



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE  
TRANSPORTES E GEODÉSIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA**



**JOÃO MARCOS BATISTA PEREIRA**

**INSPEÇÃO PREDIAL COM O USO DE SENSORES RGB EM DRONES  
PARA GERAR MODELOS 3D**

Estudo de caso em edificação anexa à Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia -  
UFBA

**SALVADOR - BA**

**2026**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE  
TRANSPORTES E GEODÉSIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E  
CARTOGRÁFICA**



**JOÃO MARCOS BATISTA PEREIRA**

**INSPEÇÃO PREDIAL COM O USO DE SENSORES RGB ACOPLADOS  
EM RPAs PARA GERAR MODELOS 3D**

Projeto apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro(a) Agrimensor e Cartógrafo.

**Orientador: Prof. Dr. Mauro José Alixandrini Júnior**

**Coorientador: Prof. Elmo Bispo de Oliveira**

**SALVADOR - BA**

**2026**

---

P436 Pereira, João Marcos Batista.

Inspeção predial com o uso de sensores RGB em drones para gerar modelos 3D/ João Marcos Batista Pereira. – Salvador, 2025.

66f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Mauro José Alixandrini Júnior.

Coorientador: Prof. Dr. Elmo Bispo de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Curso de Graduação em Agrimensura e Cartográfica, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2025.

1. Inspeção - prédio. 2. Drone. 3. Edificações. I. Alixandrini Júnior, Mauro José. II. Oliveira, Elmo Bispo de. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDD: 690

---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Bernadete  
Sinay Neves, Escola Politécnica – UFBA.

## TERMO DE APROVAÇÃO

JOÃO MARCOS BATISTA PEREIRA

### INSPEÇÃO PREDIAL COM O USO DE SENSORES RGB ACOPLADOS EM DRONES PARA GERAR MODELOS 3D

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

  
Prof. Mauro José Alixandrini Junior

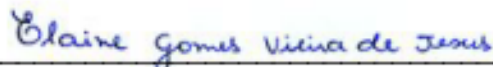
Orientador – Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA



Documento assinado digitalmente  
ELMO BISPO DE OLIVEIRA  
Data: 08/01/2026 21:14:18-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Elmo Bispo de Oliveira

Coorientador - Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA

  
Prof. Elaine Gomes de Jesus

Prof. Elaine Gomes de Jesus

Membro - Departamento de Geografia, UFBA



Documento assinado digitalmente  
ELIAS NASR NAIM ELIAS  
Data: 08/01/2026 15:50:30-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Elias Nasr Naim Elias

Membro – Faculdade de Engenharia, UERJ

Salvador, 19 de Dezembro de 2025.

## SUMÁRIO

<b>1 RESUMO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	12
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	12
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
4.1 INTRODUÇÃO À INSPEÇÃO PREDIAL E A NECESSIDADE DE INOVAÇÃO .....	12
4.2 MODELOS DE RPAS QUANTO A SUA CONSTRUÇÃO .....	13
4.3 CRITÉRIOS PARA OPERAÇÃO .....	14
4.4 CONSIDERAÇÕES NORMATIVAS E DIRETRIZES TÉCNICAS NO BRASIL .....	15
4.5 REGULAMENTAÇÃO PARA INSPEÇÃO PREDIAL COM RPAS .....	17
4.6 QUALIDADE DE DADOS GEOESPACIAIS .....	18
4.7 O PAPEL DAS RPAS NA INSPEÇÃO PREDIAL .....	20
4.8 TECNOLOGIAS DE CAPTURA DA REALIDADE E GERAÇÃO DE MODELOS 3D .....	22
4.9 TEXTURIZAÇÃO .....	26
4.10 AUTOMAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS COM IA .....	27
4.11 OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS E PLANEJAMENTO DE MISSÕES .....	29
4.12 DETECÇÃO DE PATOLOGIAS .....	30
4.13 INTEGRAÇÃO COM TECNOLOGIAS DIGITAIS E SISTEMAS INTELIGENTES .....	37
4.14 SENSORES EMBARCADOS E TECNOLOGIAS HÍBRIDAS .....	37
4.15 INTEGRAÇÃO COM OUTRAS TECNOLOGIAS: RUMO À CONSTRUÇÃO 4.0 .....	38
<b>5 METODOLOGIA .....</b>	<b>38</b>
5.1 DELIMITAÇÃO DO OBJETO .....	38
5.2 MATERIAIS .....	40
5.3 MÉTODO .....	40
5.4 DESAFIOS ENFRENTADOS EM CAMPO .....	47
5.5 UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) NA ELABORAÇÃO DO PROJETO .....	50
<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
6.1 RESULTADO DO PROCESSAMENTO .....	51
6.2 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS .....	55
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>61</b>

## SUMÁRIO DAS IMAGENS

FIGURA 1. COMPARAÇÃO DO DRONE DE ASA FIXA VS MULTIROTORES.....	14
FIGURA 2. TIPOS DE OPERAÇÕES. ....	15
FIGURA 3. CLASSIFICAÇÃO DO RPA DE ACORDO COM O SEU PMD.....	16
FIGURA 4. DEMONSTRAÇÃO DA DISTÂNCIA FOCAL. ....	19
FIGURA 5. INSPEÇÃO PREDIAL EM AMBIENTE EXTERNO.....	20
FIGURA 4. INAUGURADA DA PONTE EM NOVEMBRO DE 2016, COM 612 METROS DE EXTENSÃO. ....	21
FIGURA 6. VISUALIZAÇÃO EM 3D DO CANTEIRO DE OBRAS NA NUVEM DE PONTOS. ....	23
FIGURA 7. MEDIÇÃO DAS JANELAS NA NUVEM DE PONTOS. ....	24
FIGURA 8. FORMAS DE LEVANTAMENTO COM DRONES .....	26
FIGURA 9. GERAÇÃO DA MALHA 3D. ....	27
FIGURA 10. UTILIZAÇÃO DO FISSURÔMETRO E PLAQUETA DE GESSO.....	33
FIGURA 11. UTILIZAÇÃO DO PAQUÍMETRO DIGITAL. ....	33
FIGURA 12. MANCHA DE INFILTRAÇÃO.....	34
FIGURA 13. IDENTIFICAÇÕES DE UMIDADE EM FAIXADA PREDIAL EM SANTOS (SP). ....	36
FIGURA 14. MODELO DE TERMOGRAFIA 3D NO CAD. ....	37
FIGURA 15. FAIXADA FRONTAL DA ESTRUTURA DO PRÉDIO ANEXO .....	39
FIGURA 16. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO PRÉDIO ANEXO. ....	40
FIGURA 17. FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA. ....	41
FIGURA 18. OBSTÁCULOS NATURAIS E ARTIFICIAIS. ....	42
FIGURA 19. TURBULÊNCIA ENTRE PRÉDIOS.....	43
FIGURA 20. TERMO DE COORDENAÇÃO PARA OPERAÇÃO UAS. ....	44
FIGURA 21. PRINCÍPIO DAS SOMBRAS. ....	45
FIGURA 22. PLANO DE VOO VERTICAL NO QGIS COM O PLUGIN <i>GEOFLIGHT PLANNER</i> .....	46
FIGURA 23. PROXIMIDADE DA FACHADA. ....	48
FIGURA 24. PARTE POSTERIOR DO IMÓVEL.....	49
FIGURA 25. IMAGEM DA ESTAÇÃO DE TRABALHO. ....	49
FIGURA 26. MODELO 3D DA FAIXADA FRONTAL DO PRÉDIO ANEXO. ....	51
FIGURA 27. PRECISÃO DO MÓDULO GNSS. ....	53
FIGURA 29. RUÍDO NO PROCESSAMENTO. ....	53
FIGURA 30. CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DA NUVEM DE PONTOS. ....	54
FIGURA 31. LATERAL DIREITA.....	56
FIGURA 32. LATERAL ESQUERDA. ....	57
FIGURA 33. COMPARAÇÃO DAS MEDIDAS.....	59

## SUMÁRIO DAS TABELAS

TABELA 1. COMPARAÇÃO DE VALORES DO MÉTODO CONVENCIONAL VS INSPEÇÃO COM RPA.....	21
TABELA 2. INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	31
TABELA 3. CLASSIFICAÇÃO DE ESPESSURA DE ABERTURA.....	32

## **1 RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade do uso de aeronaves remotamente pilotas (RPAs) equipados com sensores RGB na inspeção predial de fachadas, por meio da geração de produtos aerofotogramétricos, tais como à obtenção de ortofotos, nuvem densa de pontos e modelos tridimensionais. A pesquisa foi desenvolvida a partir de um estudo de caso em edificação anexa à Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA), utilizando voo manual em padrão vertical, com elevada sobreposição das imagens, visando alcançar o maior detalhamento possível no momento do tratamento dos dados. A metodologia adotada permitiu a identificação de manifestações patológicas superficiais, como degradação de revestimento, lacunas na fachada, infiltrações e exposição de armaduras. Os resultados demonstraram que a inspeção com RPAs apresenta elevada agilidade operacional, redução de riscos aos profissionais e eficiência na documentação do estado de conservação das fachadas, embora apresente limitações associadas à precisão absoluta quando não há o uso de técnicas de correção GNSS, como RTK ou PPK. Dessa forma, ficou evidente que a metodologia proposta constitui uma ferramenta técnica viável e complementar aos métodos convencionais de inspeção predial, fornecendo subsídios qualificados para o diagnóstico, planejamento de intervenções e apoio à tomada de decisão em edificações.

## **2 INTRODUÇÃO**

No âmbito da construção, o desempenho das edificações tende a se reduzir ao longo do tempo, em razão do envelhecimento natural dos materiais, da ação contínua de agentes externos, como calor, frio e umidade do ar, bem como das condições de uso a que a edificação é submetida. Esses fatores contribuem para a degradação progressiva dos componentes construtivos, comprometendo a durabilidade e exigindo estratégias eficazes de monitoramento e manutenção (Silva et al., 2016; Liu et al., 2020). Nesse contexto, os dados espaciais produzidos em campo com RPAs, levantamento topográfico clássico, dentre outras tecnologias, desempenham um papel fundamental na engenharia de construção. De acordo com Becker et al. (2023), diversas etapas no ciclo de vida de uma edificação, desde o projeto até a construção e operação, dependem de informações espaciais precisas e confiáveis. Medições pontuais, mapas e modelos tridimensionais gerados antes, durante e após um empreendimento construtivo contribuem para a redução de tempo, custos e impactos ambientais associados à fachada da edificação. Considerando a relevância das fachadas no desempenho global das edificações, a realização periódica de inspeções e a adoção de manutenções preventivas tornam-se fundamentais para assegurar a integridade física do imóvel (Medeiros et al., 2013).



A maior parte das manifestações patológicas em estruturas de concreto são as fissuras, que em casos mais extremos podem significar o aviso de um possível colapso na estrutura. Podem surgir por ausência ou precariedade na sua manutenção ou por vícios gerados desde a execução do projeto que podem se manifestar tardiamente. (Ferreira et al, 2021).

De acordo com Ferreira et al. (2021), essa manifestação está relacionada ao surgimento de tensões solicitantes superiores à capacidade resistente dos materiais, funcionando, portanto, como um mecanismo de alívio dessas tensões. Os autores destacam que as fissuras podem ter diferentes origens, incluindo ações térmicas decorrentes da variação de temperatura em argamassas já endurecidas, frequentemente associadas a dosagens inadequadas dos materiais. Além disso, deformações em elementos de concreto armado podem induzir movimentações estruturais que não são acompanhadas pelas paredes de alvenaria, introduzindo esforços de compressão, cisalhamento e tração, os quais favorecem o aparecimento da fissuração

Uma vez identificadas na construção, é essencial que seu estado, atividade de crescimento e natureza de deformação sejam identificadas e monitoradas (Krakhmal'NY et al., 2016). Segundo Noronha (2018), quando uma patologia é diagnosticada de forma inadequada, as consequências podem ser agravadas, resultando não apenas na persistência ou agravamento do problema original, mas também no aumento dos custos de reparo, desconforto aos usuários e riscos à integridade física do imóvel.

De acordo com Souza e Ripper (2009), as manifestações patológicas podem surgir ainda durante a fase de execução da obra, sendo, em grande parte, consequência da ausência de um controle de qualidade eficiente. Corroborando esse entendimento, o IBAPE-SP (2012) destaca que falhas nos processos de projeto, execução e manutenção tendem a se manifestar de forma progressiva ao longo da vida útil da edificação, reforçando a necessidade de inspeções sistemáticas para identificação precoce das anomalias. De forma complementar, o IBAPE-MG (2019) ressalta que a adoção de práticas estruturadas de inspeção predial, inclusive com o uso de tecnologias como RPAs, contribui para o aprimoramento do controle patológico, permitindo diagnósticos mais precisos e subsidiando a definição de ações corretivas e preventivas adequadas.

Em Salvador, pioneira entre as capitais brasileiras na regulamentação do tema, a importância da inspeção predial foi amplamente reconhecida pela Lei nº 5.907/2001, que estabelece diretrizes para a realização de vistorias técnicas periódicas em edificações. Essa legislação busca prevenir acidentes decorrentes da falta de manutenção e orientar proprietários e gestores na adoção de medidas que assegurem a vida útil e o desempenho das construções. É necessário que as atividades de inspeção predial estejam em conformidade com normas técnicas

estabelecidas por entidades como a Associação Brasileira de Normas Técnicas e o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. A ABNT NBR 16747:2020 define a inspeção predial como uma atividade técnica sistematizada, baseada em diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos voltados à avaliação das condições de uso, operação e manutenção das edificações, abrangendo seus sistemas e subsistemas, incluindo as fachadas. De forma complementar, o IBAPE-SP (2012) destaca que a inspeção predial se fundamenta na observação criteriosa das manifestações patológicas, sendo a inspeção visual das fachadas uma etapa essencial para a identificação de anomalias, degradações e riscos ao desempenho da edificação. No contexto da incorporação de novas tecnologias, o IBAPE-MG (2019) reconhece o uso de RPAs como ferramenta técnica válida para inspeções prediais, ressaltando sua contribuição para o acesso seguro às fachadas, a ampliação do campo de observação e o apoio às atividades periciais e diagnósticas. Quanto à operação, o emprego das RPAs em inspeções deve atender ao Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial RBAC-E nº 94, estabelecido pela ANAC (2017; 2021), que dispõe sobre os requisitos operacionais, as responsabilidades do piloto remoto, os limites de voo e as condições de segurança, garantindo a conformidade legal e a segurança das operações em ambientes urbanos.

Estudos demonstram que a maior parte dos acidentes prediais ocorre em edificações na fase de uso, sendo que 66% dos casos estão relacionados à deficiência na manutenção, perda precoce de desempenho e deterioração acentuada. Apenas 34% dos acidentes têm origem nos chamados vícios construtivos ou anomalias endógenas (IBAPE-SP, 2009). Esse dado reforça a necessidade de inspeções regulares e do cumprimento das exigências legais, como as definidas pela Lei nº 5.907/2001, para assegurar a preservação do patrimônio construído e a segurança dos usuários.

Segundo Martins (2019), o monitoramento de estruturas consiste no acompanhamento, avaliação e controle de condições e fenômenos, sejam eles naturais ou induzidos. Com o objetivo de obter dados qualitativos e quantitativos que contribuam para um entendimento mais aprofundado do comportamento estrutural.

Entretanto, por motivos culturais, o monitoramento e a manutenção ainda é sinônimo de despesa. Habitualmente, proprietários de imóveis, usuários e gestores prediais negligenciam, ou mesmo ignoram, atividades preventivas, corretivas, reformas e outras que, por definição, deveriam alavancar uma melhor performance de desempenho nos sistemas e elementos construtivos (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de São Paulo, IBAPE/SP, 2012).

Diante dessas necessidades, as RPAs se apresentam como alternativa para reduzir os custos ligados a Inspeção Predial. As RPAs são aeronaves não tripuladas, ou seja, pilotada a

partir de uma *Remote Pilot Station* (RPS) com finalidades diversas além de recreação (ANAC, 2021). Todo o sistema é denominado de RPA, abrangendo a aeronave e o RPS correspondente, e outros elementos envolvidos na operação (Kim; Irizarry, 2015; ANAC, 2021). Essa ferramenta vem sendo cada vez mais utilizada como apoio ao setor da construção civil e às atividades de inspeção, uma vez que as RPAs equipadas com sensores RGB, multiespectrais, hiperspectrais, termais e laser scanner embarcado têm proporcionado impactos relevantes não apenas na inspeção predial, mas também em diversos outros setores.

No contexto da segurança pública brasileira, por exemplo, o uso dessas aeronaves com sensores de alta resolução e transmissão de dados em tempo real possibilita a identificação de suspeitos, o mapeamento de rotas de fuga e o acompanhamento de deslocamentos sem expor as equipes a situações de risco, oferecendo uma visão panorâmica e detalhada do terreno que favorece a tomada de decisão em operações táticas (XMobots, 2025).

