De 24/06/2026 a 27/06/2026
São Paulo
https://doi.org/10.67775/aesz5798

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

INSPEÇÃO DE FACHADAS COM VANT: EFICÁCIA NA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UM ESTUDO DE CASO

Leonardo Costa Ramos[1]*; Júlia Cordeiro Vieira[1]; Murillo Henrique Ferreira[1]; Carolina Vieira de Andrade[2].

*Autor de contato: leocostaramos@outlook.com

[1] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, Brasil.
[2] Departamento de Engenharia Civil e Meio Ambiente (DECMCV), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Curvelo, Brasil.

RESUMO

A inspeção de fachadas é essencial à manutenção predial, mas os métodos tradicionais envolvem riscos ocupacionais, custos elevados e limitações operacionais. Este artigo avalia a eficácia da inspeção de fachadas realizada por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), analisando a identificação de manifestações patológicas, cobertura visual, precisão métrica, segurança e limitações tecnológicas, com uso complementar do método manual convencional. Realizou-se um estudo de caso em Belo Horizonte/MG, com planejamento automatizado de voo, processamento fotogramétrico de alta qualidade e análise dos resultados conforme critérios normativos. Os resultados mostraram que o VANT ofereceu ampla cobertura das fachadas, maior segurança e precisão satisfatória (desvios inferiores a 1%), permitindo mensuração remota de fissuras e desplacamentos. Sua eficácia, entretanto, depende de fatores como vegetação densa e instabilidade do sinal GNSS. Conclui-se que o VANT é ferramenta complementar, sendo a abordagem híbrida a mais indicada, contribuindo para aprimoramento técnico e decisório na engenharia diagnóstica.

Palavras-chave: patologia das construções; aerofotogrametria; condições de contorno; abordagem híbrida; inspeção predial.

ABSTRACT

Facade inspection is essential for building maintenance; however, traditional methods still involve occupational risks, high costs, and operational constraints. This study aims to compare the effectiveness of facade inspections conducted using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and conventional manual methods, evaluating pathological identification, visual coverage, metric accuracy, operational safety, and technological limitations. A case study was carried out in Belo Horizonte, Brazil, applying both approaches in parallel, including automated flight planning, high-quality photogrammetric processing, and comparative analysis based on technical standards. Results showed that the UAV provided broader facade coverage, improved operational safety, and satisfactory metric accuracy (deviations below 1%), enabling remote measurement of cracks and delaminated areas. However, its performance was influenced by boundary conditions such as dense vegetation and GNSS signal instability. The findings indicate that UAV technology should be considered a complementary tool, with a hybrid inspection strategy being the most appropriate approach, contributing to improved technical decision-making in building diagnostics.

Keywords: building pathology; aerial photogrammetry; boundary conditions; hybrid approach; building inspection.

1. INTRODUÇÃO

A inspeção e o diagnóstico dos elementos construtivos, especialmente do sistema de vedação vertical externo (fachadas), são atividades centrais da engenharia diagnóstica. As fachadas constituem a primeira linha de defesa da edificação contra agentes de degradação ambiental, estando sujeitas a manifestações patológicas decorrentes de esforços mecânicos, variações térmicas e falhas de manutenção, que podem comprometer seu desempenho e sua vida útil de projeto (ABNT, 2024; Silva *et al.*, 2024).

No Brasil, a avaliação do estado de conservação das edificações segue as diretrizes do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2025) e da NBR 16747 (ABNT, 2020), que classificam as irregularidades em anomalias e falhas, categorizando-as segundo o grau de risco à segurança e à operação. Tradicionalmente, a inspeção de fachadas baseia-se em avaliação visual direta, com uso de andaimes, plataformas elevatórias ou acesso por corda. Embora consolidado, esse método apresenta limitações relacionadas ao tempo de execução, custo, necessidade de mão de obra especializada e exposição ao risco em trabalho em altura (Zhou; Tiong, 2026).

Diante dessas limitações, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm emergido como alternativa tecnológica viável para inspeções prediais. Equipados com sensores de alta resolução e sistemas de posicionamento baseados em *Global Navigation Satellite System* (GNSS), atuam como plataformas aerofotogramétricas capazes de gerar fotografias digitais, ortomosaicos e modelos tridimensionais (Lima *et al.*, 2020; Ruiz *et al.*, 2022), possibilitando a identificação de fissuras, desplacamentos e degradação biológica com maior agilidade e menor exposição ao risco.

