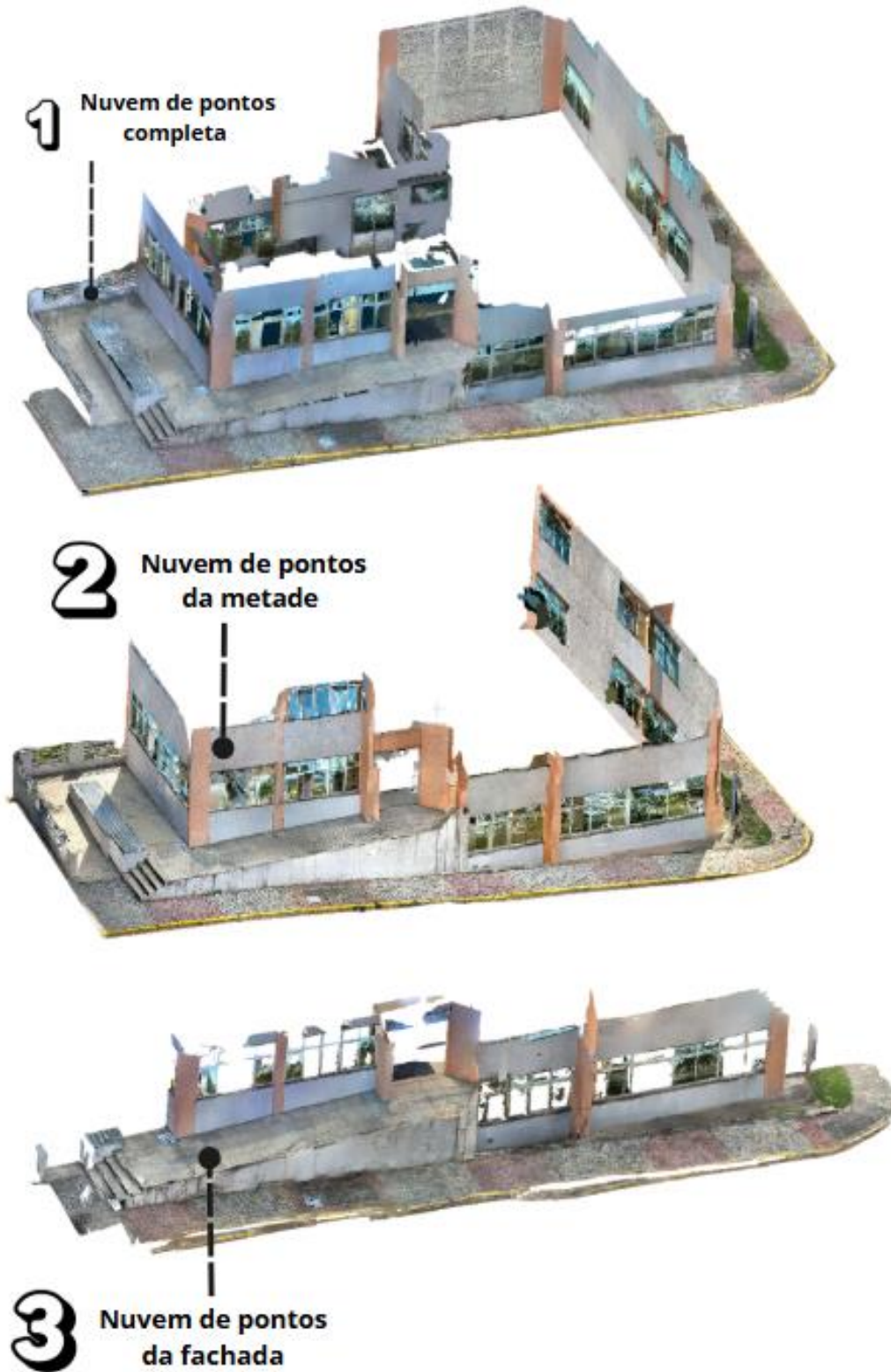
2.4.2 VARREDURA DA EDIFICAÇÃO

Nesta etapa, foi realizado o levantamento da edificação com o TLS vz400i. Este levantamento serviu como referência para avaliar a acurácia dos modelos gerados pelos aplicativos de smartphone. Além disso, procedeu-se à captura das coordenadas dos pontos de controle com o receptor GNSS.