No setor agropecuário, conforme destaca a Embrapa, essas aeronaves permitem o monitoramento detalhado do desenvolvimento das lavouras, a identificação precoce de falhas de plantio, estresses hídricos e fitossanitários, além de subsidiar a tomada de decisão com base em informações geoespaciais de alta resolução, contribuindo também para a segurança dos operadores ao reduzir a necessidade de deslocamentos em áreas extensas ou de difícil acesso (EMBRAPA, 2023).

Já no setor de energia solar, os drones possibilitam levantamentos rápidos e seguros em grandes áreas, permitindo a identificação de falhas em painéis fotovoltaicos, como acúmulo de sujeira, sombreamento indevido, desalinhamentos e defeitos estruturais, bem como o apoio à inspeção termográfica para detecção de hotspots, reduzindo significativamente o tempo de inspeção em relação aos métodos convencionais, minimizando riscos aos trabalhadores e contribuindo para a otimização do desempenho energético dos sistemas (Droneng, 2023).

Com essas análises setoriais fica nítido a praticidade de uso, pela possibilidade de alcançar áreas de difícil acesso, pela maior riqueza de detalhes nas avaliações e pela redução dos riscos para os inspetores. O processo de inspeção, na maioria das situações, pode ser realizado manualmente ou de forma automatizada, o que possibilita uma maior agilidade no levantamento dos dados adquiridos.

Alguns dos fatores relacionados a confiabilidade e a qualidade dos dados gerados por RPAs estão diretamente relacionadas à qualidade da câmera embarcada, uma vez que sensores com melhor desempenho possibilitam a identificação mais nítida de danos estruturais nas fachadas das edificações e, em alguns casos, também em ambientes internos. Entre os fatores que influenciam na qualidade, destaca-se o tamanho do pixel, termo derivado da expressão em

inglês *picture element*. Segundo Albuquerque (2021), o pixel corresponde à menor unidade de uma imagem digital e concentra os valores associados ao brilho dos objetos, os quais, quando organizados, permitem a formação da imagem. Associado ao tamanho do pixel, tem-se o *Ground Sample Distance* (GSD), que representa a porção do terreno correspondente a um único pixel da imagem. Dessa forma, quanto menor for o valor do GSD, menor será a área do terreno representada por cada pixel e, conseqüentemente, melhor será a qualidade espacial da imagem capturada. Em consonância com esse entendimento, o GSD está diretamente relacionado à precisão cartográfica ou geométrica dos produtos, influenciando a correspondência entre as medições realizadas nos produtos cartográficos e a realidade representada (DSG, 2016).

Nesse contexto, a qualidade geométrica dos produtos gerados a partir de levantamentos com RPAs constitui um requisito fundamental para etapas posteriores de análise e interpretação. Com isso, a confiabilidade das informações espaciais extraídas não apenas sustenta a precisão das medições, como também fornece uma base consistente para a aplicação de métodos computacionais avançados voltados à detecção automática de patologias.

Quando se utilizam algoritmos específicos, como o *You Only Look Once* (YOLO), baseado em *Deep Learning* (DL), e que incorpora técnicas de Inteligência Artificial (IA), é possível obter resultados mais precisos e planejar de forma mais eficiente a intervenção na área de interesse, uma vez que o modelo pode ser treinado para identificar anomalias de forma mais ágil e com boa eficiência, sobretudo em estruturas complexas, reduzindo a probabilidade de falha humana. No entanto, mesmo com esses recursos, a análise humana permanece indispensável, pois tais algoritmos são ferramentas que também apresentam limitações. Além disso, segundo (Cano et al., 2022), a adoção desse critério pode facilitar a automação dos processos de inspeção no futuro. Nesse contexto, é possível implementar um sistema baseado em aprendizado de máquina, do inglês *Machine Learning* (ML), visto que é um ramo da ciência da computação e um subconjunto da IA que, por meio de experiências anteriores e através de treinamento de máquina, é capaz de aprender a reconhecer padrões (Singh et al., 2020).

A utilização da RPA possibilitou a obtenção rápida de informações iniciais relevantes, contribuindo para um planejamento mais eficiente das inspeções. Além disso, o uso da tecnologia aumentou a segurança operacional, uma vez que elimina riscos associados ao controle de tráfego e à realização de trabalhos em altura.

Em síntese, a inspeção predial é uma ferramenta indispensável para a gestão eficiente das edificações, contribuindo para a preservação do patrimônio construído e para a segurança dos usuários. A adoção de práticas regulares de inspeção, aliada ao cumprimento das normas técnicas e ao uso de tecnologias avançadas, configura-se como uma estratégia eficaz para

assegurar o desempenho adequado das construções ao longo de sua vida útil.

O presente trabalho insere-se nesse contexto de aprimoramento das práticas de inspeção predial aplicadas a edificações existentes, com ênfase no uso de RPAs equipados com sensores RGB como ferramenta de apoio ao diagnóstico das condições das fachadas. A pesquisa foi desenvolvida a partir de um estudo de caso em uma edificação localizada no entorno da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA), considerando as particularidades construtivas e operacionais do ambiente urbano. A metodologia adotada compreende a aquisição de imagens aéreas e o processamento fotogramétrico para a geração de ortofotos, nuvem densa de pontos e malha tridimensional, possibilitando a análise desses produtos para a identificação de manifestações patológicas superficiais. A utilização dessa abordagem justifica-se pela busca por métodos mais ágeis, seguros e tecnicamente consistentes para a inspeção de fachadas, contribuindo para a redução de riscos operacionais aos profissionais envolvidos e para o aumento da qualidade das informações obtidas, ao mesmo tempo em que se apresenta como uma estratégia complementar às práticas tradicionais de inspeção predial.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o estado de conservação das fachadas externas de edifício por meio de inspeção remota baseada em produtos aerofotogramétricos.

#### **3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Identificar patologias visíveis na fachada (fissuras, manchas, destacamentos);

- a) Gerar modelo 3D texturizado da fachada;
- b) Realizar medições remotas com alta precisão;
- c) Produzir relatório técnico com registro fotográfico e análise de anomalias;

### **4 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **4.1 INTRODUÇÃO À INSPEÇÃO PREDIAL E A NECESSIDADE DE INOVAÇÃO**

A inspeção predial constitui uma prática essencial para avaliar as condições técnicas, funcionais e de manutenção das edificações. Segundo IBAPE-SP (2012), trata-se de um verdadeiro “check-up predial”, cujo propósito é identificar anomalias construtivas, falhas operacionais e não conformidades funcionais, propondo medidas corretivas e preventivas que assegurem a durabilidade, segurança e funcionalidade das edificações. Conforme o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE-SP, 2012), a ausência de manutenção preventiva é a principal causa de degradação e de acidentes estruturais, sendo que grande parte das ocorrências em edificações decorre da falta de ações sistemáticas de

conservação. Dados apresentados por IBAPE-SP (2012) indicam que 77% das falhas encontradas em edificações comerciais inspecionadas resultam da ausência de manutenção adequada, reforçando a importância de estratégias eficazes de gestão predial.

Apesar de sua relevância, os métodos tradicionais de inspeção ainda apresentam limitações operacionais, como o difícil acesso a fachadas e coberturas, a subjetividade das análises visuais e o elevado custo das vistorias. Nesse cenário, o IBAPE-SP (2012) destaca que a modernização das práticas de inspeção é indispensável para superar essas restrições, especialmente no que se refere à necessidade de ampliar a segurança e a precisão das avaliações.

A adoção de tecnologias digitais pode aprimorar a coleta e o registro das informações, reduzir o tempo de vistoria e minimizar riscos ocupacionais durante a execução do serviço. Nesse contexto, soluções inovadoras, como sensores térmicos, infravermelho, multiespectrais, RTK e LiDAR embarcados em RPAs, fotogrametria digital, e IA, têm revolucionado a inspeção predial, proporcionando análises mais ágeis, seguras e automatizadas. Hasan e Hughes (2020) ressaltam que a integração de dispositivos móveis e sensores inteligentes amplia o alcance das vistorias e reduz a necessidade de intervenção humana direta, tornando o processo de manutenção preventiva mais eficiente e acessível.

Albuquerque (2021) complementa essa visão ao observar que o uso de RPAs representa uma inovação relevante, pois possibilita a captura de imagens de alta resolução em locais de difícil acesso, como fachadas e coberturas, sem a necessidade de andaimes ou técnicas de alpinismo industrial. Assim, a incorporação dessas tecnologias evidencia a importância da inovação como meio de tornar o processo de inspeção predial mais preciso, seguro e eficiente, contribuindo para a redução de custos, riscos e incertezas nas avaliações.

#### 4.2 MODELOS DE RPAS QUANTO A SUA CONSTRUÇÃO

No campo da engenharia aplicada à construção civil, áreas como inspeções prediais, levantamentos topográficos e monitoramento de obras têm adotado o uso de RPAs como uma solução eficiente para realizar serviços com maior agilidade e segurança, contudo, esse tipo de levantamento é restrito para os modelos multirotores. Esses equipamentos podem ser classificados com base em diversos critérios, incluindo o material de fabricação, dimensões, peso, configuração da fuselagem, tempo e altura de voo, entre outros aspectos. Atualmente, o mercado tem concentrado o uso principalmente em dois modelos de drones, amplamente empregados nessas aplicações.

- a) Asa Fixa: Esse modelo apresenta formato semelhante ao de pequenos aviões. Em geral,

seu lançamento é realizado por meio de uma catapulta, enquanto o pouso pode ocorrer de forma linear ou com o auxílio de paraquedas.

- b) Multirotores: Funcionam de maneira similar a mini helicópteros, permitindo decolagem e pouso na vertical. Atualmente, essa é a categoria mais difundida entre os RPAs, sendo amplamente utilizada em diversas aplicações, como mencionado anteriormente.

Apresenta-se a seguir, na Figura 1, um comparativo entre os dois modelos abordados, destacando suas principais características.

Figura 1. Comparação do Drone de Asa Fixa VS Multirotores.

DIFERENÇAS QUANTO A	 ASA FIXA	 MULTIROTOR
Modo de decolagem	Lançamento Horizontal	Decolagem Vertical
Modo de Pouso	Aterrissagem horizontal ou por paraquedas	Pouso Vertical
Áreas de atuação	Mais indicados para áreas extensas e sem obstáculos	Utilizados em pequenas áreas, que exigem melhor mobilidade.
Autonomia de Voo	Fornece maior autonomia	Tempo de voo menor devido ao número de motores
Velocidade	Alcança maiores velocidades	Velocidade menor
Modelo indicado para voos em ambiente urbano	Não	Sim

Fonte: Gonçalves et al. (2017)

#### 4.3 CRITÉRIOS PARA OPERAÇÃO

A operação de RPAs deve seguir critérios de segurança específicos, sendo responsabilidade do piloto em comando garantir pousos e decolagens em locais apropriados, afastados de terceiros e livres de restrições quanto ao uso do espaço.

Além disso, a decolagem só deve ser realizada quando houver plena autonomia de voo, considerando não apenas o trajeto planejado, mas também um pouso seguro no local previsto, levando-se em conta as condições meteorológicas conhecidas. Dentro desse contexto, as operações com RPAs são classificadas em três categorias distintas, conforme os critérios estabelecidos pela autoridade reguladora (ANAC), como ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Tipos de Operações.



Fonte: ANAC (2017)

- a) Operação BVLOS (Além da Linha de Visão): Operação na qual o piloto não consegue manter a RPA dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador.
- b) Operação VLOS (Linha Visual de Visão): Operação na qual o piloto mantém o contato visual direto com a RPA (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos).
- c) Operação EVLOS (Linha de Visão Estendida): Operação na qual o piloto remoto só é capaz de manter contato visual direto com a RPA com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e precisa do auxílio de observadores ou copiloto.

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES NORMATIVAS E DIRETRIZES TÉCNICAS NO BRASIL

O Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E) nº 94, emitido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), sendo a ANAC responsável pela regulamentação das atividades civis e pela exigência de que todas as RPAs sejam devidamente cadastradas no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT). De acordo com o documento, essas aeronaves só podem operar mediante registro prévio junto à ANAC, devendo possuir certidão de matrícula ou certificado de marca experimental.

Apesar dos avanços normativos, ainda não há diretrizes totalmente claras que definam quando e como as empresas podem empregar essa tecnologia, nem procedimentos específicos que garantam a segurança e a eficiência das operações com RPAs. O regulamento também estabelece que o operador remoto é o responsável por assegurar que as atividades sejam realizadas de forma segura e que os sistemas atendam aos requisitos de manutenção, controle e certificação, especialmente no caso de aeronaves mais complexas (ANAC, 2017).

Além da ANAC, outras instituições possuem responsabilidades complementares na regulamentação do uso de RPAs no país:



- a) Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) é encarregada da homologação dos equipamentos de enlace de rádio e da alocação do espectro de frequência, prevenindo possíveis interferências;
- b) O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), vinculado ao Comando da Aeronáutica, é o órgão responsável pela gestão do espaço aéreo e pela emissão das autorizações de voo, garantindo a segurança das operações e a integração das RPAs ao tráfego aéreo convencional;

As operações com RPAs são classificadas por categorias de risco, considerando a massa máxima de decolagem e o tipo de missão executada. O RBAC-E nº 94 define três classes principais, ilustrado na Figura 3, conforme o seu Peso Médio de Decolagem (PMD):

- a) Classe 1: Para aeronaves com peso superior a 150 kg;
- b) Classe 2: Para aeronaves com peso entre 25 kg e 150 kg;
- c) Classe 3: Para aeronaves com peso de até 25 kg;

Figura 3. Classificação do RPA de acordo com o seu PMD.



Fonte: (a) TECNODFESA (2025). (b) FORUM MILITARY PARITET (2025).  
(c) WIRED (2017).

Essa classificação determina o nível de exigência para certificação, registro e licenciamento, sendo que aeronaves mais pesadas e de maior risco estão sujeitas a normas mais rigorosas de segurança e fiscalização (ANAC, 2017).

No que se refere à certificação de pilotos, o RBAC-E nº 94 prevê que o operador remoto deve comprovar capacidade técnica compatível com o tipo de aeronave e operação realizada. Para as aeronaves das classes 1 e 2, é obrigatória a obtenção de habilitação específica emitida pela ANAC, com comprovação de conhecimentos teóricos e práticos sobre operação de RPAs e segurança de voo. Já as aeronaves da classe 3 necessitam apenas do registro no SISANT e do cadastro do operador, sendo dispensada a licença formal, desde que o voo ocorra dentro dos limites operacionais estabelecidos, como altura máxima de 120 metros e distância segura de pessoas e edificações (ANAC, 2017).

#### 4.5 REGULAMENTAÇÃO PARA INSPEÇÃO PREDIAL COM RPAS

No Brasil, a inspeção predial é regulamentada pela ABNT NBR 16747:2020 e pelas diretrizes do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE), que estabelecem critérios para avaliação das condições técnicas, funcionais e de manutenção das edificações. Apesar dos avanços na normatização, ainda existem lacunas relacionadas ao uso de novas tecnologias, como RPAs, especialmente no que diz respeito à precisão das medições, à periodicidade das inspeções e à qualificação dos profissionais envolvidos. A norma define a inspeção predial como uma atividade de caráter multidisciplinar, conduzida de forma sistêmica e predominantemente sensorial, considerando aspectos de uso, operação, manutenção e funcionalidade dos sistemas construtivos.

Durante a vistoria, o inspetor deve realizar uma análise visual criteriosa, observando indícios de anomalias aparentes, como fissuras, infiltrações, manchas, corrosão, deformações e falhas de estanqueidade. Essas ocorrências devem ser registradas e avaliadas quanto às causas prováveis, frequência e gravidade, de forma a determinar seus impactos na edificação. Com base nas observações e nos documentos analisados, o profissional classifica as irregularidades conforme o grau de risco e o comprometimento da segurança, funcionalidade e durabilidade da estrutura, definindo as medidas corretivas prioritárias.

Assim, a NBR 16747:2020 consolida-se como o principal marco normativo da inspeção predial no país, servindo de referência para futuras normas complementares voltadas a sistemas específicos. Ao estabelecer diretrizes e procedimentos claros, a norma reforça o papel preventivo e diagnóstico dessa prática, promovendo maior confiabilidade, segurança e eficiência nas avaliações técnicas (ABNT, 2020).

Estudos como o de Albuquerque (2021) e o relatório do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia - São Paulo (IBAPE-SP, 2012) alertam para a necessidade de adoção de protocolos que incorporem os avanços tecnológicos sem comprometer a segurança

e a rastreabilidade das informações coletadas.

Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia - Bahia (IBAPE-BA, 2025) indica que a Lei Municipal nº 5.907/2001 especifica a manutenção preventiva e periódica de edificações e equipamentos públicos ou privados no município de Salvador, abrangendo edifícios residenciais, industriais, escolas, igrejas, viadutos e sistemas de condicionamento de ar. A lei determina que tais edificações sejam submetidas a vistorias técnicas registradas em relatórios ou laudos assinados por profissionais habilitados no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia (CREA/BA) e na Superintendência de Controle e Ordenamento do Uso do Solo do Município (SUCOM), e que os relatórios sejam mantidos à disposição da fiscalização municipal.

Além disso, o Decreto Municipal nº 13.251/2001, que regulamenta a Lei 5.907/2001, estipula que os laudos devem incluir descrição detalhada do estado das edificações, pontos sujeitos à intervenção, medidas saneadoras propostas e prazos para execução.

O decreto também classifica as infrações em leves, graves ou muito graves, e prevê aplicação de multa entre R\$ 31,92 e R\$ 1.064,10 (atualizado pelo IPCA) para o não cumprimento das obrigações.

Para atender às exigências legais, os responsáveis por edificações e equipamentos em Salvador devem providenciar a inspeção técnica periódica, a manutenção ou reforma identificadas no laudo, além de comunicar à SUCOM qualquer dano que comprometa o uso ou a segurança da edificação. (IBAPE-BA, 2025).

#### 4.6 QUALIDADE DE DADOS GEOESPACIAIS

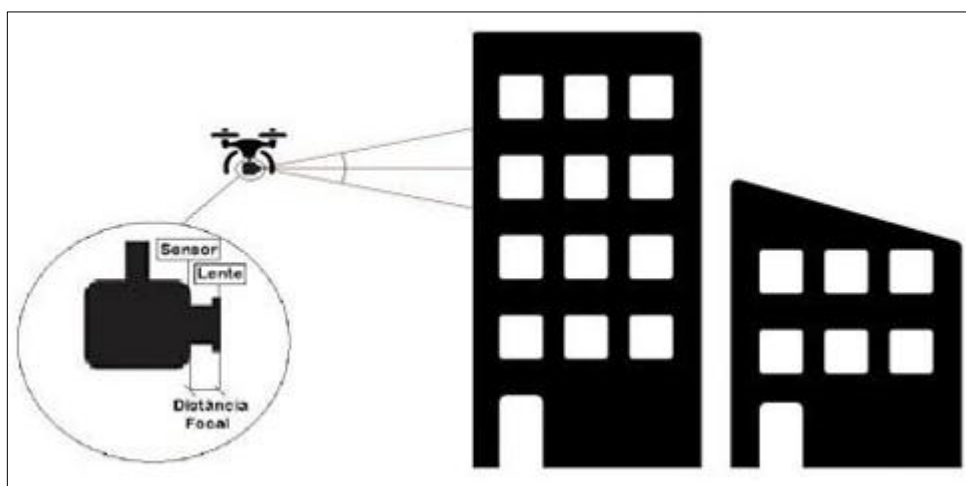
O surgimento de novas tecnologias reduziu consideravelmente os custos relativos à coleta e ao processamento da informação geográfica. Entretanto, para que haja uma adequada integração entre as informações coletadas é necessário que a qualidade do dado geográfico seja levada em conta (DSG, 2016).

Segundo Hórus (2018), a fotogrametria digital aplicada a drones fundamenta-se na coleta de imagens aéreas sobrepostas e no processamento computacional dessas imagens para a geração de produtos cartográficos e modelos tridimensionais com representação geométrica do espaço.

No contexto da inspeção predial, em grande parte dos levantamentos é possível trabalhar com alta resolução espacial e baixo GSD, em razão da proximidade entre a RPA e o imóvel de interesse. Nessa situação, a geometria de aquisição das imagens passa a ser fortemente influenciada pela distância focal, de acordo com Albuquerque (2021), é a distância entre a lente

e o sensor da câmera que está acoplada na RPA, representada em milímetros e segundo He et al. (2024), essa distância atua de forma integrada ao tamanho do sensor, à resolução da câmera e à distância entre a RPA e a fachada (Figura 4), condicionando a escala da imagem e a precisão da reconstrução espacial das superfícies edificadas. Assim, o adequado controle da distância focal, aliado ao planejamento do padrão de voo e à definição das sobreposições frontal e lateral, contribui para a geração de produtos compatíveis com as exigências de levantamentos arquitetônicos e de inspeção predial com elevada fidelidade geométrica.

Figura 4. Demonstração da Distância Focal.



Fonte: IBAPE/MG (2019).

Os estudos de Zhou et al. (2024) e Thayná Albuquerque (2021) demonstram a aplicabilidade dessas aeronaves na documentação e análise de estruturas construtivas (Figura 5), ressaltando os ganhos em resolução espacial, ou seja, o nível de detalhamento da área observada (HÓRUS, 2018), e a possibilidade de integração com métodos automatizados de diagnóstico. A utilização de sensores RGB, com capacidade de gerar produtos fotogramétricos de alta qualidade, fortalece a precisão das inspeções visuais remotas e permite identificar anomalias que, em condições convencionais, exigiriam andaimes ou técnicas invasivas.

Figura 5. Inspeção Predial em Ambiente Externo



Fonte: Albuquerque et al. (2019).

#### 4.7 O PAPEL DAS RPAS NA INSPEÇÃO PREDIAL

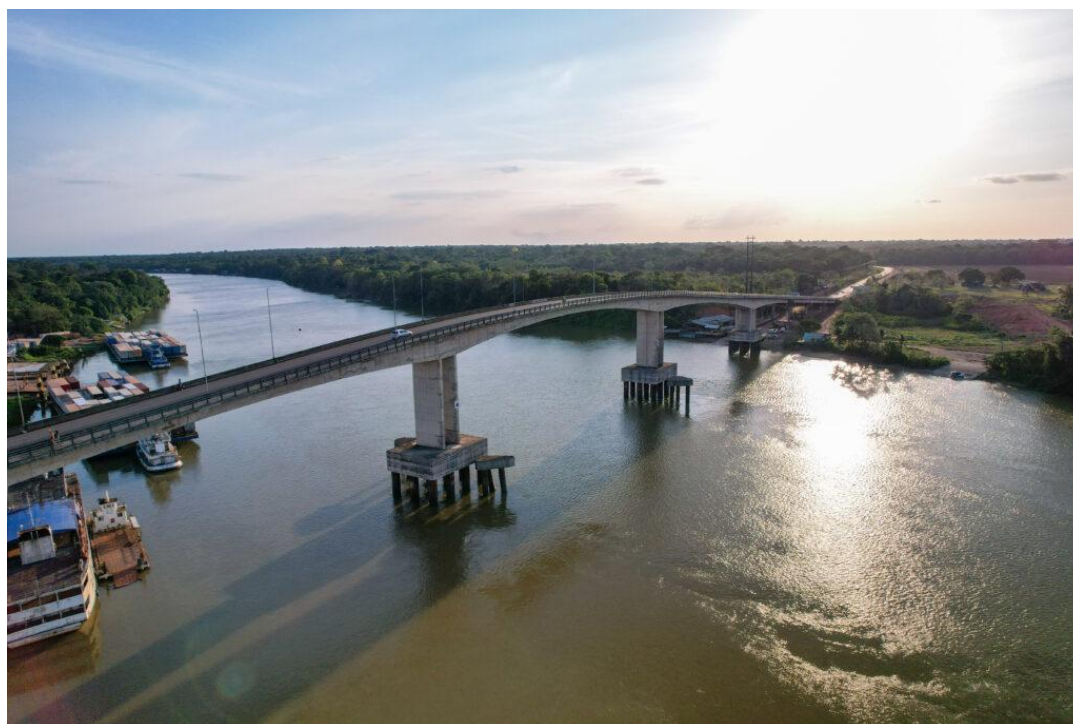
Com a evolução das tecnologias aplicadas à engenharia, observa-se uma crescente incorporação de RPAs. De acordo com Santos et al. (2019), o uso de RPAs demonstrou-se viável por proporcionar uma economia significativa em relação à inspeção visual convencional, como evidenciado na Figura 3, a comparação entre os custos das inspeções cadastrais realizadas com RPAs e aquelas conduzidas por métodos tradicionais. Este estudo de caso foi a despeito da Ponte da Integração Washington Elias dos Santos (Tabela 1 e Figura 6) localizada no município de Santana, região metropolitana de Macapá, no Amapá.

Tabela 1. Comparação de Valores do Método Convencional VS Inspeção com RPA.

FONTE	CÓDIGO	INFRAESTRUTURA/EQUIPAMENTOS	UN	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
<b>Inspeção cadastral convencional</b>						
DNIT	3806410	Plataforma de trabalho suspensa sob tabuleiro de pontes com treliças e tábuas (confeção, instalação e retirada)	m2	120,00	217,60	26.112,00
DNIT	C38025	Plataforma mecanizada vertical de inspeção sob pontes.	h	40,00	331,00	13.240,00
-	-	Controle de tráfego (estimado)	vb	1,00	3.987,50	3.987,50
DNIT	IE9043	Aluguel de Barco de alumínio motorizado com comprimento de 6m (acesso aos blocos de fundação do rio)	h	40,00	48,05	1.922,00
DNIT	9512	Veículo leve 53kW (deslocamento da equipe) e combustível.	h	14,00	65,88	922,32
<b>TOTAL</b>						<b>46.183,82</b>
FONTE	CÓDIGO	INFRAESTRUTURA/EQUIPAMENTOS	UN	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
<b>Inspeção cadastral com VANT</b>						
MaxDrone	-	Aluguel de VANT para filmagens e fotografias com deslocamento de equipamento e do operador	h	6,00	565,28	3.391,68
Agisoft	-	Mídia - Pós Processamento das imagens (c/software versão educacional) para fins de modelo 3D.	vb	1,00	3.400,00	3.400,00
<b>TOTAL</b>						<b>6.791,68</b>

Fonte: Santos et al., 2019.

Figura 6. Inaugurada da ponte em novembro de 2016, com 612 metros de extensão.



Fonte: Governo do Estado do Amapá. Disponível em: <https://www.portal.ap.gov.br/>

A crescente integração RPAs na construção civil tem proporcionado avanços significativos nos processos de inspeção predial. Segundo Gorodetsky e Rakha(2018), afirmam que os sensores ópticos e térmicos embarcadas em RPAs constituem uma solução eficiente, segura e econômica para a análise de fachadas, coberturas e demais componentes das edificações. Os autores explicam que esses sensores permitem auditorias rápidas e precisas, reduzindo custos e eliminando a necessidade de contato direto com as estruturas, o que diminui significativamente os riscos aos operadores. Além disso, a utilização de sensores térmicos possibilita identificar perdas de calor, infiltrações e anomalias nas edificações, enquanto os sensores ópticos capturam dados que viabilizam a geração automática de modelos tridimensionais por meio da aerofotogrametria. Dessa forma, a combinação dessas tecnologias representa um avanço importante em relação aos métodos convencionais, oferecendo maior precisão, agilidade e confiabilidade nas inspeções prediais.

Segundo Rachmawati et al. (2022), a aplicação integrada de RPAs, fotogrametria e IA tem transformado o panorama das inspeções prediais em larga escala, sobretudo em contextos voltados para a análise de eficiência energética. Essas tecnologias emergentes permitem capturar dados com alta precisão e processá-los de forma automatizada, resultando em diagnósticos térmicos mais confiáveis, rápidos e economicamente viáveis, contribuindo diretamente para a redução do consumo energético e a sustentabilidade das edificações.

#### 4.8 TECNOLOGIAS DE CAPTURA DA REALIDADE E GERAÇÃO DE MODELOS 3D

A geração de modelos tridimensionais de fachadas tornou-se uma etapa fundamental para a documentação digital e para o planejamento de intervenções. Estudos como os Becker et al. (2023) exploram como a configuração dos voos, a sobreposição das imagens e os parâmetros de câmera impactam na qualidade da reconstrução 3D.

A fotogrametria digital, aliada a softwares como *Agisoft Metashape* e *CloudCompare*, permite gerar nuvens de pontos, malhas e ortofotos de alta resolução, que servem como base para medições precisas e registro de danos. Esses modelos oferecem não apenas uma representação visual, mas também uma fonte de dados georreferenciados fundamentais para a análise técnica.

As técnicas de *reality capture* (captura da realidade) têm ganhado destaque nas inspeções remotas aplicadas à construção civil, com ênfase na fotogrametria e na reconstrução tridimensional. Becker et al. (2023) analisaram diferentes métodos de captura da realidade, como o Escaneamento a Laser Terrestre (TLS), o Escaneamento Móvel (MLS), o mapeamento



RGB-D e, principalmente, a fotogrametria com RPAs.

O método de Escaneamento a Laser Terrestre (TLS) é caracterizado pelo levantamento estático, no qual o equipamento permanece fixo e realiza medições a laser que resultam em nuvens de pontos de alta densidade e precisão geométrica. Já o Escaneamento Móvel (MLS) adota uma abordagem dinâmica, com sensores instalados em veículos, permitindo a coleta de dados em movimento e o mapeamento de áreas maiores em menor tempo, ainda que com menor densidade de pontos, muito utilizado em Mapeamento Móvel Terrestre (MMT). Além dessas técnicas, o estudo aborda o uso de sensores como o LiDAR (Detecção e Medição por Luz), que mede distâncias por meio de pulsos de laser, e os sensores RGB e RGB-D, empregados na captura visual e volumétrica de superfícies.

O sensor RGB registra apenas informações visuais, enquanto o RGB-D combina dados de cor e profundidade, possibilitando reconstruções tridimensionais mais completas. Dessa forma, Becker et al. (2023) evidenciam que a integração dessas tecnologias torna as inspeções mais seguras, eficientes e precisas, sobretudo em locais de difícil acesso, consolidando a captura da realidade como uma ferramenta essencial na engenharia diagnóstica moderna. A reconstrução tridimensional a partir dessas tecnologias permite gerar modelos digitais precisos e navegáveis, viabilizando a avaliação técnica de elementos construtivos com maior alcance e segurança, como demonstra a Figura 7.

Figura 7. Visualização em 3D do Canteiro de Obras na Nuvem de Pontos.



Fonte: Becker et al., 2023

Becker et al. (2024) destacam que a utilização de drones na documentação *as-built* de edificações permite não apenas a obtenção de imagens aéreas, mas também a geração de modelos tridimensionais detalhados capazes de representar com precisão a geometria das fachadas e demais superfícies. A partir da reconstrução fotogramétrica, é possível extrair informações métricas e espaciais, como dimensões, deformações e desvios estruturais,



fundamentais para o processo de inspeção.

De modo complementar, Gómez e Tascón (2021) demonstram que os modelos reconstruídos a partir de imagens RGB coletadas por RPAs possibilitam identificar anomalias construtivas, avaliar o estado de conservação das fachadas e fornecer dados acurados para diagnósticos e planejamentos de manutenção preventiva.

Além da qualidade visual, esses métodos possibilitam a extração de informações geométricas e espaciais essenciais para o processo de inspeção, como dimensões, volume, topologia e características de textura e cor das superfícies. Dados derivados da nuvem de pontos (Figura 8), por exemplo, permitem calcular deformações estruturais, medir desvios e mapear elementos com alta acurácia. A combinação de imagens RGB com sensores de profundidade, como no caso do RGB-D, ou com varreduras LiDAR, possibilita análises comparativas ao longo do tempo, agregando valor ao monitoramento contínuo das edificações (Becker et al., 2023).

Dessa forma, observa-se que a integração de técnicas de fotogrametria, sensoriamento remoto e modelagem 3D amplia significativamente o potencial de diagnóstico e manutenção das estruturas, promovendo maior eficiência e confiabilidade nas inspeções prediais.

Figura 8. Medição das Janelas na Nuvem de Pontos.



Fonte: Becker et al., 2023

Os autores reforçam que a escolha da tecnologia ideal deve considerar critérios como acurácia, completude, velocidade de aquisição e resistência a interferências ambientais.

A integração de modelos tridimensionais a fluxos de trabalho digitais possibilitou o uso das malhas reconstruídas em diversas etapas da análise predial, abrangendo desde o levantamento geométrico até a avaliação de elementos críticos das fachadas. Essa metodologia viabilizou a criação de representações digitais compatíveis com sistemas *Building Information Modeling* (BIM), permitindo a comparação entre as nuvens de pontos *as-built* e o modelo 4D-BIM projetado. Com isso, foi possível obter uma base de dados detalhada que contribui para o planejamento de reformas e a realização de inspeções remotas de forma mais precisa e eficiente (Hamledari et al., 2017). A visualização dos elementos construtivos em escala real possibilita que nuvens de pontos, malhas tridimensionais e modelos termográficos sejam empregados não apenas para análises qualitativas, mas também para avaliações métricas, diagnósticos técnicos e integração com sistemas BIM. Dessa forma, assegura-se que medidas, proporções e relações espaciais representem com fidelidade a edificação existente. Associada à possibilidade de navegação nos modelos, essa abordagem contribui para diagnósticos mais rápidos, seguros e acessíveis.