A literatura recente tem demonstrado a viabilidade técnica do uso de VANTs em inspeções de fachadas. Tondelo e Barth (2019) evidenciaram a aplicabilidade do método na identificação de anomalias em fachada industrializada, destacando sua agilidade e eficiência, embora condicionada a fatores climáticos. Ballesteros e Lordsleem Junior (2021) e Ruiz *et al.* (2022) verificaram que fotografias digitais originais dos VANTs apresentam desempenho superior na detecção de manifestações patológicas quando comparadas a ortomosaicos e modelos 3D processados. Falorca e Lanzinha (2021) reforçaram a versatilidade e o potencial econômico da tecnologia, salientando a necessidade de padronização de procedimentos. Bordinhão *et al.* (2024) demonstraram a aplicabilidade do método para mapeamento quantitativo de danos por meio de malha de inspeção, enquanto Ferreira *et al.* (2024) destacaram o potencial da integração com termografia infravermelha para identificação de padrões associados à umidade e destacamentos não visíveis a olho nu. Além disso, Meira, Guedes e Bias (2024) apontam que a incorporação de técnicas de *deep learning* representa avanço significativo na automatização do diagnóstico, embora dependente da qualidade das imagens e de protocolos consolidados.

Apesar dos resultados promissores, grande parte dos estudos concentra-se na demonstração da viabilidade técnica, operacional e econômica do uso de drones, sendo ainda limitadas as investigações com comparação direta entre inspeção por VANT e método convencional. Cassimiro *et al.* (2025) apontaram ganhos operacionais de até 40% e redução de custos em relação ao uso de andaimes, enquanto Costa *et al.*, (2023) verificaram que, embora mais ágil e econômico, o VANT, quando restrito à inspeção visual, pode não identificar destacamentos incipientes detectáveis por ensaio de percussão, evidenciando a necessidade de análise crítica quanto à substituição ou complementaridade dos métodos. Ademais, persistem limitações operacionais relacionadas a interferências de sinal, obstáculos físicos e condições climáticas (Tondelo; Barth, 2019), reforçando a necessidade de validação sistemática da tecnologia frente às práticas convencionais.

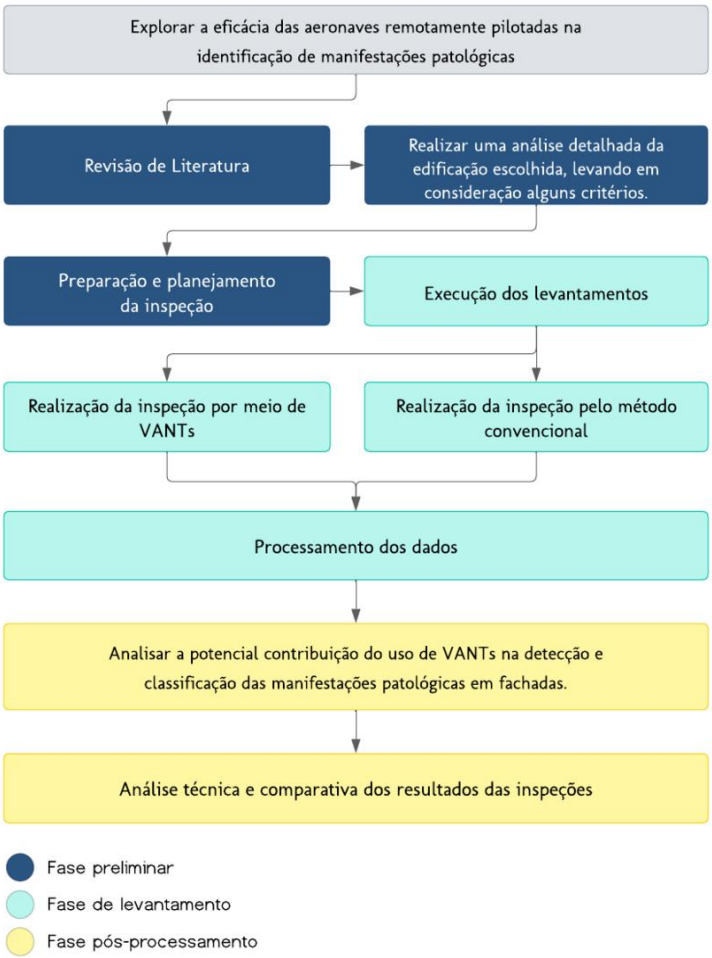
Diante desse cenário, identifica-se como lacuna a ausência de estudos comparativos estruturados que analisem, em uma mesma edificação e sob condições controladas, a eficácia relativa entre a inspeção manual e a inspeção por VANT quanto à capacidade de identificação de manifestações patológicas. Além disso, são escassas as investigações que considerem, de forma integrada, aspectos de segurança operacional, cobertura visual e limitações tecnológicas, como interferências de sinal e presença de obstáculos físicos, capazes de influenciar a aplicabilidade e a confiabilidade dos métodos.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia da inspeção de fachadas realizada por VANT, por meio de um estudo de caso aplicado, examinando a capacidade de identificação das manifestações patológicas, o tempo de execução, os custos operacionais e as condições de segurança, com uso complementar do método convencional para suprir as limitações do método aéreo, contribuindo para o aprimoramento das diretrizes técnicas de inspeção predial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi estruturada em três etapas sequenciais: (i) preparação e planejamento; (ii) levantamento de campo; e (iii) processamento e análise dos dados. A Figura 1 apresenta o fluxograma sintético do percurso metodológico adotado.