Em seguida, foram realizados seis levantamentos com o aplicativo 3D Scanner App, sendo três delas feitas sem o uso de estabilizador e outras três com o uso do estabilizador. As nuvens geradas no final para cada abordagem foram, respectivamente: duas nuvens de pontos completas, ou seja, de todo o entorno do prédio, duas nuvens de pontos da metade do perímetro do prédio e duas nuvens de pontos de uma fachada. A Figura 4 exhibe as formas de aquisições executadas.

As varreduras foram feitas no período vespertino, com menor incidência solar nas áreas desejadas e o tempo médio para realizar o levantamento foram: 40 ± 2 minutos para a nuvem completa, 25 ± 2 minutos para a nuvem de metade e 15 ± 2 minutos para a nuvem da fachada, com e sem o gimbal.

Figura 4: Três tamanhos de varredura adotados para a análise



Fonte: Autores (2025)

2.4.3 ANÁLISE DA ACURÁCIA DAS NUVENS DE PONTOS

A análise de acurácia posicional exige um aspecto quantitativo dos dados para que seja possível validar sua precisão em relação às medidas reais da edificação. Esse parâmetro contribui para a validação do nível de precisão que o sensor do iPhone pode oferecer ao usuário que o utiliza para escaneamentos.

Em vista disso, as nuvens pontos foram verificadas por meio das ferramentas presentes no CloudCompare. Para isso, as nuvens de pontos foram importadas no software CloudCompare e passaram por uma breve filtragem de pontos que se encontravam distantes ou desconectados da superfície. Em seguida, o georreferenciamento ocorreu com a inserção das coordenadas lidas na nuvem do TLS para os pontos de controle. Todos os dados numéricos foram organizados em planilhas e gerados gráficos para visualizar e comparar os resultados.

Nesse sentido, para verificar a precisão das nuvens, pode-se recorrer a métodos cujo intuito é entender se os dados estão em conformidade com alguma referência, que pode ser uma medida ou até uma nuvem com alta precisão. Sendo assim, nesta pesquisa utilizou-se:

- Cálculo do Erro Médio Quadrático (Root Mean Square Error - RMSE): para avaliar a acurácia absoluta das nuvens de pontos. Neste método, é feita a comparação das coordenadas (x,y,z) aferidas *in loco* por meio de um receptor GNSS, por exemplo, com as coordenadas extraídas da nuvem de pontos. (Harwin; Lucieer, 2012).
- Cálculo do Erro Absoluto Médio (Mean Absolute Error - MAE): para avaliar a acurácia relativa das nuvens de pontos. Neste método, realiza-se a comparação de valores obtidos na nuvem de pontos com medidas feitas *in loco* com o uso de trena e calcula-se a diferença média entre os valores (He *et al.* 2024; Martinez *et al.*, 2021).
- Distância *Cloud-to-Cloud* (C2C): O C2C é um algoritmo que faz a análise da distância do vizinho mais próximo e calcula a distância euclidiana entre este par de pontos obtido entre duas nuvens de pontos. Esse algoritmo verifica o tanto que uma das nuvens está deslocada em relação a outra que é a referência. Para aplicar essa análise de forma eficiente, primeiramente, é preciso que as duas nuvens estejam alinhadas e, em segundo lugar, é necessário marcar no software a nuvem de referência para a comparação, nesse caso a nuvem do TLS. Por fim, o resultado dessa análise C2C é um histograma de Gauss que computa as discrepâncias entre as nuvens, incluindo a média e o desvio padrão (Cuong *et al.*, 2021).

3 RESULTADOS

A análise de resultados pode ser subdividida em duas seções: análise quantitativa das nuvens de pontos com o estabilizador e análise sem o estabilizador de smartphone. Para cada método, os gráficos serão apresentados e explorados.