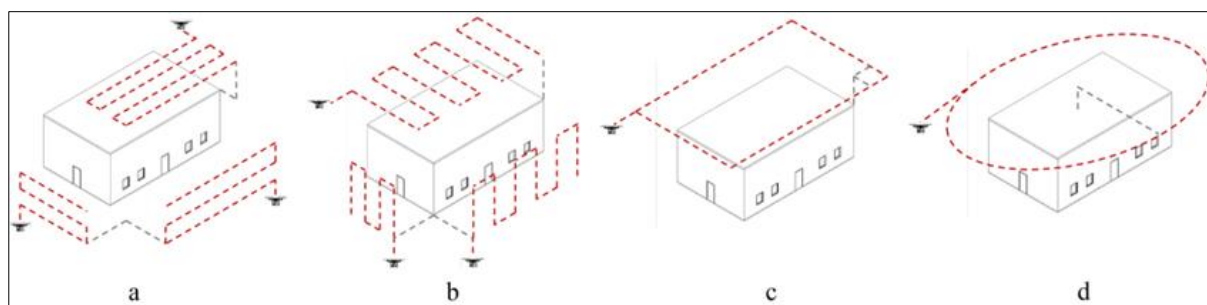
Becker et al. (2024) apresentam uma abordagem metodológica voltada ao uso de RPAs para levantamentos *as-built*, com foco na reconstrução tridimensional de edificações e na documentação precisa de suas características geométricas. O estudo demonstra como os modelos 3D obtidos por meio de fotogrametria aérea podem ser utilizados para aprimorar o monitoramento e a análise do estado das construções, contribuindo para o planejamento e a manutenção de estruturas de forma mais eficiente e segura.

Os autores descrevem quatro padrões típicos de planejamento de voo prévio (*Typical Pre-Flight Path Planning*), como demonstra na Figura 9, projetados para garantir uma cobertura completa das superfícies e otimizar a captura de imagens durante o levantamento fotogramétrico.

- a) O *Strip Pattern Horizontal* (Padrão em Faixas Horizontais) é empregado para registrar imagens em linhas paralelas à superfície, sendo mais adequado para coberturas e áreas planas;
- b) o *Strip Pattern Vertical* (Padrão em Faixas Verticais) segue o mesmo princípio, mas com orientação vertical, indicado para o mapeamento de fachadas e paredes;
- c) *Polygon Pattern* (Padrão Poligonal) é utilizado em edificações com geometrias complexas, permitindo que o drone siga o contorno do objeto e capture diferentes ângulos;
- d) *Circle Pattern* (Padrão Circular) consiste em voos orbitais ao redor da estrutura, assegurando a sobreposição das imagens e a cobertura uniforme de todos os

lados.

Figura 9. Formas de Levantamento com Drones



Fonte: He et al., 2024

Os levantamentos realizados com RPAs, conforme discutido pelos autores, possibilitam a coleta de informações geométricas atualizadas com rapidez e alta precisão, servindo de base para a criação de modelos tridimensionais detalhados que apoiam diagnósticos, simulações e o planejamento de intervenções construtivas mais eficientes e sustentáveis (He et al., 2024).

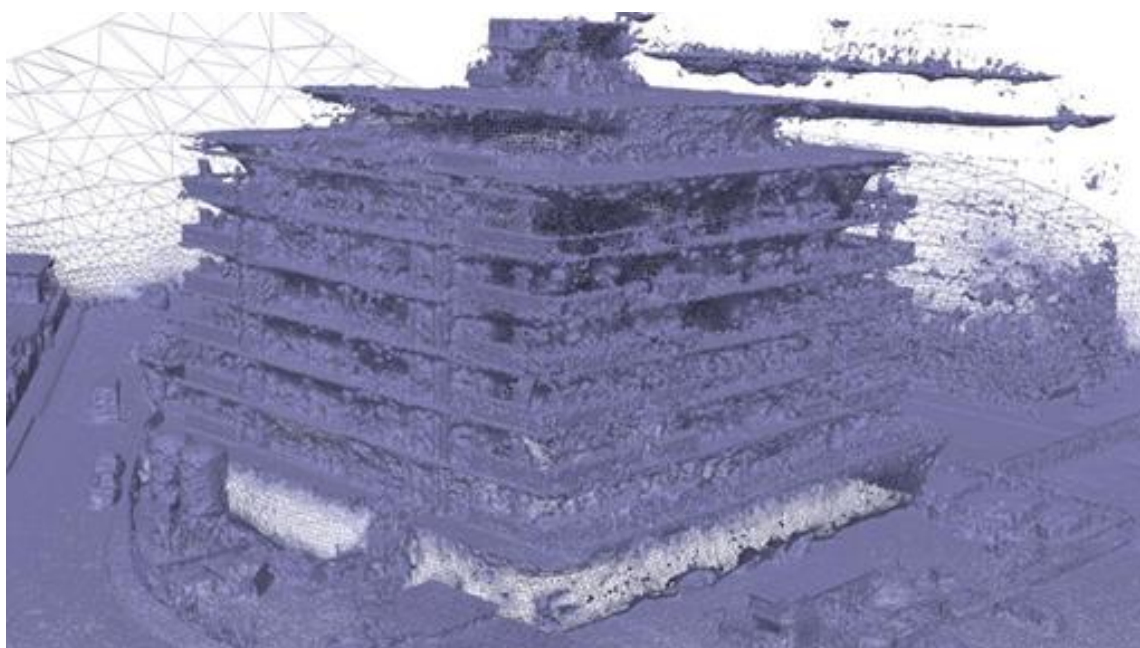
Uma das técnicas abordadas acima pelos autores é a *Strip Pattern Vertical* (Padrão em Faixas Verticais) que é uma das técnicas mais indicadas para realizar a inspeção predial, com o intuito de gerar modelos tridimensionais, devido ao alto nível de sobreposição lateral e frontal das imagens, condição essa que garante uma correspondência elevada na identificação dos pontos homólogos entre uma imagem e outra. Desta forma é possível realizar um alinhamento sem lacunas no processamento e garantir uma consistência do modelo tridimensional gerado.

#### 4.9 TEXTURIZAÇÃO

Dantas (2022) explica que a malha, ou *mesh*, corresponde ao modelo tridimensional obtido após a reconstrução da nuvem densa de pontos, formada por triângulos interligados que representam geometricamente a superfície do objeto, como ilustrado na Figura 10. Essa malha é gerada a partir das fotografias originais, nas quais cada elemento recebe a textura correspondente, permitindo a reprodução fiel das características do objeto real. A qualidade da malha está diretamente relacionada à qualidade da nuvem de pontos, que fornece os dados espaciais necessários para a definição da geometria. O autor destaca que, durante a geração do modelo, podem ser ajustados parâmetros como *surface type*, *source data*, *face count* e *interpolation*, ressaltando que a nuvem densa resulta em modelos mais precisos e detalhados. O número de faces do modelo depende do nível de detalhamento desejado e da capacidade de processamento do equipamento, sendo possível escolher entre os níveis *high*, *medium*, *low* ou *custom*. Na etapa de aplicação da textura (*build texture*), são considerados parâmetros como

*mapping mode*, *blending mode*, *texture size/count* e *enable color correction*, adotando-se o modo *generic* por se tratar de uma edificação com geometrias irregulares.

Figura 10. Geração da Malha 3D.



Fonte: Dantas (2022)

#### 4.10 AUTOMAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS COM IA

A pesquisa desenvolvida por Li et al. (2019) evidencia que a aplicação de IA no setor da construção civil, especialmente por meio do algoritmo *Single Shot Multibox Detector* (SSD), representa um avanço significativo para a detecção automatizada de danos em edificações. Treinado com imagens aéreas capturadas por drones após desastres naturais, o modelo foi capaz de identificar com elevada precisão danos em telhados, fachadas e demais elementos construtivos. Na prática, o SSD executa o processo de detecção em uma única etapa, sem

necessidade de uma fase prévia de proposta de regiões. O algoritmo divide a imagem em uma grade e, em cada célula, estima diretamente a posição e o tipo do objeto com base em múltiplas caixas delimitadoras. O SSD prevê as categorias e ajustes das caixas delimitadoras para um conjunto fixo de caixas pré-definidas, utilizando pequenos filtros convolucionais atuam na extração hierárquica de características das imagens ao serem aplicados diretamente aos mapas de atributos, possibilitando a identificação de padrões locais, como bordas, texturas e formas, e, em níveis mais profundos da rede, de características mais complexas e abstratas. No contexto do algoritmo SSD, essa estratégia permite a detecção simultânea das classes dos objetos e o ajuste das caixas delimitadoras em diferentes escalas, sem a necessidade de etapas intermediárias de proposição de regiões. Ao reduzir a complexidade computacional e eliminar fases adicionais do processo, o método minimiza limitações típicas das análises manuais, como a subjetividade na interpretação visual e a lentidão no tratamento de grandes volumes de dados, configurando-se como uma solução eficiente em cenários nos quais o tempo de resposta e a segurança operacional são fatores determinantes.

No estudo conduzido por Liu et al. (2021), a IA foi empregada para estimar o estado estrutural de edifícios danificados por terremotos, utilizando modelos de nuvem de pontos gerados por fotogrametria com RPAs. O método proposto realiza a segmentação automática de componentes estruturais e estima inclinações e deslocamentos residuais, tanto em nível de sistema quanto de pavimento.

Os resultados apontam que o algoritmo é capaz de identificar deformações com elevada precisão, promovendo avaliações rápidas e seguras mesmo em áreas de difícil acesso ou sob risco de novos abalos. Essa abordagem contribui diretamente para acelerar decisões de evacuação, reparo ou demolição em contextos pós-desastre (LIU et al., 2021).

O artigo de Fu et al. (2019) apresenta um sistema de rastreamento visual baseado em filtros de correlação com aprendizado de múltiplas características em tempo real, desenvolvido para RPAs em missões autônomas. O método proposto, denominado *Online Multi-Feature Learning* (OMFL), combina quatro tipos de pistas visuais como intensidade de pixel, nomes de cores (*color names*), gradientes orientados (fHOG) e saliência.

As informações adquiridas, em tempo real, são processadas em paralelo para aumentar a robustez do rastreamento mesmo em ambientes com baixa textura, iluminação variável ou obstruções parciais.

A fusão dessas informações ocorre por meio de um algoritmo de ponderação baseado na razão entre pico e interferência lateral (*Peak to Sidelobe Ratio – PSR*), que quantifica a confiabilidade de cada mapa de resposta.

#### 4.11 OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS E PLANEJAMENTO DE MISSÕES

A integração de tecnologias autônomas aplicadas à inspeção predial tem avançado com propostas que otimizam desde o planejamento de rotas até a coleta e análise de dados. Zhao et al. (2024) desenvolveram um modelo voltado à geração de trajetórias eficientes para RPAs, garantindo ampla cobertura das superfícies inspecionadas com menor consumo de energia e número reduzido de reorientações. O desempenho do sistema, validado em ambientes simulados e reais, evidencia a efetividade da automação no planejamento de missões aéreas. Os estudos de Clark et al. (2017) abordam a coordenação simultânea de múltiplas RPAs por meio de uma arquitetura distribuída, tornando o sistema modelável para estruturas de grande porte.

A execução cooperativa das tarefas de inspeção, também testada em campo, reforça o potencial da automação para reduzir o tempo total das operações. No entanto, em contextos mais sensíveis, como inspeções prediais, a complexidade geométrica e as limitações de acesso impõem desafios adicionais. Para esse cenário, Gómez e Tascón (2021) propõem um protocolo em cinco etapas que sistematiza a atividade de inspeção:

- 1) Análise das necessidades do usuário: Identificação dos objetivos da inspeção e das características operacionais específicas;
- 2) Caracterização do edifício: Levantamento das dimensões, materiais, patologias potenciais e grau de complexidade da estrutura;
- 3) Planejamento da missão: Definição de parâmetros como sobreposição das imagens, altura de voo, rotas e áreas críticas;
- 4) Execução do voo: Realização da missão de acordo com os critérios técnicos previamente estabelecidos;
- 5) Processamento e análise dos dados: Tratamento das imagens obtidas para geração de ortofotos, modelos tridimensionais e relatórios técnicos;

Essa metodologia conecta fundamentos teóricos, como fotogrametria e avaliação construtiva, com demandas práticas do campo, assegurando precisão, segurança e adaptabilidade às particularidades de cada edificação. Com foco na continuidade das inspeções e na detecção de patologias, Cano et al. (2022) complementam esse panorama ao propor uma estratégia baseada em RPAs com sensores ópticos de alta resolução, voltada ao registro

sistemático de imagens com sobreposição padronizada. Essa abordagem contínua permite identificar alterações progressivas nas superfícies das fachadas, como rachaduras e infiltrações, ao mesmo tempo em que minimiza riscos operacionais e amplia a frequência das inspeções. Em conjunto, esses estudos demonstram como as pesquisas teóricas têm sido aplicadas de forma concreta para aprimorar a precisão, eficiência e confiabilidade das inspeções remotas com RPAs.

#### 4.12 DETECÇÃO DE PATOLOGIAS

O termo patologia tem origem grega *páthos* = a doença e *logos* = estudo, e, portanto, pode ser entendido como estudo da doença, mais usada nas áreas da ciência. Na construção civil, a patologia pode ser atribuída ao estudo dos danos ocorridos em edificações. A patologia se resume às falhas que são visíveis em obras, deficiências ou até mesmo despreparo de profissionais da área de construção civil, bem como na identificação e soluções para os problemas patológicos. Considerando-se que os problemas são encontrados tanto em construções antigas como em estruturas que são projetadas e construídas recentemente (Nazário; Zancan, 2011).

Segundo ABNT (2013) manifestação patológica é definida como: irregularidade que se manifesta no produto em função de falhas no projeto, na fabricação, na instalação, na execução, na montagem, no uso ou na manutenção, bem como problemas que não decorram do envelhecimento natural.

As fissuras e trincas representam as patologias mais recorrentes em estruturas de concreto. A detecção precoce dessas anomalias é vital para mitigar riscos estruturais e evitar prejuízos financeiros. Nesse sentido, Zhou et al. (2024) propuseram uma abordagem automatizada com redes neurais convolucionais para detecção de fissuras, utilizando imagens obtidas por RPAs. Os resultados apontaram alta acurácia nos testes, demonstrando o potencial das técnicas de visão computacional aplicadas à engenharia diagnóstica.

Outros estudos reforçam a importância do monitoramento de patologias ao longo da vida útil da edificação (Ferreira, 2020; Noronha, 2018). A análise visual assistida por tecnologia tem sido incorporada a protocolos de manutenção, promovendo maior precisão e reprodutibilidade nos resultados.

Quando é feita a análise das manifestações patológicas encontradas, é viável realizar sua identificação, origem, bem como suas consequências em relação à segurança, confiabilidade e durabilidade da estrutura (Machado, 2002).

Segundo Lottermann (2013), as manifestações patológicas variam conforme o ambiente

em que a edificação está inserida, assim bem como o estado de conservação, sua forma de uso e durante etapa construtiva. As ocorrências mais comuns incluem fissuras, trincas, eflorescências, entre outras, conforme ilustrado na Tabela 2. Por apresentarem-se de formas distintas, essas anomalias são genericamente denominadas manifestações patológicas.

Tabela 2. Incidência de Manifestações Patológicas.

<b>Manifestações Patológicas</b>	<b>Ocorrência (%)</b>
Deterioração e degradação química da construção	7
Deformações (flechas e rotações) excessivas	10
Segregação dos materiais componentes do concreto	20
Corrosão das armaduras do concreto armado	20
Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado	21
Manchas na superfície do concreto armado	22

Fonte: Adaptado de Machado (2022).

#### 4.12.1 Fissuras

As fissuras são as patologias mais comuns encontradas em estruturas de alvenaria. De acordo com Zanzarini et al. (2016), elas ocorrem em razão da baixa resistência à tração do concreto. Conforme Dal Molin (1988), essa forma inicial representa a manifestação visível de possíveis falhas na estrutura do imóvel; contudo, em alguns casos, pode não estar diretamente relacionada a danos estruturais.

De acordo com Souza e Murta (2012), há duas formas de categorizar os tipos de fissuras, elas são denominadas de ativa e inativa. As ativas ou evolutivas, tendem a apresentar aberturas que desfiguram ao passar do tempo, devido a ações abrasivas diversas gerando uma deformação no concreto. Ao passo de que as fissuras inativas ou estáveis, são aberturas que ao alcançarem sua amplitude máxima, estabilizam. Entretanto, é fundamental avaliar em que medida essa estabilização pode representar um risco ou tornar-se crítica.