Figura 1 – Etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: os autores.

2.1 Área de estudo

O estudo de caso foi conduzido nas quatro fachadas do Prédio 18, localizado no Campus Nova Gameleira do CEFET-MG, em Belo Horizonte. Trata-se de uma edificação institucional de médio porte em concreto armado, com revestimentos em pintura convencional, esquadrias de alumínio e fechamento em vidro refletivo. A seleção fundamentou-se na ocorrência visível de manifestações patológicas e na diversidade de condições de contorno (vegetação, vãos e inclinações de terreno) que impõem desafios reais a ambos os métodos de inspeção. As fachadas analisadas podem ser visualizadas na Figura 2, que apresenta as orientações Norte (a), Leste (b), Sul (c) e Oeste (d).

Figura 2 – Fachada Norte (a), Leste (b), Sul (c) e Oeste (d)



Fonte: os autores.

2.2 Procedimentos de levantamento de dados

O levantamento de campo foi executado por meio da aplicação paralela dos métodos convencional e mediado por VANT. A inspeção convencional restringiu-se a áreas de acesso viável no nível do solo e pavimentos acessíveis, utilizando ferramentas manuais (trena, fissurômetro impresso) e registro fotográfico direto com câmera de 48 MP para anotação *in loco* das patologias, totalizando 180 imagens.

O método aéreo empregou um VANT modelo DJI Phantom 4 Pro. O delineamento das rotas foi realizado no *software* Drone Harmony, configurando voos automatizados com malha ortogonal, ajustando-se a distância e a sobreposição conforme a geometria de cada face estrutural. A operação gerou 256 imagens ortogonais de alta resolução. Em fachadas com restrição de espaço ou bloqueio de sinal GNSS, o voo autônomo foi substituído por pilotagem manual complementar.

2.3 Processamento e análise comparativa

As imagens capturadas pelo VANT foram processadas no *software* Agisoft Metashape com qualidade *ultra high* para a geração das nuvens de pontos densas, malhas texturizadas e ortomosaicos tridimensionais das fachadas.

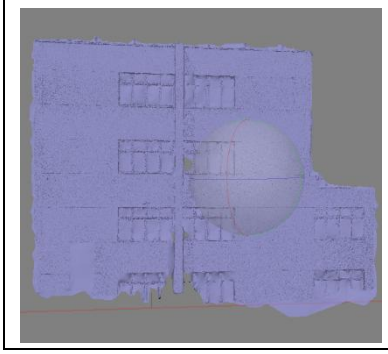
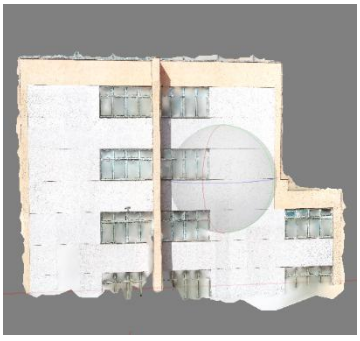
A análise comparativa entre os métodos baseou-se em critérios qualitativos e operacionais alinhados à NBR 16747:2020 e à literatura técnica, avaliando precisão dimensional (comparação entre as medições do ortomosaico e a trena física), segurança operacional, cobertura visual, limitações tecnológicas (sinal, obstáculos) e identificação patológica. A identificação das manifestações patológicas, por sua vez, deu-se pela análise visual integrada dos ortomosaicos gerados e das imagens obtidas pela inspeção convencional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Condições de execução e limitações operacionais

A execução do levantamento com o VANT apresentou variações significativas de desempenho conforme as condições físicas e ambientais da edificação. Tais diferenças interferiram diretamente na qualidade dos modelos fotogramétricos digitais produzidos (Quadro 1), os quais foram fundamentais para a acurácia do diagnóstico das anomalias construtivas.

Quadro 1 – Modelo digital produzido no *software* Agisoft Metashape.

Modelos 3D		Ortomosaico
Malha triangular	Modelo texturizado	
		

Fonte: os autores.