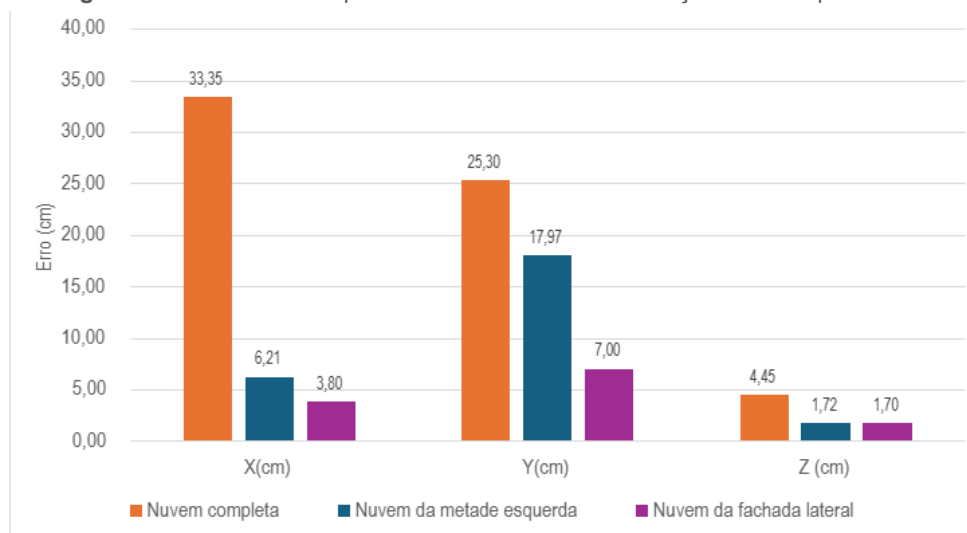
3.1 ANÁLISE QUANTITATIVA DAS NUVENS DE PONTOS

Nesta seção, será feita a análise das nuvens com o uso das métricas estatísticas expostas na etapa 2.4.3 da metodologia.

3.1.1 ANÁLISE DA RAIZ DO ERRO QUADRÁTICO MÉDIO

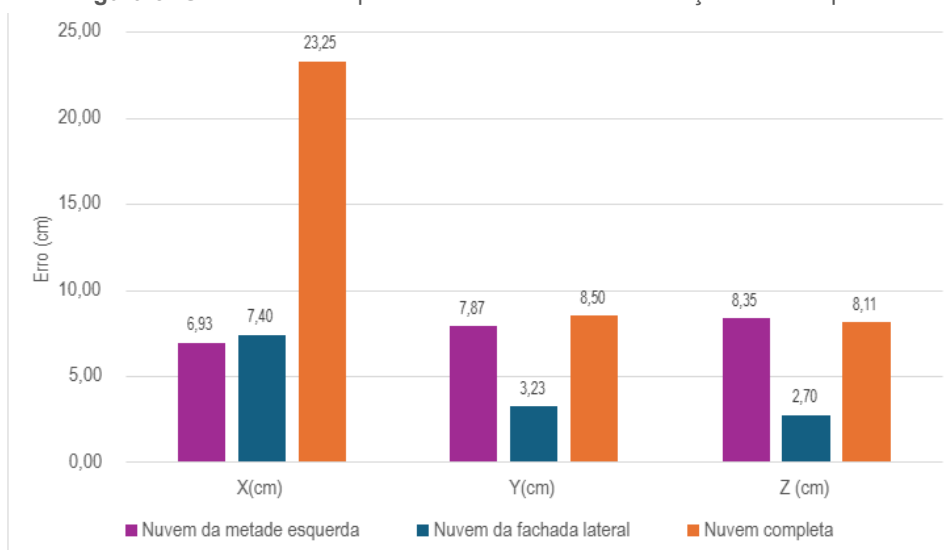
Acerca do RMSE, a Figura 5 exibe os valores de RMSE, em centímetros, obtidos para cada nuvem e organizadas por eixo X, Y e Z. Neste gráfico, tem-se que o maior RMSE na nuvem completa foi no eixo X, de 33,35cm e o menor no Z, de 4,45cm. A Figura 6, exibe o maior RMSE com o uso de estabilizador, que foi equivalente a 23,25cm para a nuvem completa.

Figura 5: Gráfico do Erro quadrático médio sem estabilização no smartphone



Fonte: Autores (2025)