De acordo com Thomaz (1989), as causas mais frequentes da formação de fissuras em alvenarias estruturais incluem recalque de fundação, sobrecarga por compressão, carregamentos desbalanceados, variações térmicas e de umidade, retração, movimentações higroscópicas e reações químicas.

É importante destacar que não há unanimidade quanto às nomenclaturas e amplitude das



fissuras. No entanto, como observado na Tabela 3, é comum adotar a classificação proposta por Oliveira (2012) em conjunto com o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de Minas Gerais (IBAPE-MG).

Tabela 3. Classificação de Espessura de Abertura.

<b>Anomalia</b>	<b>Abertura (mm)</b>
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

Fonte: Oliveira (2012)

#### 4.12.2 Monitoramento de Fissuras

Para realizar o monitoramento de estruturas de concreto, são empregados dois métodos de estudo, o destrutivo e o não destrutivo. O método destrutivo é aquele que se faz necessário ter uma biópsia da estrutura, ou seja, retirar uma amostra do material danificado para avaliação laboratorial. Apesar de essa extração deixar marcas no concreto, ela não compromete a estabilidade da estrutura analisada.

Segundo Bungey et al. (2006), os métodos não destrutivos caracterizam-se por não causarem danos à estrutura analisada. Contudo, em determinadas situações, podem ser considerados parcialmente destrutivos, uma vez que podem provocar pequenas danificações superficiais no elemento avaliado.

Os métodos mais usados para realizar a supervisão de fissuras são através de selos, podendo estes serem de gesso ou vidro, o monitoramento ocorre através do fissurômetro e a inspeção visual.

Outros métodos necessitam ferramentas mais elaboradas como o paquímetro, sensores de deslocamento, ultrassom e aparelhos de emissão acústica, a escolha do método irá depender de fatores como custo, acesso e precisão (Palaoro, 2017; Rodrigues, 2017; Rocha et al., 2017).

As placas de gesso são utilizadas por serem uma técnica simples de monitoramento e de fácil instalação. Uma vez que por possuir baixa resistência e ser um material frágil, qualquer movimentação da fissura causará ruptura do selo. Apesar da facilidade da aplicação não permite a automação no processo, sendo necessária o monitoramento presencial contínuo, o que impossibilita o uso em locais de difícil acesso além de não poder ser utilizada ao ar livre devido

à grande reatividade do gesso com a água. (Bento; Pereira, 2021)

O fissurômetro é uma régua de acrílico graduada em milímetros (Figura 11), variando de 0,05 mm a 1,5 mm, com dimensões aproximadas de 12,5 cm por 4 cm e espessura de 1 mm. Para sua utilização, deve ser posicionado diretamente sobre a fissura observada, de forma que a graduação da régua corresponda à largura da patologia, conforme estabelece a NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto (ABNT, 2014).

Figura 11. Utilização do Fissurômetro e Plaqueta de Gesso.



Fonte: Bento; Parreira (2021)

O estudo desenvolvido por Lima (2019) utilizou um paquímetro digital para classificar as aberturas de fissuras em um edifício residencial localizado na cidade de Mossoró (Rio Grande do Norte). O paquímetro digital, Figura 12, é um instrumento de medição dimensional de alta precisão, que requer posicionamento manual sobre a fissura e exibe, em seu display, as leituras correspondentes das aberturas. Com o uso desse equipamento, foram identificados rompimentos na estrutura com larguras variando entre 1,33 mm e 6,24 mm, permitindo concluir que as aberturas se encontravam em estágio avançado, sendo classificadas como trincas, rachaduras e fendas.

Figura 12. Utilização do Paquímetro Digital.



Fonte: Lima (2019)

#### 4.12.3 Infiltração

A infiltração é uma das manifestações patológicas muito presente na construção civil, geralmente em decorrência de uma má impermeabilização das estruturas e/ou problemas de instalação hidráulica. O processo de infiltração ocorre quando o líquido permeia os espaços vazios de um corpo sólido, esse líquido é a água que pode ser da chuva e/ou das instalações (Max, 2021).

Como ilustrado na Figura 13, a penetração de água é favorecida pelas frestas, aberturas de vãos, fissuras, falta de estanqueidade e de uma impermeabilização adequada, danos em instalações hidráulicas e pluviais, entre outros (Deutsch, 2013).

Figura 13. Mancha de Infiltração.



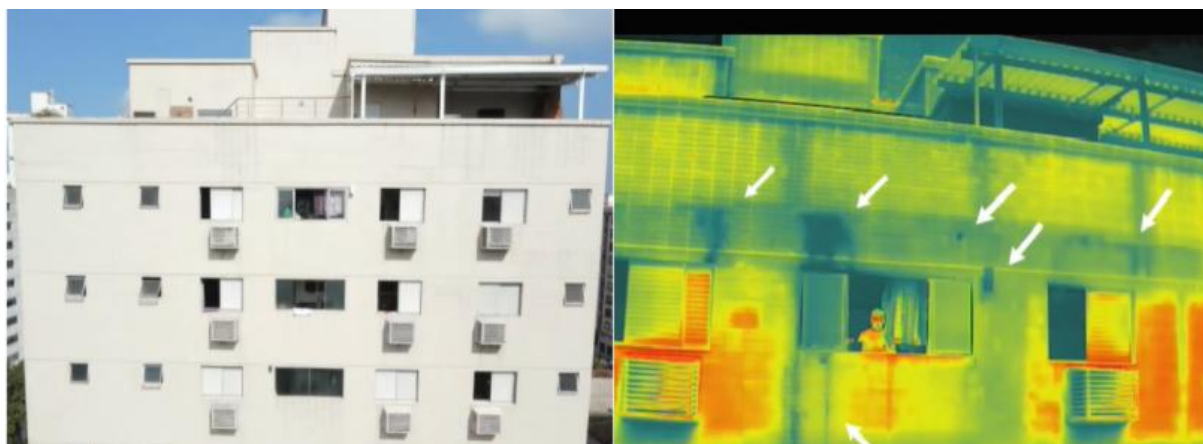
Fonte: Blog Obramax (2021).

Em concordância com Neves (2021) os principais danos causados pela infiltração na estrutura:

- 1) **Corrosão do Concreto Armado:** Quando o cobrimento mínimo da peça estrutural não obedece aos critérios normativos, ou seja, não apresenta a espessura indicada por norma, a infiltração neste elemento estrutural causa a deterioração do concreto, a perda da camada de passividade da armadura (ligação entre o concreto e armação), exposição do aço ao ambiente e a aceleração do processo corrosivo, danificando a estrutura e causando perda de resistência da peça estrutural.
- 2) **Carbonatação:** Reação química resultante da interação entre componentes como o CO<sub>2</sub> (gás carbônico) presente no ambiente, com a composição da hidratação do cimento, formando um composto chamado ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), reduzindo o pH do concreto, fragilizando o concreto e expondo a armadura.
- 3) **Eflorescências Oriundas da Lixiviação do Concreto:** A formação de sais sobre a superfície do concreto, devido a infiltração nos poros do concreto. Os sais reagem com a água e provocam as eflorescências – caracterizada pelo depósito branco sobre o concreto. A consequência é a fragilização do concreto, a deterioração do revestimento e abrir caminhos para a corrosão da armadura.

Conforme Ramos (2022), uma alternativa para a inspeção de edificações e coberturas é o uso de sensores termais. Essa técnica baseia-se na leitura da radiação infravermelha emitida pelos objetos, convertendo-a em uma imagem térmica, observado na Figura 14. Com o emprego de RPAs, torna-se possível realizar inspeções não destrutivas, identificar variações de temperatura indicativas de umidade, descolamento ou deslocamento de revestimentos e atuar de forma ágil em locais de difícil acesso.

Figura 14. Identificações de Umidade em Faixada Predial em Santos (SP).



Fonte: Vlog GLDS (2021).

Outra forma de operar com o uso de câmera termal é através dos estudos conduzido por Rakha et al. (2021) evidencia que a integração de câmeras termais embarcadas em RPAs aos modelos 3D e 4D potencializa de maneira expressiva a precisão das análises de desempenho térmico em edificações. A pesquisa, realizada no campus do *Georgia Institute of Technology*, foi conduzida no dia 22 de dezembro de 2020, com voos realizados em intervalos de duas horas, das 9h às 17h, permitindo registrar as variações térmicas ao longo de um ciclo diurno completo.

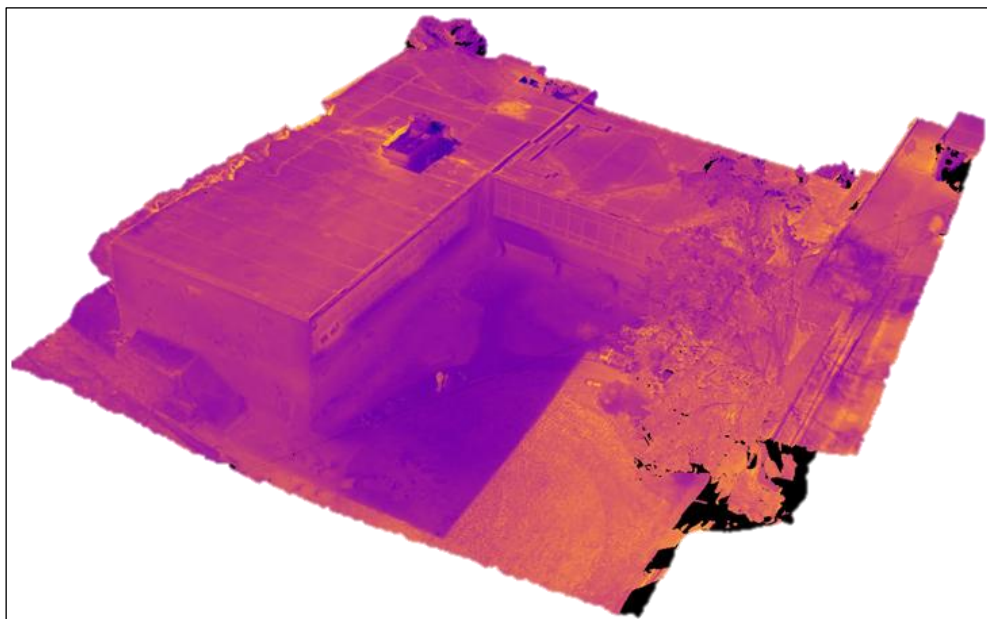
O uso combinado de fotogrametria e termografia temporal possibilitou a produção de modelos tridimensionais capazes de registrar as mudanças térmicas no tempo (Figura 15), resultando em uma modelagem 4D que representa tanto a dimensão espacial quanto a evolução temporal das anomalias térmicas. Essa metodologia permitiu a identificação mais eficiente de pontos de perda de calor, infiltração e deterioração no envelope da cobertura, superando as limitações das medições pontuais convencionais.

Os autores destacam, ainda, que essa abordagem proporciona um diagnóstico mais abrangente e preciso do comportamento térmico das edificações, subsidiando ações de *retrofit*<sup>1</sup> e manutenção preventiva.

---

<sup>1</sup> As ações de *retrofit* incluem a modernização de edifícios antigos preservando a arquitetura original, com etapas como reforço estrutural, substituição de redes elétrica e hidráulica, e instalação de novos sistemas de segurança e climatização. O objetivo é atualizar a infraestrutura para atender às normas contemporâneas, melhorar o conforto e a eficiência energética, além de valorizar o imóvel.

Figura 15. Modelo de termografia 3D no CAD.



Fonte: Rakha et al. (2021)

#### 4.13 INTEGRAÇÃO COM TECNOLOGIAS DIGITAIS E SISTEMAS INTELIGENTES

A integração entre RPAs e tecnologias digitais, como o BIM, a realidade aumentada e os gêmeos digitais, tem ampliado de forma significativa as possibilidades da inspeção predial remota. Os gêmeos digitais consistem em representações tridimensionais das edificações físicas, construídas a partir de dados reais obtidos por técnicas como a fotogrametria com UAV e a geração de nuvens de pontos, permitindo a estimativa do estado estrutural, o acompanhamento do comportamento geométrico e a análise de deformações ao longo do tempo. Esses modelos servem como base para avaliações técnicas, inspeções remotas e apoio à tomada de decisão em contextos de danos estruturais e monitoramento pós-evento. Nesse sentido, Rachmawati e Kim (2022) destacam que a convergência entre RPAs e tecnologias digitais possibilita o acompanhamento quase em tempo real das condições das estruturas, favorecendo decisões fundamentadas em dados.

O uso de sistemas inteligentes e visualização imersiva contribui para a compreensão espacial do problema, especialmente em casos de projetos de manutenção ou *retrofit*, onde a precisão e o histórico da edificação são essenciais.

#### 4.14 SENSORES EMBARCADOS E TECNOLOGIAS HÍBRIDAS

A diversificação dos sensores acoplados em RPAs tem ampliado a gama de aplicações nas inspeções prediais. Além dos sensores RGB tradicionais, dispositivos multiespectrais,

térmicos e LiDAR têm sido empregados para detectar umidades, infiltrações e outros defeitos invisíveis à luz visível.

Avelino et al. (2021) discutem a complementaridade entre sensores e a necessidade de calibração e padronização dos dados para garantir a qualidade dos resultados. A escolha do tipo de sensor está diretamente relacionada ao tipo de anomalia que se deseja investigar.

#### 4.15 INTEGRAÇÃO COM OUTRAS TECNOLOGIAS: RUMO À CONSTRUÇÃO 4.0

De acordo com Rachmawati e Kim (2022), a Construção 4.0 representa a digitalização da indústria da construção civil, fundamentada nos princípios da Indústria 4.0. Esse conceito, envolve a integração de tecnologias digitais, como BIM, GIS, realidade estendida e RPAs, com o objetivo de promover automação, conectividade e eficiência em todas as etapas do ciclo de vida das edificações. Essa abordagem busca aprimorar a precisão dos processos e a gestão das informações, favorecendo decisões mais sustentáveis e assertivas. Dessa forma, o uso combinado dessas tecnologias permite a automação e a digitalização de processos construtivos, ampliando a eficiência na coleta, processamento e análise de dados. A aquisição de imagens aéreas pelas RPAs e a consequente geração de nuvens de pontos possibilitam a criação de modelos tridimensionais integrados ao BIM e ao GIS, o que aprimora o monitoramento e a inspeção de edificações, facilitando a identificação de anomalias estruturais e o acompanhamento de obras com base em informações precisas e atualizadas.

## **5 METODOLOGIA**

### 5.1 DELIMITAÇÃO DO OBJETO

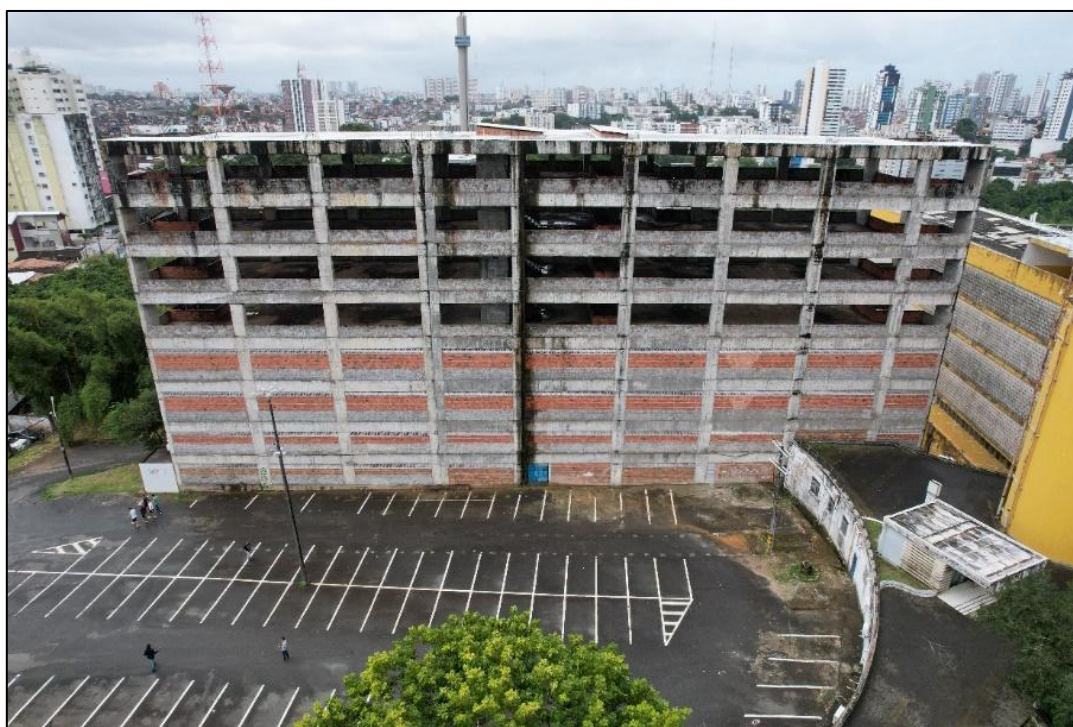
O prédio central da Escola Politécnica da UFBA, localizado no bairro da Federação, Salvador-Ba, foi terminado em 1º de agosto de 1960, já o prédio anexo teve sua construção iniciada em 2011 e encontrasse com a estrutura dos 8 pavimentos do projeto original completos desde 2013. Foi concebido como uma expansão vital para a universidade, sendo planejado para oferecer um espaço adicional significativo, abrigando ambientes como salas de aula e laboratórios. Contudo, a construção desse projeto encontra-se interrompida desde 2013, resultando em uma construção inacabada e com sua estrutura exposta à ação de intempéries. A estrutura do prédio anexo (Figura 16) aguarda recursos para sua conclusão. O projeto original contava com 12 pavimentos, mas atualmente a congregação da Escola Politécnica aprovou a proposta de sua finalização com apenas 8 pavimentos. Nesse contexto o acesso as áreas internas são limitadas e a prioridade do levantamento fica restrita à sua fachada externa.