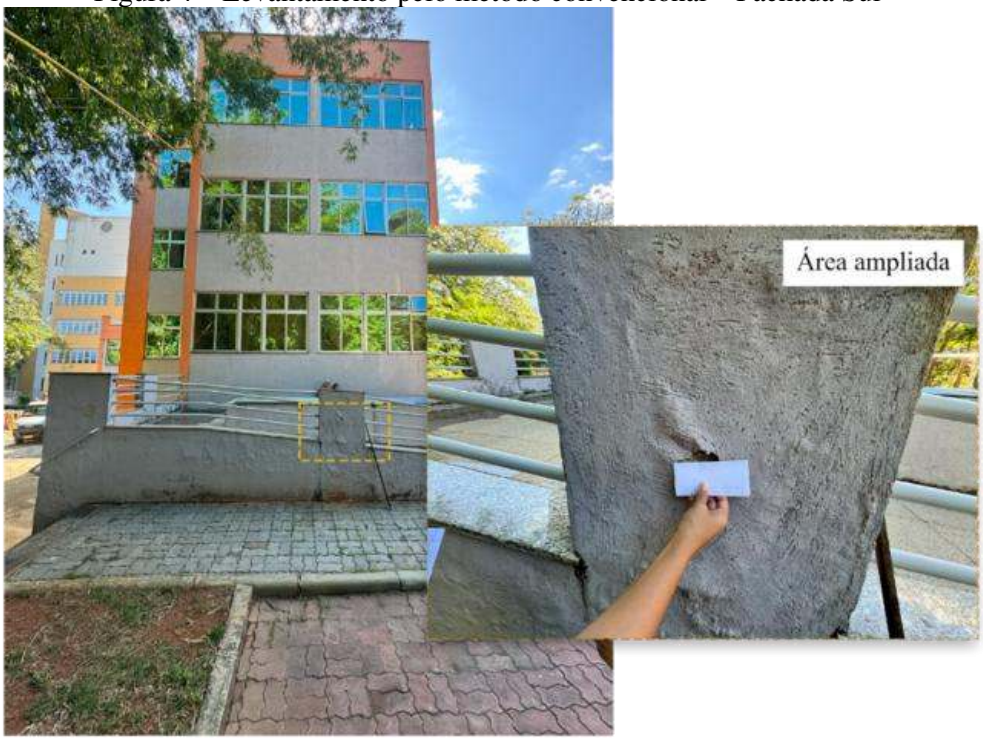
Cenários mais restritivos foram observados nas fachadas Oeste e Sul, onde a ausência de área livre e a presença de vegetação densa (Figura 3) inviabilizaram o voo autônomo. Nesses locais, optou-se pela pilotagem manual, que, embora tenha gerado uma ortofoto satisfatória na face Oeste, resultou em imagens com desfoque e baixa sobreposição na face Sul, impossibilitando a geração do seu ortomosaico. Diante dessas condições críticas, a inspeção visual convencional mostrou-se indispensável para suprir as lacunas do mapeamento aéreo (Figura 6).

Figura 3 – Vegetação existente no entorno da edificação



Fonte: os autores.

Figura 4 – Levantamento pelo método convencional – Fachada Sul

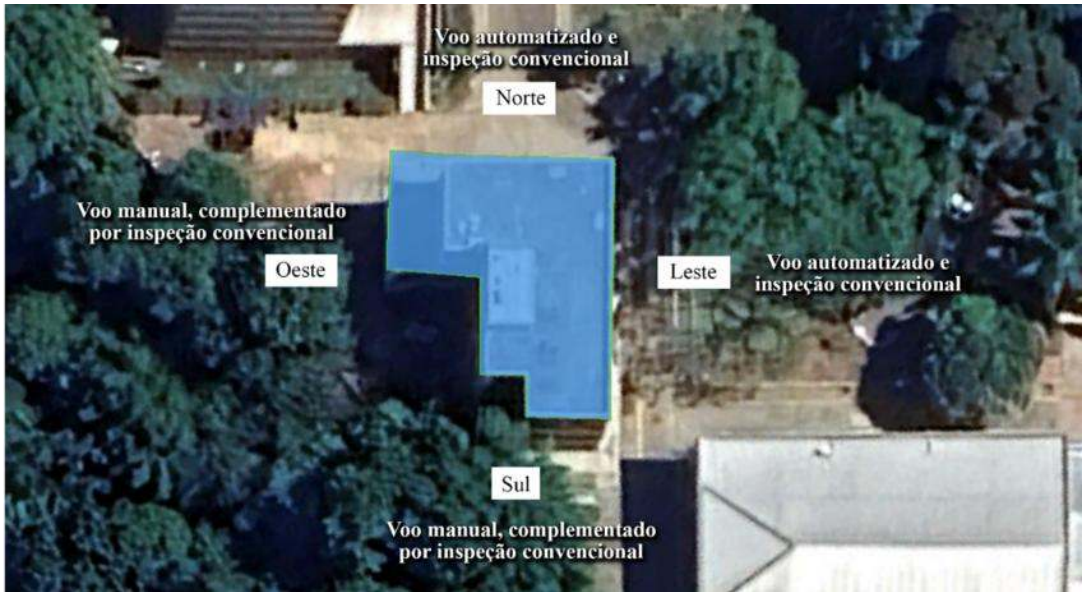


Fonte: os autores.

Além das barreiras físicas, a operação foi impactada por limitações tecnológicas, notadamente a instabilidade do sinal GNSS. Durante o levantamento, a disponibilidade de satélites manteve-se frequentemente abaixo do mínimo recomendado (sete satélites) para equipamentos *DJI*. Conforme

Eisenbeiss (2009), essa deficiência compromete a precisão do voo automatizado, resultando em desvios entre a rota planejada e a executada. Diante desses fatores, fez-se necessária uma distribuição estratégica dos métodos de inspeção, adaptando a abordagem de inspeção a cada fachada (Figura 5).