Figura 6: Gráfico do Erro quadrático médio com estabilização no smartphone



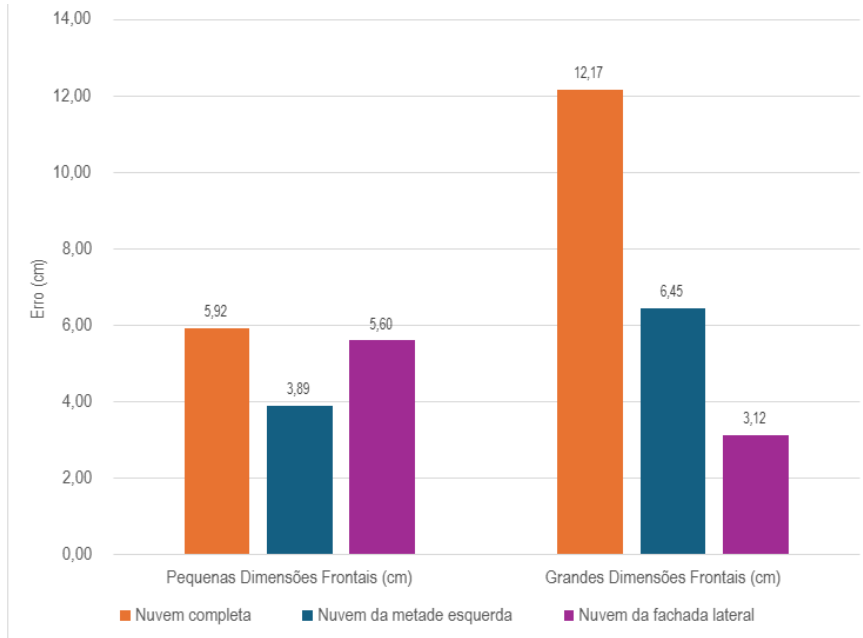
Fonte: Autores (2025)

A análise do RMSE por eixo, antes e após a utilização do estabilizador triaxial evidencia que o uso a estabilização contribuiu significativamente para a redução dos erros nos eixos horizontais (X e Y), sobretudo em levantamentos maiores. Na nuvem completa, por exemplo, o RMSE no eixo Y caiu de 25,30cm para 8,50cm (redução de 66,40%), enquanto no eixo X passou de 33,35cm para 23,25cm (redução de 30,30%). Por outro lado, em áreas menores, como a fachada lateral, observou-se aumento no erro do eixo Z, o que pode indicar oscilação do operador que pode ter introduzido ruídos verticais.

3.1.2 ANÁLISE DO ERRO MÉDIO ABSOLUTO

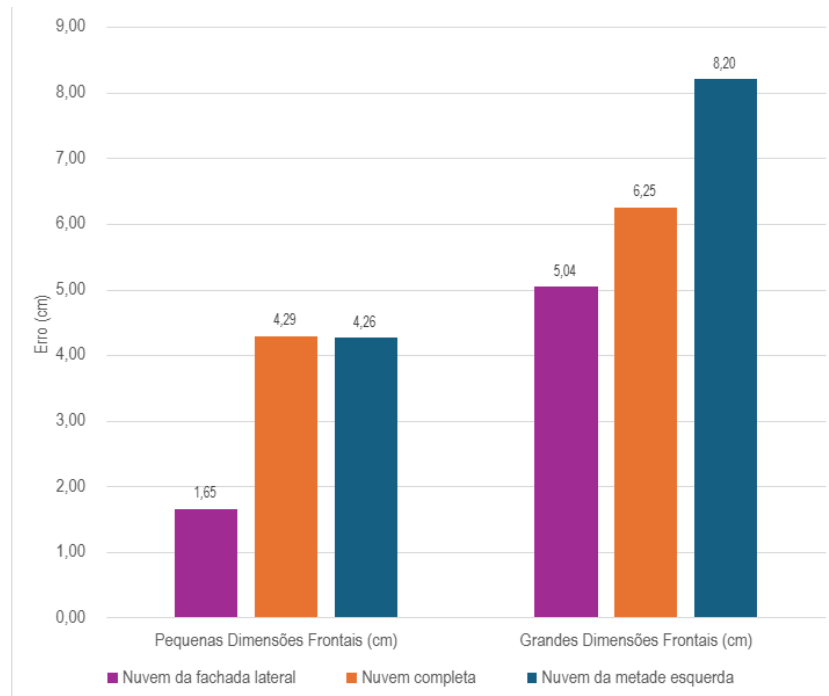
A Figura 7 exhibe os valores do MAE, em centímetros, obtidos para cada nuvem e organizadas por pequenas e grandes dimensões frontais e sem estabilização e na Figura 8, tem-se o MAE com uso de estabilização.