O imóvel escolhido possui um bom espaçamento em seu entorno, o que permite a



proximidade entre o piloto e a aeronave durante a execução dos voos em ambiente externo (outdoor), ao redor da edificação. Essa condição favorece a operação dentro da linha de visada visual (VLOS), aumentando a segurança, uma vez que o RPA dispõe de sensores de proximidade e o operador consegue acompanhar o voo tanto visualmente quanto em tempo real por meio da tela do controle, contribuindo para a mitigação de riscos operacionais. A presença de edificações vizinhas, veículos estacionados, a depender do dia da operação, e outros obstáculos físicos pode, entretanto, limitar parcialmente a execução dos voos e comprometer a cobertura integral das fachadas externas durante o levantamento aéreo. Além disso, estruturas verticais e vãos existentes no entorno do edifício demandam ajustes no planejamento do plano de voo, de modo a evitar colisões e assegurar a segurança operacional ao longo da missão.

Figura 16. Faixada Frontal da Estrutura do Prédio Anexo

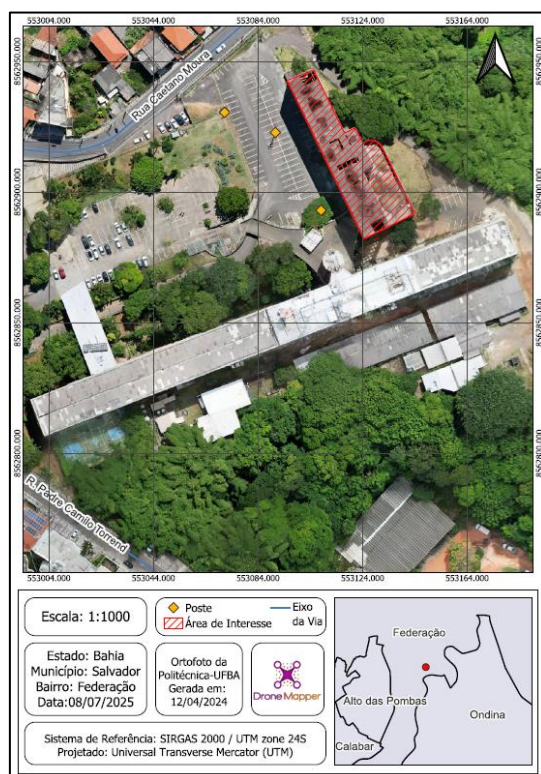


Fonte: Autores (2025)

O prédio em questão está localizado nas intermediações da Escola Politécnica, ao lado do prédio central, Figura 17, um dos bairros mais antigos e populosos da capital baiana.



Figura 17. Mapa de Localização do Prédio Anexo.



Fonte: Autores (2025)

## 5.2 MATERIAIS

Os equipamentos utilizados neste trabalho estão listados a seguir:

- Drone Mavic 3 Enterprise Multispectral (M3M);
- Trena de 30 m.

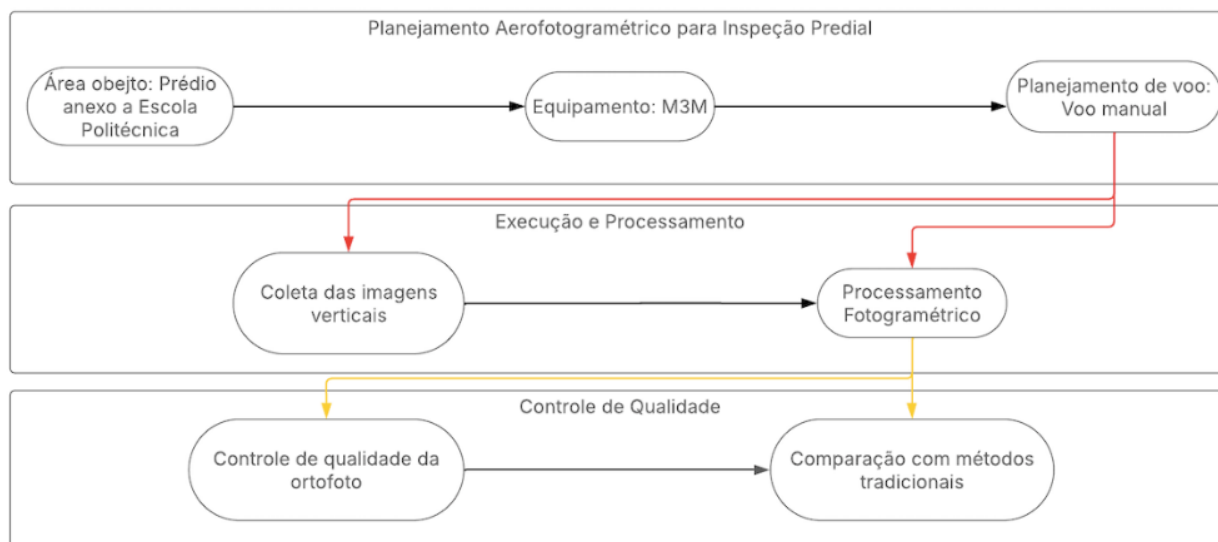
Na etapa de planejamento e processamento dos dados levantados pelos equipamentos descritos, foram utilizados os seguintes aplicativos e softwares:

- Software Google Earth – visualização da área objeto;
- Aplicativo DJI Pilot 2 - execução da missão manual pelo M3M;
- Aplicativo Windy – monitoramento do clima;
- Plugin do QGIS Geoflight Planner – segunda opção para planejamento de voo;
- Software Agisoft Metashape – para geração do modelo 3d, nuvem de pontos, ortofoto, entre outros produtos;
- Software QGIS 3.40 – para planejamento e visualização dos resultados.

## 5.3 MÉTODO

Para auxiliar o entendimento da metodologia utilizada neste trabalho, fez-se necessário a montagem de um fluxograma das atividades desenvolvidas, está apresentado na Figura 18.

Figura 18. Fluxograma da Metodologia.



Fonte: Autores (2025)

O primeiro passo do método proposto consistiu na definição da área de estudo e na realização de uma vistoria in loco, com o objetivo de identificar possíveis entraves ao planejamento da missão com o drone. Essa etapa é fundamental, pois as informações coletadas em campo permitem reconhecer obstáculos e limitações operacionais, contribuindo para a escolha da estratégia mais adequada para o levantamento das fachadas. Quando identificada a necessidade de ajustes, o método de voo pode sofrer uma adaptação técnica, adotando-se, por exemplo, a execução de voo manual em todas ou em uma parcela correspondentes às faces da edificação, na modalidade VLOS, com manutenção de distância segura de aproximadamente 5 metros e garantia de elevada sobreposição entre as imagens. Essa abordagem evidencia o rigor técnico do procedimento e reforça a preocupação com a segurança operacional durante a aquisição dos dados.

Após a vistoria na parte externa do imóvel, foi possível identificar diversos obstáculos naturais e artificiais em seu entorno, Figura 19, fatores que podem influenciar diretamente o formato de execução da missão com o drone. Entre os obstáculos naturais, observou-se a presença de terreno acidentado e árvores de grande porte que, além de dificultarem o voo, podem encobrir áreas da fachada e prejudicar a identificação de anomalias, situação que também poderia representar limitações caso fossem utilizadas técnicas de rapel. As árvores ainda aumentam o risco de colisão da aeronave com galhos, exigindo atenção redobrada na definição da rota de voo.

No que se refere aos elementos artificiais, foram identificadas estruturas que igualmente oferecem riscos à operação, como fios suspensos, rede elétrica de baixa tensão, postes,

luminárias e demais componentes que podem interferir na trajetória e na segurança do drone. Essa etapa de reconhecimento de campo é indispensável, pois, além de contribuir para um planejamento adequado e eficiente, permite identificar antecipadamente os riscos operacionais que podem surgir durante a execução do voo.

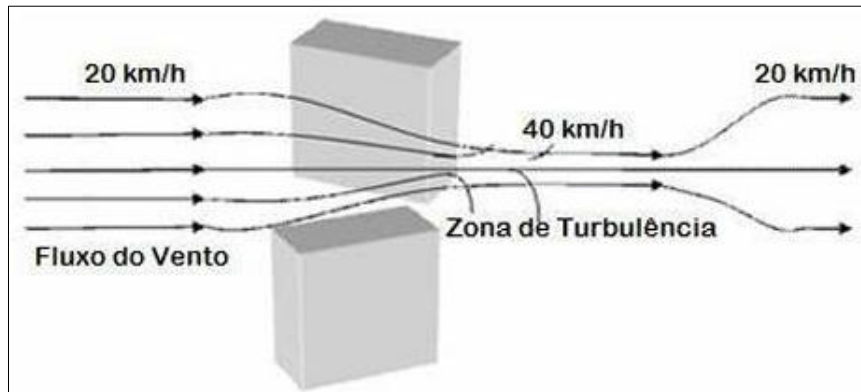
Figura 19. Obstáculos Naturais e Artificiais.



Fonte: Autores (2025)

Além desses aspectos, é necessário atenção especial ao fator eólico, que pode influenciar a condução da aeronave durante a operação, especialmente em áreas próximas ao litoral ou em regiões sujeitas a ventos intensos. De acordo com Albuquerque (2021), quando o vento circula entre edifícios, a massa de ar é comprimida e sua velocidade aumenta significativamente, vide Figura 20. Durante a operação da RPA, esse efeito pode provocar variações bruscas de velocidade na zona de turbulência formada entre as construções, exigindo maior atenção do piloto ao conduzir o equipamento nesse tipo de ambiente.

Figura 20. Turbulência Entre Prédios.



Fonte: IBAPE/MG (2019).

É fundamental que o equipamento seja operado em condições climáticas favoráveis e claramente definidas, evitando voos em dias chuvosos para garantir a segurança de todos e preservar a vida útil da aeronave. Além disso, não é permitido que pessoas não treinadas permaneçam na estação, uma vez que a operação de RPA costuma atrair a atenção de indivíduos próximos.

Após a definição do método de levantamento e do drone a ser utilizado, é realizada a solicitação de voo. Quando o local do voo estiver inserido em espaço aéreo controlado, a área pode apresentar particularidades que interferem no processo de autorização no SARPAS, sendo necessário alinhar previamente as informações com a instituição responsável para viabilizar os trâmites para a emissão da permissão de voo. Nesse caso, a Escola Politécnica encaminha um documento, Figura 21, para que os pilotos envolvidos na operação o preencham e anexem à solicitação de voo.

Figura 21. Termo de Coordenação Para Operação UAS.

TERMO DE COORDENAÇÃO PARA OPERAÇÃO UAS	
NOTA: Todos os campos são de preenchimento OBRIGATORIO.	
<b>INFORMAÇÕES DO OPERADOR UAS</b>	
1. Nome Completo:	
2. Endereço:	
3. Telefone para contato:	4. E-mail:
5. ID Operacional (Código SARPAS):	
<b>INFORMAÇÕES DA CONCESSIONARIA DA ÁREA / DETENTOR DO EAC</b>	
6. Nome Completo:	7. Função:
8. Endereço:	
9. Telefone para Contato:	10. E-mail:
<b>INFORMAÇÕES DO AERÓDROMO / EAC</b>	
11. Código ICAO / Número do EAC / Nome da Área de Segurança:	12. Natureza / Finalidade:
13. Horário de Funcionamento / Ativação:	14. Observações:
<b>CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE OPERAÇÃO</b>	
15. Limites Verticais:	16. Limites Laterais:
17. Coordenadas Geográficas (WGS84):	
<b>CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO</b>	
17. Objetivos da Operação:	18. Período da Operação (Data):
19. Frequência do voo / Duração do voo:	20. Horários da Operação:
21. Tipo de Operação:	22. Observações:
<input type="checkbox"/> VLOS <input type="checkbox"/> EVLOS <input type="checkbox"/> BVLOS	

O piloto remoto em comando deverá entrar em contato previamente com o operador de aeródromo/heliporto para coordenar a operação?

SIM	NÃO	DESCRIÇÃO:

A equipe UAS deverá entrar em contato com o Operador do Aeródromo/Heliporto para informar início e término da operação?

SIM	NÃO	DESCRIÇÃO:

O piloto remoto em comando deverá disponibilizar pessoal dedicado para atendimento dos contatos de forma mais breve possível?

SIM	NÃO	DESCRIÇÃO:

O Administrador do Aeródromo ou Órgão ATS terá prerrogativa de suspender a operação da UA caso constatare algum efeito adverso na segurança operacional?

SIM	NÃO	DESCRIÇÃO:

O piloto remoto em comando precisa informar qualquer meio de contingência/emergência acionado durante a operação para as medidas cabíveis quanto a segurança operacional?

SIM	NÃO	DESCRIÇÃO:

Será acordado os procedimentos de emergência ou contingência?

SIM	NÃO	DESCRIÇÃO:

Este termo de coordenação tem a validade de \_\_\_\_ meses a partir de sua assinatura.

\_\_\_\_\_

Operador UAS

\_\_\_\_\_

Local de Data

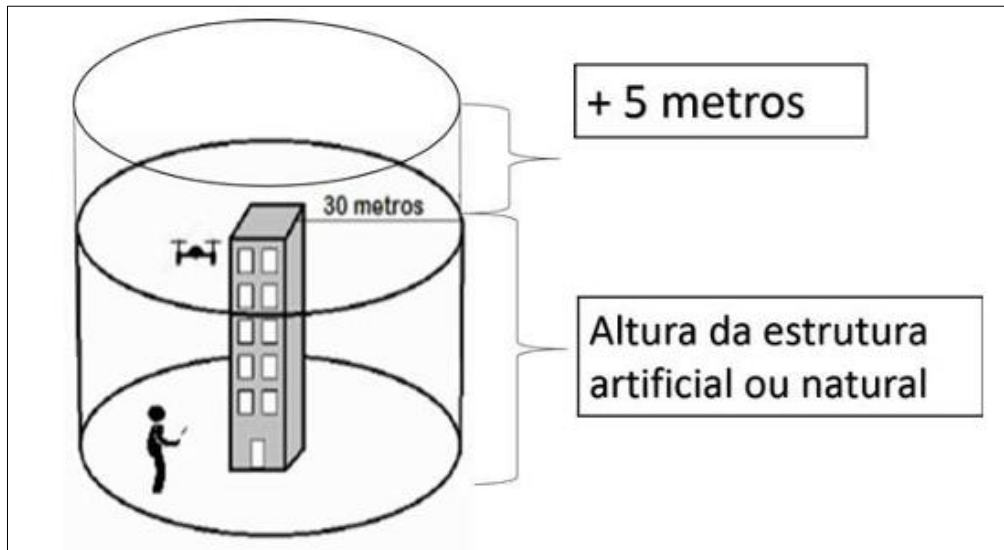
\_\_\_\_\_

Órgão ATS ou Administrador de Aeródromo

Fonte: Escola Politécnica (2025).

Todavia, é possível obter permissão de voo sem a necessidade de preencher documentação quando a aeronave não adentra o espaço aéreo controlado. Conforme Albuquerque (2021), pelo Princípio das Sombras (Figura 22), não se considera espaço aéreo a área ao redor da estrutura de interesse, natural ou artificial, permitindo a realização do voo até 5 metros acima da altura do objeto e com afastamento horizontal de até 30 metros, a partir do centro do objeto, desde que respeitada a distância mínima de 2 metros de aeródromos e helipontos cadastrados. Quando a missão ocorre dentro desses limites, não há necessidade de análise de controle do espaço aéreo, sendo suficiente informar o SARPAS, que libera o acesso imediato ao operador por se tratar de um volume não utilizado por aeronaves tripuladas em condições normais.