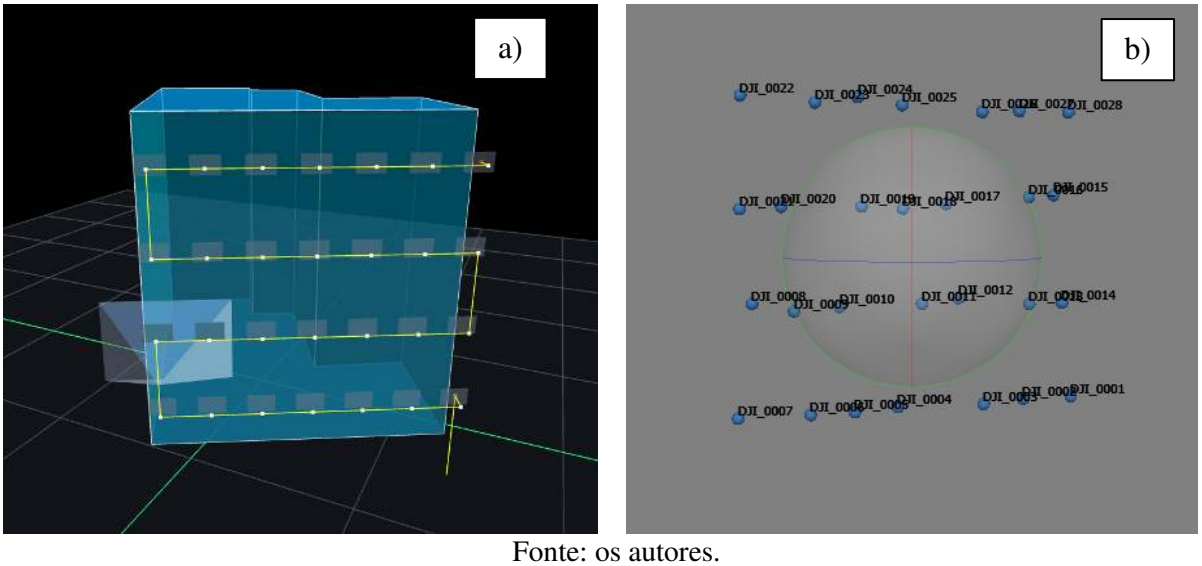
Figura 5 – Distribuição dos métodos de voo e inspeção por fachada



Fonte: os autores.

A análise operacional evidenciou que a Fachada Norte apresentou as condições mais favoráveis à automação. Contudo, devido às oscilações de sinal, foram exigidos ajustes preventivos de altitude para evitar colisões com estruturas adjacentes, o que gerou um desvio mensurável na trajetória do equipamento (Figura 6). Na Fachada Leste, a inclinação do terreno impôs desafios semelhantes, dificultando a manutenção de uma distância constante e gerando imagens excessivamente oblíquas.

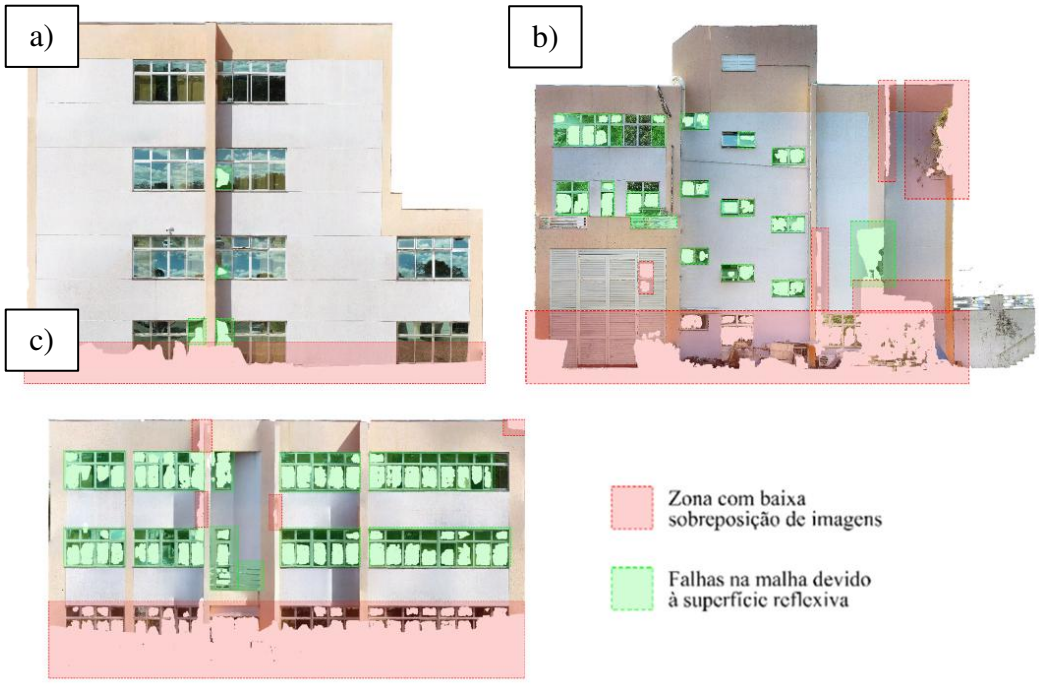
Figura 6 – Voo projetado (a) e voo executado (b) na Fachada Norte



Fonte: os autores.