Figura 7: Gráfico do erro médio absoluto sem estabilização no smartphone



Fonte: Autores (2025)

Figura 8: Gráfico do erro médio absoluto com estabilização no smartphone



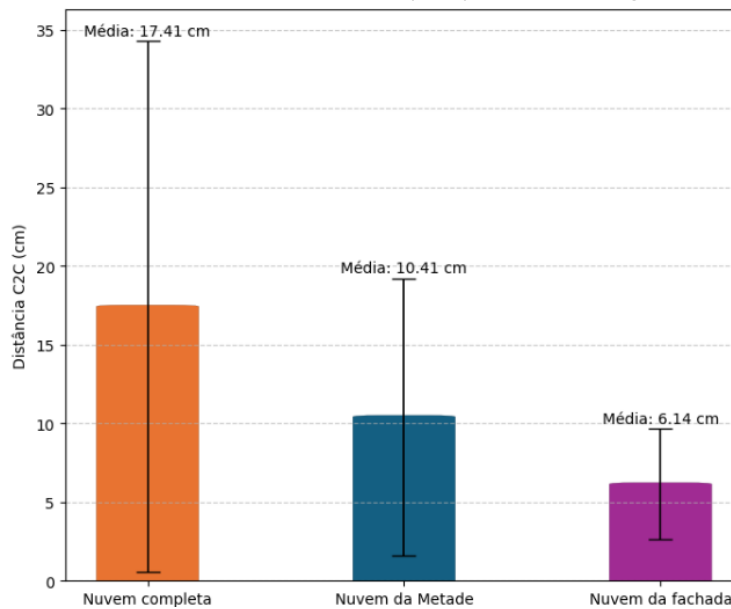
Fonte: Autores (2025)

Com relação ao MAE, calculado a partir de medidas reais obtidas por trena, foi possível observar que, em áreas com pequenas e nas dimensões frontais (inferiores a 3,00m), os erros médios foram inferiores a 6,00cm em todas as condições. O menor valor (1,65 cm) foi obtido na fachada com o uso do estabilizador. Em contrapartida, para dimensões maiores, como longas fachadas e corredores, os erros médios superaram os 6,00cm, chegando a 12,17cm no modo handheld e 8,20cm com estabilizador.

3.1.3 ANÁLISE DA DISTÂNCIA CLOUD-TO-CLOUD (C2C)

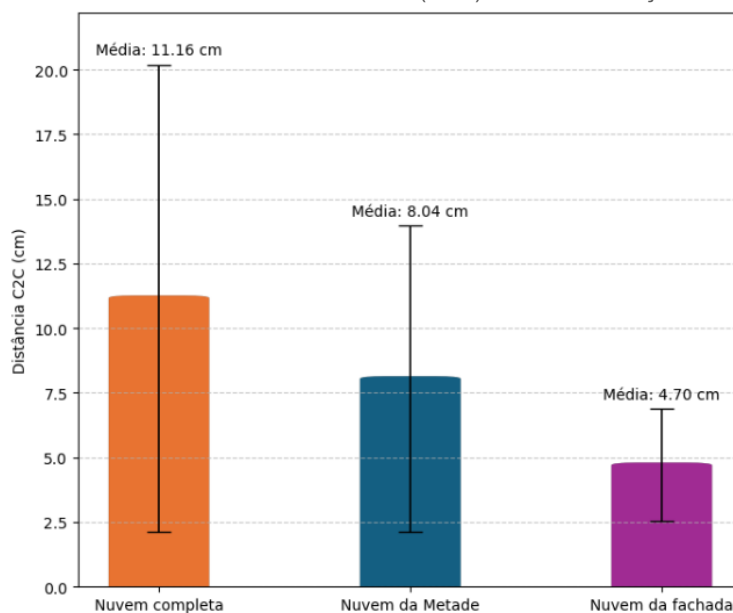
Na Figura 9 tem-se a análise do C2C e pode-se perceber a diferença de um padrão decrescente da média da distância e da amplitude do desvio padrão à medida que o tamanho da nuvem de pontos foi reduzido. A Figura 10 apresenta o gráfico desta análise com o uso da estabilização.

Figura 9: Gráfico da análise *Cloud-to-Cloud (C2C)* sem estabilização no smartphone



Fonte: Autores (2025)

Figura 10: Gráfico da análise *Cloud-to-Cloud (C2C)* com estabilização no smartphone



Fonte: Autores (2025)

Os resultados mostram que, com o uso do estabilizador, houve redução nos erros médios em todos os recortes analisados. A nuvem completa teve redução de 17,41cm para 11,16cm, a nuvem da metade esquerda de 10,41cm para 8,04cm, e a da fachada lateral de 6,14cm para 4,70cm.