Figura 22. Princípio das Sombras.



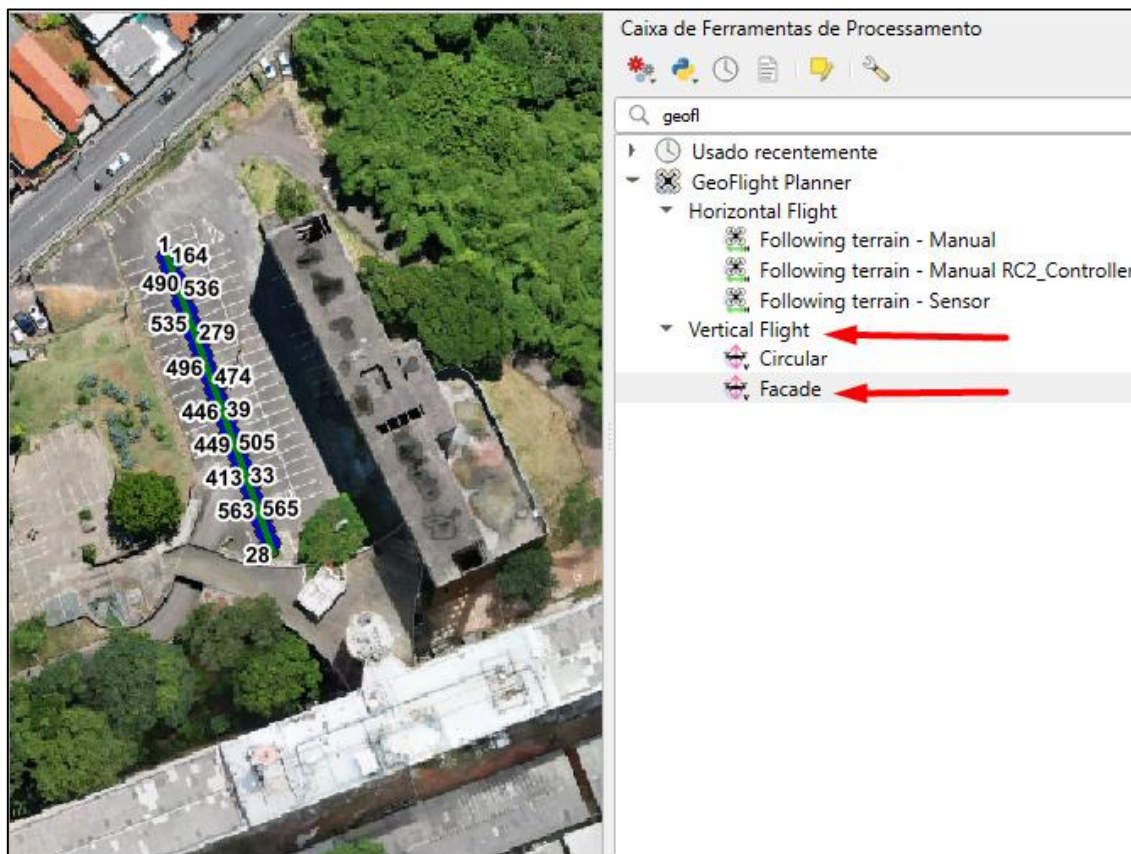
Fonte: DECEA (2015)

Uma das formas de executar o levantamento vertical de forma automatizada com a aeronave Mavic Air 2S, é utilizando o plugin GeoFlight Planner (Figura 23), desenvolvido em 2025 pela empresa brasileira GeoOne e integrado ao software livre QGIS por meio da instalação de complementos. O plano de voo é ajustado no QGIS e posteriormente carregado no programa Litchi for DJI Drones, para assim, realizara a execução do plano de voo automático.

Essa ferramenta do pugin, de uso gratuito, permite o planejamento preciso de missões aéreas tanto em trajetos verticais (fachadas) quanto horizontais (ortoimagem). Sua interface é intuitiva e oferece recursos que facilitam a definição de rotas, altura de voo e sobreposição entre imagens, otimizando a aquisição dos dados e garantindo maior qualidade no produto, como modelos 3D e ortofotos georreferenciadas.



Figura 23. Plano de Voo Vertical no QGIS com o plugin *GeoFlight Planner*.



Fonte: Autores (2025)

Contudo, como foi demonstrado anteriormente, existe estruturas verticais que se utilizam de uma rede elétrica de baixa tensão que está alocada no direcionamento do plano de voo. Apesar da existência da rede elétrica ser de baixa tensão, o que reduz o risco de interferência eletromagnética significativa, foi adotado um recuo operacional de segurança, garantindo a integridade da aeronave e a estabilidade do sinal durante toda a operação. Além disso, também há vegetação densa e de alto porte na parte posterior do imóvel.

Desta forma, para realizar a operação do levantamento da fachada, foi realizado voo manual com pelo menos 5m de distância da área da fachada de interesse. A missão foi executada com o drone Mavic 3 Enterprise Multispectral (M3M), com sobreposição lateral e frontal superior a 80%, com o objetivo de maximizar a cobertura e a qualidade dos dados obtidos. A altura de voo foi limitada à altura do imóvel, cerca de 30 metros. Contudo, devido à variação do nível do terreno na parte posterior, onde o relevo é mais acidentado, a altura relativa em alguns trechos se aproximou de 40 metros. A velocidade do drone não passou de 1m/s.

O drone M3M realizou as tomadas das imagens a cada 1s o que resultou em um quantitativo de mais de 2000 imagens para realizar a cobertura de toda a fachada externa e um dia para a execução da missão.

O planejamento de voo foi organizado em quatro etapas, correspondentes às quatro faces do imóvel. Inicialmente, deu-se prioridade ao levantamento das partes mais extensas, como as fachadas frontal e posterior. Em seguida, realizaram-se os voos nas laterais, que exigiram menor tempo de execução.

#### 5.4 DESAFIOS ENFRENTADOS EM CAMPO

Inicialmente, a inspeção seria realizada de forma automática. Entretanto, durante a vistoria in loco foram identificados obstáculos verticais que impediram o uso da ferramenta Geoflight Planner. Diante dessa situação, tornou-se necessário executar o voo de maneira manual, condição que demanda maior atenção à segurança da área ao redor e da aeronave. Outro aspecto relevante que influencia o voo manual é a sobreposição das imagens e a garantia de cobertura completa da fachada, pois quanto maior a sobreposição, melhor será o detalhamento da nuvem de pontos, permitindo uma análise mais precisa.

Embora seja recomendável manter uma distância mínima de segurança de ao menos 5 metros do imóvel, pode ser necessária uma aproximação maior quando houver obstáculos no percurso, de modo a garantir uma cobertura adequada, situação observada na Figura 24.



Figura 24. Proximidade da Fachada.



Fonte: Autores (2025)

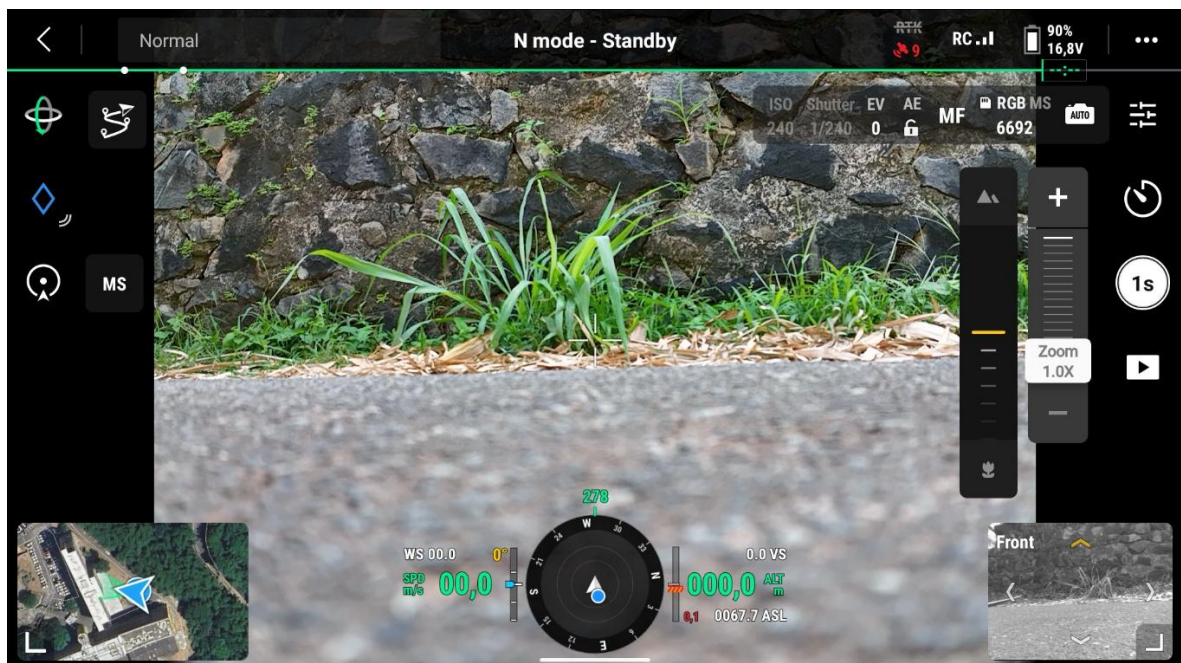
Na parte posterior, houve interferência na captação do sinal de GPS pelo RPA devido à diferença de nível do terreno e à vegetação mais densa, Figura 25. Como a equipe permaneceu na área mais baixa, essa condição contribuiu para a redução do sinal disponível, como observado na captura da imagem da estação de trabalho da aeronave, Figura 26. Quando o GPS não está operando com boa captação, podem ocorrer intercorrências entre o RPA e a recepção do sinal de rádio controle, tornando os comandos mais lentos ou menos responsivos. Além disso, o drone pode apresentar comportamentos anômalos quando opera com baixa captação de GPS ou sob interferência eletromagnética. Dessa forma, a atividade foi prolongada enquanto se aguardava uma melhor captação de satélites pelo RPA.

Figura 25. Parte Posterior do Imóvel.



Fonte: Autores (2025)

Figura 26. Imagem da Estação de Trabalho.



Fonte: Autores (2025)

Outro fator que também foi decisivo no dia do levantamento, foi o acompanhamento do fator climático, houve ocorrência de chuva durante todo o turno matutino. A missão foi realizada na janela de tempo favorável para concluir a operação. O levantamento pode ser realizado mesmo no período chuvoso. Se fosse uma inspeção convencional com técnicas de rapelagem, o mesmo seria adiado.

#### 5.5 UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) NA ELABORAÇÃO DO PROJETO

Durante a elaboração do trabalho, foi utilizado a ferramenta baseada em IA como suporte linguístico, realizando uma tradução mais fiel possível ao texto original, pois a maioria dos artigos encontrados estavam em outro idioma. O qual também foi possível ter um suporte na fluidez e correção do texto.

A ferramenta ChatGPT 4.0 serviu de para um bom suporte na correção e tradução dos artigos encontrados, contudo, foi necessário realizar as devidas conferências com o texto original para evitar informações inconsistentes, tais como citações diretas que não estavam no texto e observar a coerência que havia no artigo, tanto em português quanto em inglês.

### **6 RESULTADOS**

Iremos abordar um pouco do planejamento realizado na parte do escritório e demonstrar o resultado do planejamento de voo manual realizado nas quatro faces do imóvel, através da Strip Pattern (Vertical), que nada mais é do que o voo realizado através de uma trajetória vertical paralela ao longo da fachada, permitindo registrar toda a superfície com sobreposição adequada entre as imagens, de acordo com Zhang et al. (2021), essa configuração favorece a reconstrução tridimensional e assegura a representação geométrica da edificação, sendo adequada para inspeção predial.

O planejamento e a execução do voo foram realizados de forma manual, o que proporcionou flexibilidade para definir a trajetória do drone e permitir ajustes durante a inspeção predial, garantindo a cobertura completa da fachada mesmo diante dos obstáculos existentes no entorno. As manobras mais delicadas foram conduzidas com base na confiabilidade do equipamento e no apoio dos sensores de proximidade, que auxiliam na estabilização da aeronave para evitar colisões sempre que possível. Esse tipo de operação pode ou não ser adotado em outras edificações, pois sua viabilidade depende das condições e dos

obstáculos presentes no momento do voo.

A necessidade de mapear integralmente a área do imóvel está diretamente relacionada à qualidade do serviço e à acurácia posicional do conjunto de dados geoespaciais. Quando se trata de acurácia, distinguem-se dois tipos: absoluta e relativa, ambas aplicáveis à verificação da qualidade do produto final, especialmente da ortofoto e da nuvem densa de pontos. Segundo a CONCAR (2016), suas definições são:

- a) Acurácia Absoluta ou Externa: É a discrepância entre as coordenadas da feição representada no produto e as coordenadas reais medidas em uma fonte externa de maior precisão;
- b) Acurácia Relativa ou Interna: É a discrepância entre as posições relativas dos objetos dentro do próprio produto em comparação com suas posições relativas reais ou aceitas como certas.

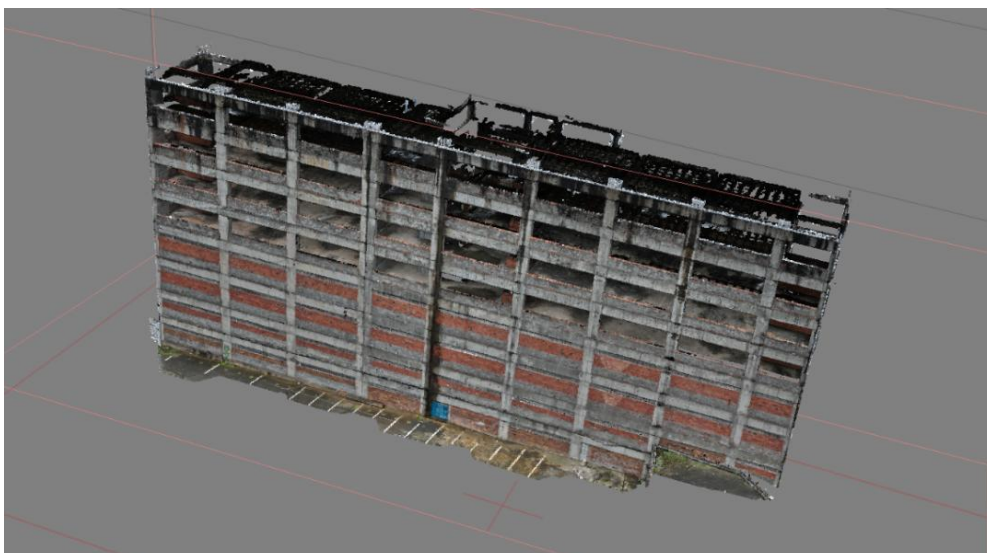
No entanto, vale ressaltar que não foi empregada qualquer técnica de GNSS para correção posterior das coordenadas das imagens do drone, assim, utilizou-se apenas a localização fornecida pelo módulo GNSS do próprio equipamento, baseado no datum geodésico WGS84.

## 6.1 RESULTADO DO PROCESSAMENTO

Após a coleta dos dados em campo, inicia-se a etapa de processamento, na qual os dados levantados são organizados com o objetivo de garantir maior fluidez no andamento dos trabalhos e na entrega final dos produtos. Para esse processo, foi utilizada a versão demonstrativa de 30 dias do software Agisoft Metashape, que permite o processamento de imagens capturadas por drones para a geração de ortofotos. A plataforma oferece uma interface intuitiva, que facilita o tratamento da nuvem de pontos e a criação do modelo tridimensional da edificação. O modelo demonstrado abaixo, foi gerado a partir dos dados do M3M. Observa-se o modelo 3D da fachada frontal, Figura 27, gerado após o processamento das imagens.

Figura 27. Modelo 3D da fachada frontal do prédio anexo.