Por fim, constatou-se que áreas com baixa sobreposição fotográfica, geometrias complexas e superfícies reflexivas nas esquadrias provocavam distorções algorítmicas no *software* Metashape, gerando zonas recorrentes de falha na malha. A Figura 7 ilustra o padrão dessas anomalias de processamento nas fachadas Norte (a), Leste (b) e Oeste (c).

Figura 7 – Zonas de falha na reconstrução das malhas tridimensionais: Fachadas (a) Norte, (b) Oeste e (c) Leste



Fonte: os autores.

3.2 Precisão do VANT para inspeção de fachadas

Na Fachada Norte, um trecho de esquadria mensurado *in loco* em 2,98 m registrou 3,01 m no modelo digital (diferença de 3 cm). Na Fachada Leste, submetida a maior distância focal e incidência de sombras, a medição física de 6,52 m resultou em 6,47 m no *software* Agisoft Metashape.

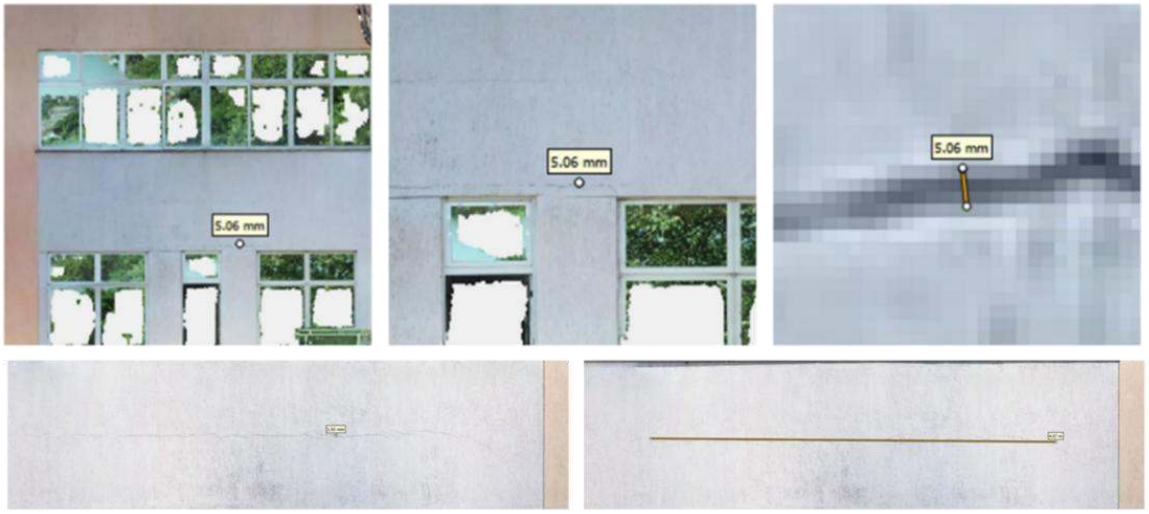
A aplicação da correlação matemática evidenciou imprecisões percentuais de 0,99% e 0,76%, respectivamente. Tais desvios submétricos indicam uma fidelidade geométrica espacial, ratificando a viabilidade técnica dos ortomosaicos para a medição remota de manifestações patológicas (comprimento e espessura de trincas, além de áreas de desplacamento) no escopo da engenharia de diagnósticos.

3.3 Identificação das manifestações patológicas

A identificação das manifestações patológicas foi realizada por meio da análise integrada de ortomosaicos de VANT e imagens de inspeção convencional. A análise das ortofotos de alta resolução viabilizou a detecção e a medição geométrica (comprimento, espessura e área) de anomalias em pequena e média escala. Foi possível, por exemplo, mensurar trincas e rachaduras.

Como exemplo ilustrativo do procedimento adotado, apresenta-se na Figura 8 a mensuração de uma rachadura com abertura de 5,06 mm (±1%).