Sem a estabilização, os maiores desvios médios foram observados na nuvem completa, com valor médio de 17,41cm e maior amplitude de desvio padrão, seguido pela nuvem da metade da edificação (10,41cm) e pela nuvem da fachada lateral (6,14cm), de modo decrescente. Essa variação revela que levantamentos de menores extensões, sem mudanças bruscas de sentido tendem a apresentar maior precisão na reconstrução, como é o caso da fachada.

4 DISCUSSÃO

A avaliação da acurácia de nuvens de pontos geradas por sensores LiDAR embarcados em smartphones demonstrou resultados promissores, sobretudo quando utilizadas em áreas específicas e com o auxílio de estabilizadores. O erro médio observado na análise Cloud-to-Cloud (C2C) foi de 17,41cm para a nuvem completa e 6,14cm para a fachada. Esses valores indicam que a tecnologia, embora menos precisa que os sistemas tradicionais como o TLS, apresenta desempenho aceitável em situações específicas para a engenharia. Isso vai ao encontro de outras pesquisas, como a de Teppati *et al.* (2022), que também indicam que o LiDAR embarcado em dispositivos móveis pode ser eficaz para levantamentos preliminares, sobretudo quando não se exige precisão milimétrica.

A análise do Erro Quadrático Médio (RMSE) por eixo, antes e após a utilização do estabilizador triaxial, evidencia que o uso de estabilização contribuiu para a redução dos erros nos eixos horizontais (X e Y). Nesse sentido, é importante destacar que todas as nuvens foram georreferenciadas e escaladas com o uso de pontos de controle e as varreduras da abordagem do tipo completa tiveram mais pontos de controle assinalados do que as de fachada ou de metade, o que pode ter interferido nos valores do RMSE.

Com relação ao Erro Médio Absoluto (MAE), calculado a partir de medidas reais obtidas por trena, em medidas de pequenas dimensões, os erros médios foram inferiores a 6,00 cm, chegando a 1,65 cm com estabilização, enquanto, em grandes dimensões, os erros chegaram a 12,17cm sem estabilização e 8,20cm com estabilização.

A análise C2C oferece uma visão global da diferença ponto a ponto entre as nuvens. A maior diferença foi observada na nuvem completa, que teve uma redução de mais de 6,00 cm no erro médio, representando uma melhora de aproximadamente 36,00% em relação ao modo sem estabilização. Isso demonstra que a instabilidade da movimentação manual influencia significativamente nos resultados, conforme evidenciado pela Tabela 1.

Tabela 1: Influência geral do uso do estabilizador

Abordagem adotada para varredura	C2C sem estabilizador (cm)	C2C com estabilizador (cm)	Redução absoluta (cm)	Redução relativa (%)
Nuvem completa	17,41	11,16	6,25	35,9%
Nuvem da metade	10,41	8,04	2,37	22,8%
Nuvem da fachada	6,14	4,70	1,44	23,4%

Fonte: Autores (2025)

Tais reduções demonstram que o estabilizador favorece a homogeneidade da aquisição, especialmente em varreduras contínuas. Além disso, as menores distâncias observadas nas fachadas indicam que áreas planas e de menor complexidade de percurso apresentam melhores resultados de acurácia. Além disso, destaca-se novamente, que as nuvens foram escaladas e georreferenciadas, por meio dos pontos de controle, pois conforme Tamimi e Toth (2024), esse procedo gerará produtos mais precisos.

Portanto, observa-se que o uso de estabilizadores melhora a qualidade da aquisição, reduzindo ruídos e distorções. Do ponto de vista da gestão das construções, os achados deste estudo abrem espaço para o uso estratégico do LiDAR de smartphones em diversas etapas do processo construtivo. Em atividades de levantamento inicial, inspeções de obra, acompanhamento de progresso físico e verificação de conformidade entre projeto e execução, essa ferramenta pode agilizar a tomada de decisão, reduzir custos com equipamentos especializados e ampliar a autonomia das equipes de campo. A capacidade de gerar modelos tridimensionais de forma rápida e com custo reduzido pode apoiar a gestão visual, o planejamento 4D e a integração entre escritórios e canteiros.