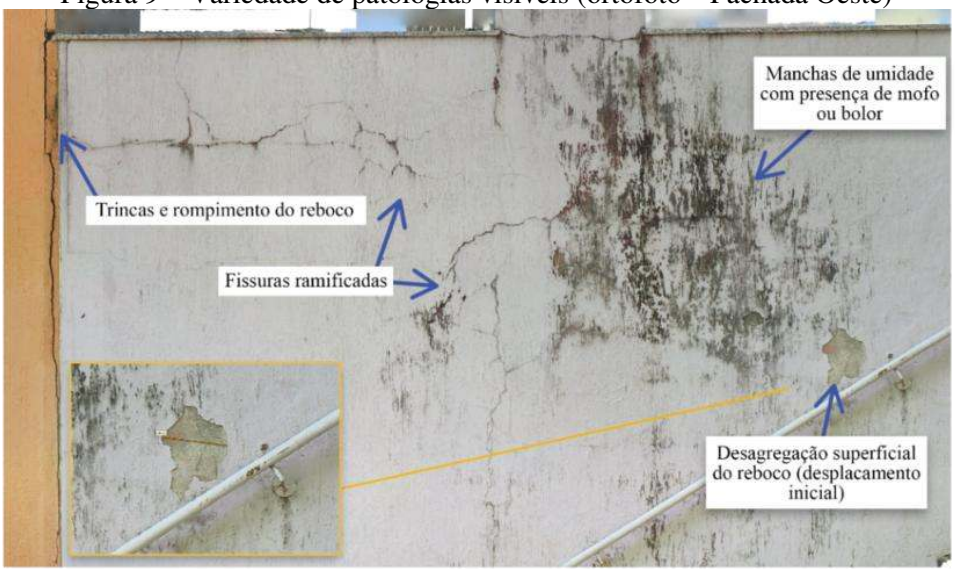
Figura 8 – Mensuração de danos (ortofotos)



Fonte: os autores.

A análise visual das fachadas evidenciou a necessidade de intervenção técnica devido a diversas manifestações recorrentes. Identificou-se a presença de trincas horizontais e fissuras superficiais ramificadas, características de retração plástica e higroscópica ou de movimentação estrutural. Notou-se, também, a degradação do revestimento, iniciada pela desagregação superficial do reboco, indicativo de perda de coesão, culminando em desplacamento de pintura em variados graus de severidade (Figura 9).

Figura 9 – Variedade de patologias visíveis (ortofoto – Fachada Oeste)



Fonte: os autores.

Em termos de desempenho metodológico, as abordagens demonstraram-se complementares. Quando aplicado em superfícies desobstruídas e com sinal GNSS estável, o voo automatizado com VANT viabilizou o mapeamento sistemático e a inspeção de áreas elevadas. Por outro lado, a inspeção convencional mostrou-se indispensável em pontos críticos com geometria complexa ou

restrição espacial, a exemplo do vão inferior da Fachada Leste (Figura 10). Esse trecho específico apresenta um recuo estrutural acentuado, o que impede a aeronave de manter um afastamento seguro, resultando em fortes limitações operacionais de voo e falhas na modelagem fotogramétrica.

Figura 10 – Levantamento por método convencional: vão na Fachada Leste



Fonte: os autores.

A precisão métrica dos ortomosaicos permitiu a extração confiável das dimensões das anomalias. Contudo, a exatidão dos dados deve ser interpretada considerando as limitações operacionais inerentes ao método (variações no afastamento frontal, altitude, interferências GNSS e superfícies refletivas).

3.4 Discussão e comparação metodológica

Os resultados obtidos corroboram a literatura quanto à viabilidade técnica e operacional do uso de VANTs na inspeção de fachadas, especialmente no que se refere à segurança operacional e à ampla cobertura visual, conforme apontado por Tondelo e Barth (2019), Falorca e Lanzinha (2021) e Cassimiro *et al*. (2025). Assim como nesses estudos, verificou-se redução da exposição ao trabalho em altura e maior celeridade na aquisição de dados, além da geração de registro digital permanente com precisão métrica satisfatória (desvios inferiores a 1%), em consonância com Ballesteros e Lordsleem Junior (2021) e Ruiz *et al*. (2022).

No entanto, diferentemente de parte da literatura que enfatiza predominantemente os ganhos de produtividade e segurança, este estudo evidenciou de forma mais crítica a dependência do método às condições de contorno. A presença de vegetação densa, geometrias complexas e instabilidade do sinal GNSS comprometeu a automação do voo e, em casos específicos, inviabilizou a geração de ortomosaicos, reforçando as limitações operacionais já mencionadas por Tondelo e Barth (2019). Esses achados dialogam diretamente com Meira, Guedes e Bias (2024), que destacam que a eficácia das tecnologias baseadas em VANT depende da qualidade das imagens, do planejamento de voo e de protocolos consolidados.

Além disso, ao confirmar a necessidade de abordagem híbrida, os resultados aproximam-se das conclusões de Costa *et al*. (2023), ao demonstrar que o VANT atua como ferramenta complementar, não substitutiva, sobretudo em áreas oclusas ou com restrições técnicas. Dessa forma, o estudo contribui ao oferecer uma comparação estruturada sob condições reais, avançando na validação crítica da tecnologia frente aos métodos convencionais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho comparou, em estudo de caso aplicado, a eficácia da inspeção de fachadas por método convencional e por VANT, evidenciando diferenças quanto à cobertura visual, segurança operacional e confiabilidade diagnóstica. A aerofotogrametria apresentou precisão métrica satisfatória (desvios inferiores a 1%) e possibilitou a mensuração remota de fissuras e áreas de desplacamento. Observou-se maior celeridade na aquisição de dados em campo e geração de modelo digital permanente, útil para auditorias e monitoramento temporal das anomalias. Entretanto, sua aplicação isolada mostrou-se dependente das condições de contorno e da estabilidade do sinal GNSS, mantendo a inspeção convencional como etapa indispensável em áreas oclusas ou com restrições operacionais.

Como limitações, destacam-se a realização do estudo em uma única edificação, a ausência de sensores complementares, como câmeras termográficas ou multiespectrais, capazes de identificar variações térmicas e padrões de umidade não visíveis no espectro RGB, e a não aplicação de métodos automatizados de detecção baseados em aprendizado profundo, como redes neurais convolucionais (CNNs) para identificação automática de fissuras e destacamentos. Recomenda-se, para pesquisas futuras, a ampliação da amostra, a integração desses sensores e a validação comparativa entre diagnóstico visual e algoritmos de reconhecimento de padrões.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), pela infraestrutura e campo de estudo. Agradecem também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001 – pelo apoio financeiro à execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747: Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for inspection of pathological manifestations on ceramic coated facades. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 119–137, jan. 2021.

BORDINHÃO, M.; TAMIOSSO, B.; VENQUIARUTO, S.; TEMP, A.; COSTA, F. Mapping building facades using panoramic images captured by Unmanned Aerial Vehicle (UAV). **Revista**

ALCONPAT, v. 14, n. 3, p. 318–331, 1 set. 2024.

CASSIMIRO, V. E.; ALENCAR, C. V. S. B. de; BARBOSA, G. da S.; FERREIRA, M. P.; FERREIRA, P. A. F. Aplicação de drones na construção civil para acompanhamento físico de obras. **ARACÊ**, v. 7, n. 2, p. 6517–6533, 11 fev. 2025.

COSTA, L. V. B.; TEIXEIRA, B. C.; CRUZ, F. M.; MONTEIRO, E. C. B.; SOARES, W. A.; OLVIEIRA, T. L. N. Inspeção predial com auxílio de drone e com alpinismo industrial para identificação de desplacamento cerâmico em fachadas: um estudo de caso. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, 17., 2023, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. **Anais** [...]. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: CONPAT, 2023. v. 2, p. 1–10.

EISENBEISS, H. **UAV photogrammetry**. Zurich: ETH, 2009.

FALORCA, J. F.; LANZINHA, J. C. G. Facade inspections with drones–theoretical analysis and exploratory tests. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 39, n. 2, p. 235–258, 11 mar. 2021.

FERREIRA, J. A. dos S.; CARRILHO, F. R. L.; ALCANTARA, J. A. O.; GONÇALVES, C.; STOLZ, C. M.; AMARIO, M.; HADDAD, A. N. Assessment of Staining Patterns in Facades Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Infrared Thermography. **Drones**, v. 8, n. 10, p. 542, 1 out. 2024.

IBAPE - INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de Inspeção Predial**. São Paulo: IBAPE, 2025.

LIMA, M. B.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; RUIZ, R. D. B.; FERNANDES, B. J. T.; OLIVEIRA, S. C.; SANTOS, O. J. dos. Inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edifícios de grande altura com VANT. **Mix Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 111–122, maio 2020.

MEIRA, G. de S.; GUEDES, J. V. F.; BIAS, E. de S. UAV-Embedded Sensors and Deep Learning for Pathology Identification in Building Façades: A Review. **Drones**, v. 8, n. 7, p. 341, 22 jul. 2024.

RUIZ, R. D. B.; LORDSLEEM, A. C.; ROCHA, J. H. A.; IRIZARRY, J. Unmanned aerial vehicles (UAV) as a tool for visual inspection of building facades in AEC+FM industry. **Construction Innovation**, v. 22, n. 4, p. 1155–1170, 28 nov. 2022.

SILVA, A. L. da; VASCONCELOS, M. E. S. G.; RODRIGUES, S. R. S.; SANTOS, T. C. P. dos; PÓVOAS, Y. V. Pathological manifestations in ventilated facades: a literature review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILDING PATHOLOGY AND CONSTRUCTIONS REPAIR, 20., 2024, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: CINPAR, 2024. p. 1–11.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019009–e019009, 26 fev. 2019.

ZHOU, X.; TIONG, R. L. K. Defects inspection system for building facades using drones and deep learning method. **Expert Systems with Applications**, v. 298, p. 129715, 1 mar. 2026.