Apesar desses benefícios, é importante destacar que a tecnologia ainda apresenta limitações em termos de precisão e robustez dos dados, especialmente em ambientes complexos que precisam ser mais investigados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da acurácia de nuvens de pontos geradas por sensores LiDAR embarcados em smartphones, com e sem o uso de estabilização evidencia o potencial dos smartphones para aplicações técnicas em engenharia e arquitetura. Os resultados apontam que, embora a precisão ainda seja inferior aos sistemas tradicionais de escaneamento a laser, como o TLS, o desempenho obtido — especialmente com o auxílio de

estabilizadores — permite sua adoção em levantamentos preliminares, inspeções e atividades de verificação geométrica em campo. A redução nos valores de erro quadrático médio, erro médio absoluto e, principalmente, nas distâncias ponto a ponto indica que a estabilidade da aquisição impacta diretamente na qualidade dos dados, particularmente em ambientes abertos ou com maiores dimensões.

Em suma, depreende-se que a aplicabilidade dessa tecnologia em processos de gestão da construção civil, como acompanhamento de obra e controle de conformidade, mostra-se promissora, desde que os limites técnicos da solução sejam compreendidos e, quando necessário, complementados com métodos mais robustos, como a fotogrametria ou escaneamento a laser convencional.

REFERÊNCIAS

CUONG, C. X.; CANH, L. V.; CHUNG, P. V.; TINH, L. D.; DUNG, P. T.; CUONG, N. S. Quality assessment of 3d point cloud of industrial buildings from imagery acquired by oblique and nadir uav flights. **Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu**, v. 5, p. 131–139, 2021. Disponível em: <<https://nvngu.in.ua/index.php/en/information-resources/1870-engcat/archive/2021/content-5-2021/6000-131>>. Acesso em: 01 abr 2025. doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-5/131>.

DJI, Blog Oficial. O que é um gimbal: como funciona, tipos e benefícios. Disponível em: <<https://blog.lojadji.com.br/o-que-e-gimbal/>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

GOOGLE MAPS. *Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais*. 2025. Disponível em: <https://maps.app.goo.gl/AgnPFvC87gww8PzCA>. Acesso em: 18 jul. 2025.

HARWIN, S.; LUCIEER, A. Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from UAV imagery. **Remote Sensing**, v. 4, n. 6, p. 1573–1599, jun. 2012. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/4/6/1573>. Acesso em: 15 abr. 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs4061573>

HE, T; CHEN, K.; JAZIZADEH, F.; REICHARD, G. Unmanned aerial vehicle-based as-built surveys of buildings. **Automation in Construction**, V.161, maio 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580524000591>>. Acesso em: 25 jan 2025. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105323>.

KOTTNER, S.; THALI, M.J.; GASCHO, D. Using the iPhone's LiDAR technology to capture 3D forensic data at crime and crash scenes. **Forensic Imaging**, vol. 32, p.200535, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666225623000040>. Acesso em: 18 jun 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fri.2023.200535>.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINEZ, J. G. et al. UAS Point Cloud Accuracy Assessment Using Structure from Motion–Based Photogrammetry and PPK Georeferencing Technique for Building Surveying Applications. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 35, n. 1, p. 05020004, 2021. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0000936>>. Acesso em: 05 mar 2025. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000936](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000936).

RAZALI, M. I.; IDRIS, A. N.; RAZALI, M. H.; SYAFUAN, W. M. Quality Assessment of 3D Point Clouds on the Different Surface Materials Generated from iPhone LiDAR Sensor. **International Journal of Geoinformatics**, v. 18, n. 4, p. 51–58, 22 out. 2024. Disponível em: <https://ijg.journals.publicknowledgeproject.org/index.php/journal/article/view/2259>. Acesso em: 18 jul 2025. DOI: <https://doi.org/10.52939/ijg.v18i4.2259>.

TAMIMI, R.; TOTH, C. Experiments with Combining LiDAR and Camera Data Acquired by UAS and Smartphone to Support Mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives - International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 11 maio 2024. Disponível em: <<https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-1-2024/619/2024/>>. Acesso em: 03 fev 2025. Doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-2024-619-2024>

TEPPATI LOSÈ, L.; SPREAFICO, A.; CHIABRANDO, F.; GIULIO TONOLO, F. Apple LiDAR sensor for 3D surveying: tests and results in the cultural heritage domain. **Remote Sensing**, 14(17), P. 4157, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/17/4157>. Acesso em: 18 jul 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14174157>.

YANG, T., Li, Y., ZHAO, C., YAO, D., CHEN, G., SUN, L., KRAJNIK, T., and YAN, Z., 2022. 3D ToF LiDAR in mobile robotics: A review. **Cornell University arXiv preprint arXiv:2202.11025**, fev. 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2202.11025>. Acesso em: 18 jul 2025. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.11025>.