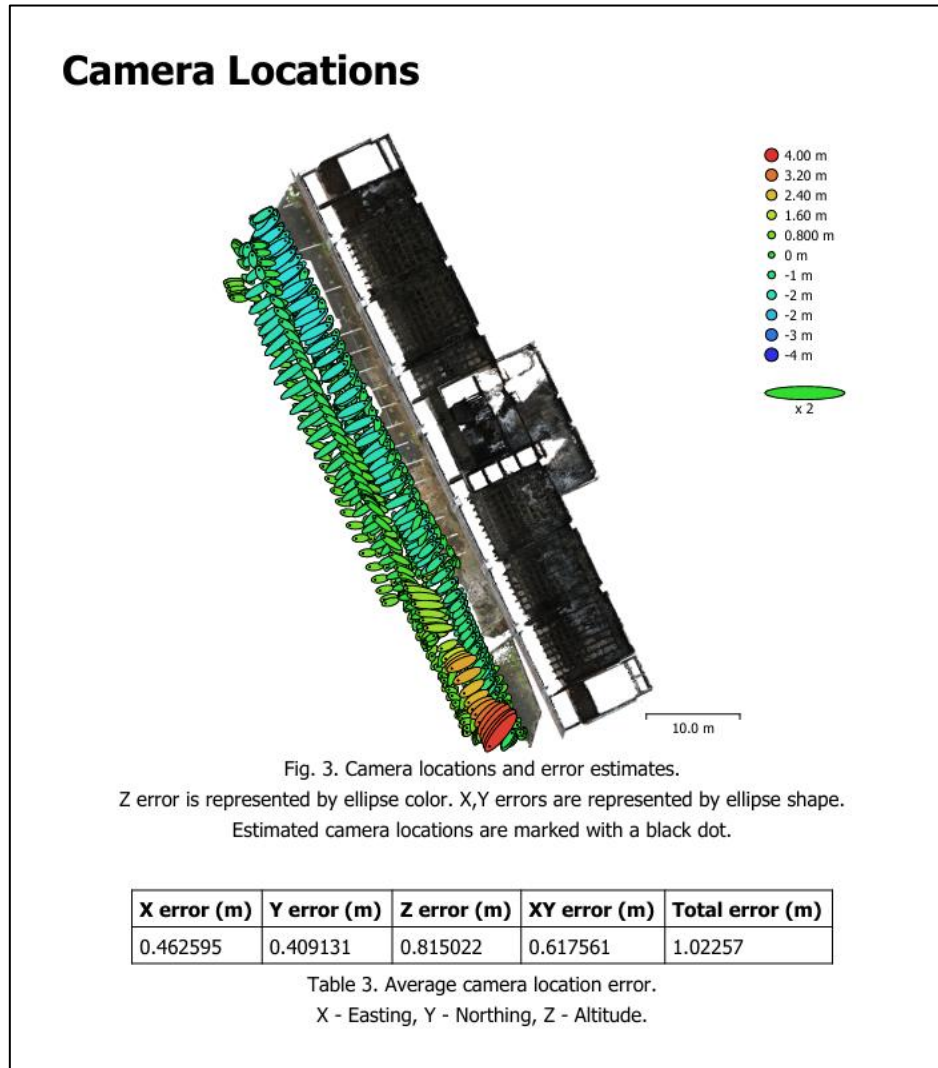
Fonte: Autores (2025)

Na Figura 28, observa-se a precisão do voo realizado utilizando exclusivamente o módulo GNSS embarcado no equipamento, de modo que as coordenadas obtidas estão referenciadas ao posicionamento autônomo do receptor. Essa condição limita a qualidade posicional dos resultados, especialmente para a análise de patologias de pequena dimensão, como fissuras da ordem de 0,5 mm e trincas de aproximadamente 1.5 mm. Foram identificados erros médios de 0.46 m no eixo X, 0.41m no eixo Y e 0.81m no eixo Z, resultando em um erro total aproximado de 1.02m, o que indica baixa acurácia absolutas. Para aplicações que demandam resultados em escala milimétrica, é encontrado essa limitação na metodologia do voo manual associado apenas ao GNSS embarcado, sem o emprego de técnicas de correção, como RTK ou PPK, compatíveis com o equipamento utilizado.

Quando o objetivo está restrito à análise visual e à acurácia relativa, os produtos gerados mostram-se aceitáveis, uma vez que permitem a identificação de determinadas patologias e subsidiam a elaboração de um plano de ação para intervenções de reparo ou restauração.

De acordo com a CONCAR (2016), a resolução espacial é um parâmetro utilizado para a avaliação da qualidade dos dados geoespaciais, pois expressa a menor dimensão do terreno que pode ser representada em um produto cartográfico, estando diretamente relacionada ao nível de detalhamento e à identificação dos objetos mapeados. Esse conceito está associado ao Ground Sample Distance (GSD) das imagens, sendo que a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) estabelece que quanto menor o GSD, maior a resolução espacial alcançada. Contudo, tanto a resolução espacial quanto o GSD devem ser definidos em função da finalidade e das exigências do serviço executado.

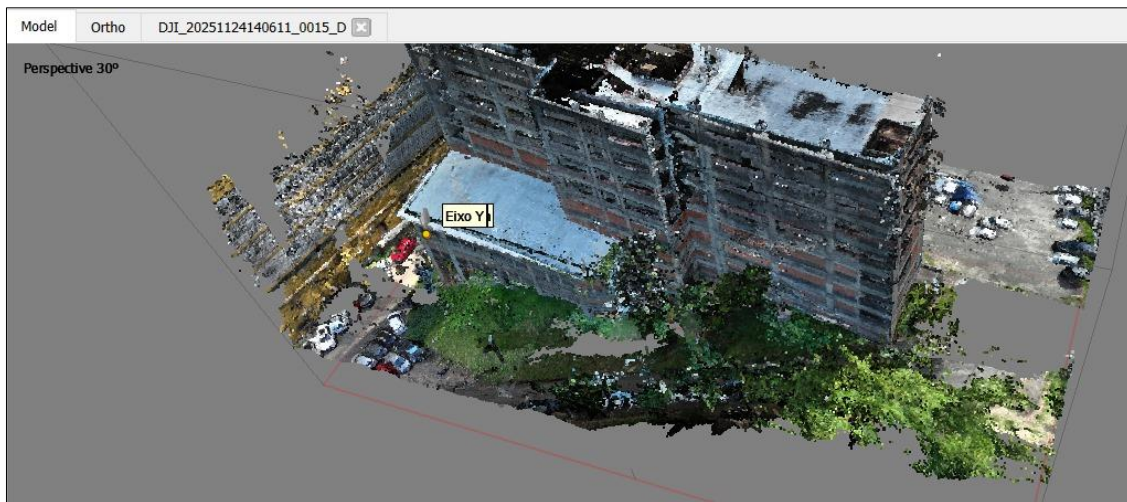
Figura 28. Precisão do Módulo GNSS.



Fonte: Autores (2025)

Ao realizar o processamento da parte posterior do imóvel, foram observadas diversas intercorrências decorrentes do excesso de informações presentes no entorno (Figura 29), como prédios, veículos e árvores de diferentes portes. Essa condição demanda um tratamento mais detalhado para isolar apenas a área de interesse a ser analisada. Contudo, por se tratar de um procedimento manual, algumas regiões podem não ser completamente refinadas durante a apuração dos dados.

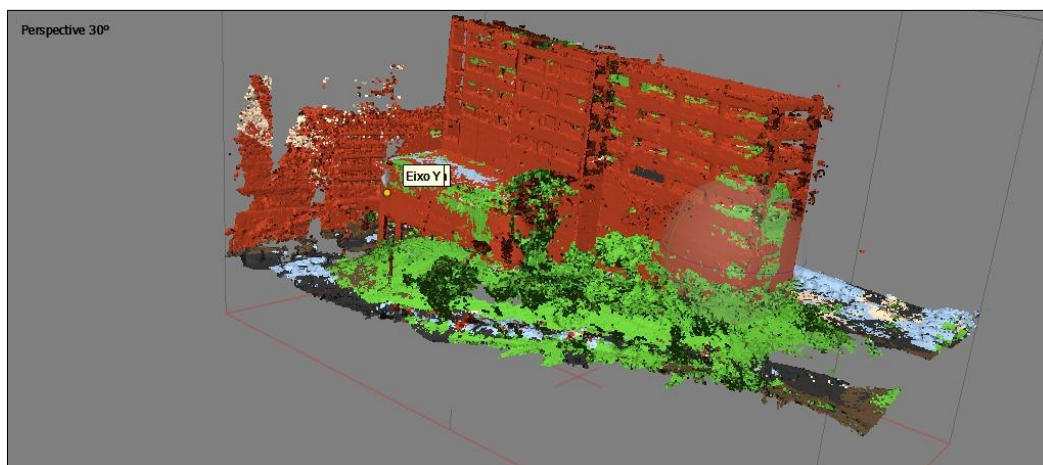
Figura 29. Ruído no Processamento.



Fonte: Autores (2025)

Tornou-se necessária a realização da classificação automática das camadas (Figura 30) no próprio software Agisoft Metashape, que dispõe de ferramentas de controle de qualidade capazes de aplicar filtros específicos, contribuindo para uma análise mais criteriosa e direcionada do produto de interesse, para realizar um tratamento mais ágil da limpeza dos dados, contudo, ela não é totalmente exata, assim, requer uma interpretação do que cada classe ou cor está se referindo. Como exemplo, a cor em destaque verde é vegetação, no entanto, é possível ver na imagem abaixo que a classificação considerou vegetação na parte do interior do imóvel, o que não condiz com a realidade de campo. Desta forma, é preciso ter atenção para não retirar as informações sem uma análise prévia.

Figura 30. Classificação Automática da Nuvem de Pontos.



Fonte: Autores (2025)

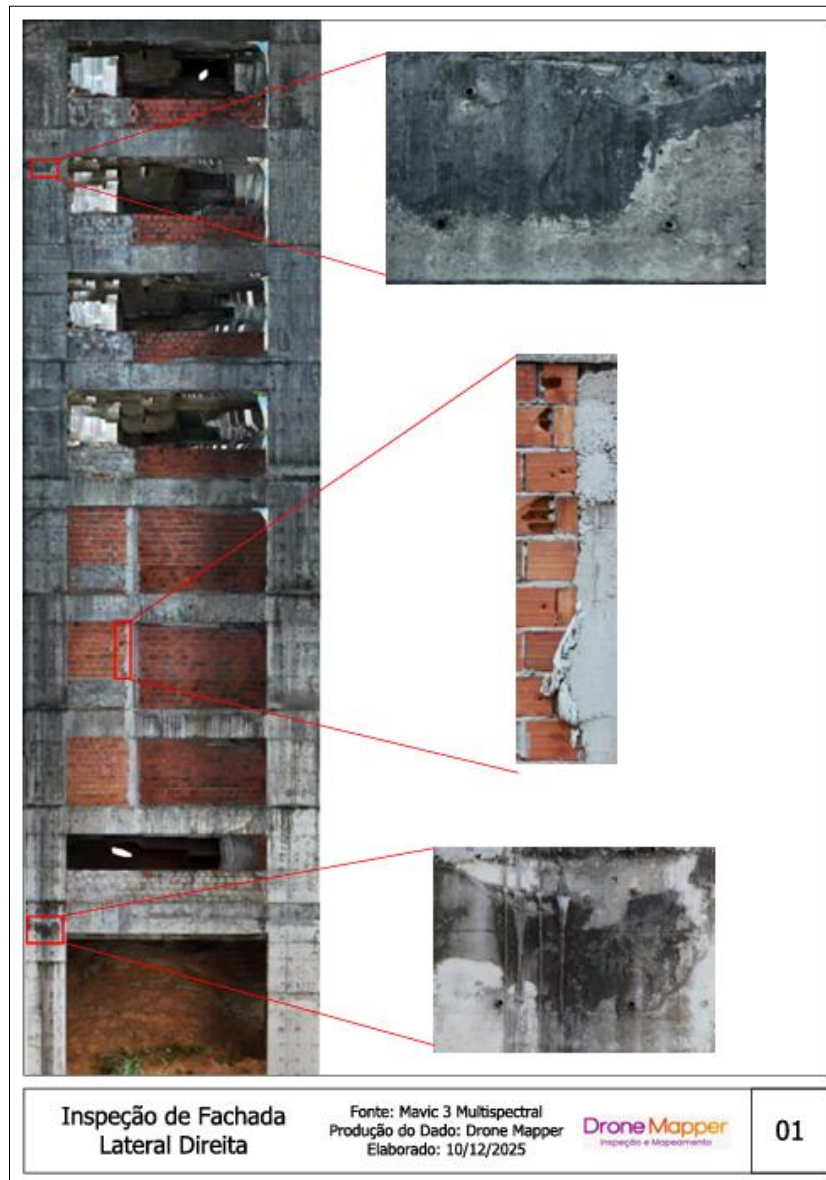
## 6.2 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

A geração das ortofotos das fachadas laterais direita e esquerda, associada ao processamento da nuvem densa de pontos, permitiu uma análise detalhada do estado de conservação da edificação, evidenciando a eficácia do levantamento aerofotogramétrico aplicado à inspeção predial. As ortofotos, também possibilitaram a identificação visual de manifestações patológicas tais como áreas de desagregação superficial, infiltrações, presença de limo, armadura exposta e um acabamento inadequado das faces do imóvel, sobretudo em regiões de maior degradação da fachada. Vale ressaltar, que as informações evidentes na Figura 31 e Em um dos destaques gerados, observa-se uma região com tonalidade mais escura, associada ao efeito de profundidade do imóvel e à presença de limo na superfície da parede. Esse resultado evidencia que, mesmo com o uso de uma câmera de alta qualidade e com uma distância focal adequada, ainda podem ocorrer limitações no produto final. Nessa situação, além da identificação da patologia na ortofoto, torna-se necessário analisar as imagens originais utilizadas na sua geração, a fim de compreender as causas desse efeito. Como alternativa complementar, a avaliação da nuvem densa de pontos mostra-se adequada, pois possibilita uma análise tridimensional da superfície, permitindo a interpretação da profundidade e da geometria do elemento construtivo, aspectos que não são plenamente representados em produtos bidimensionais.

Figura 32 abaixo, foram usadas a própria ortofoto para verificação do zoom, assim, demonstrando a nitidez das patologias em destaque.



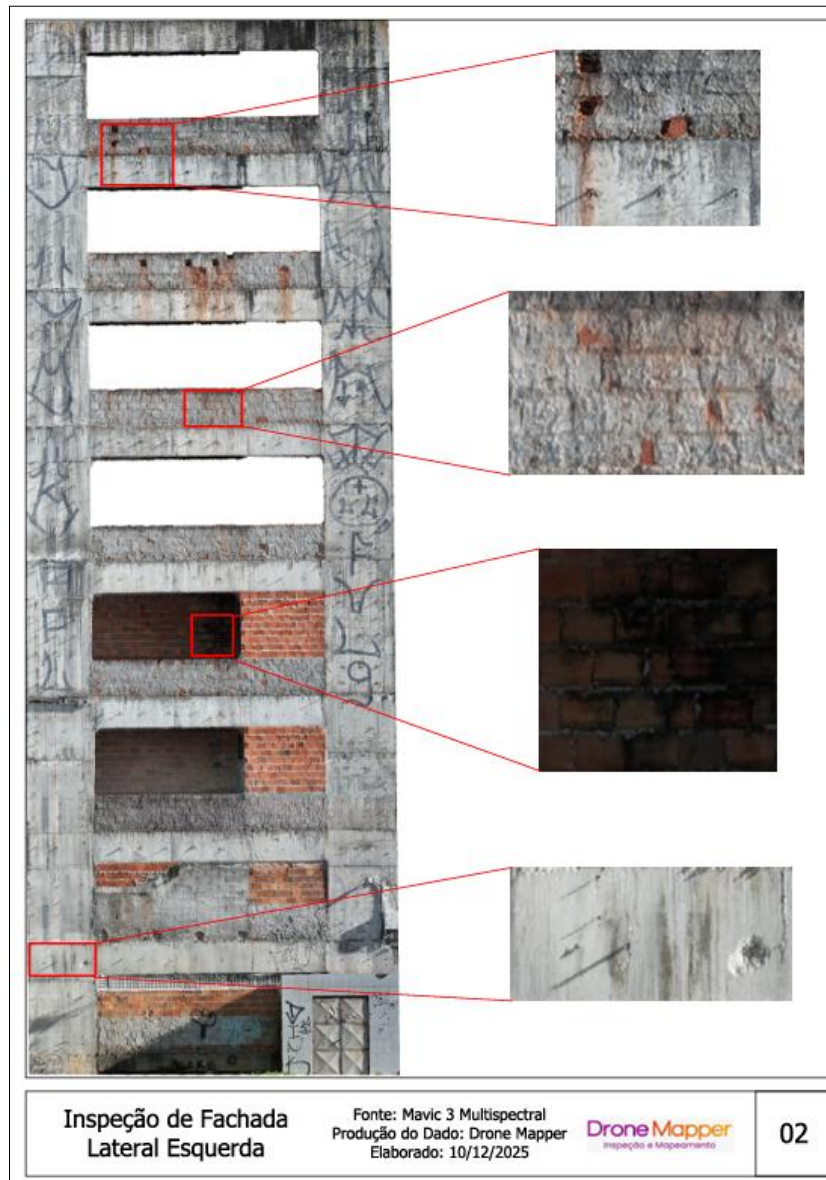
Figura 31. Lateral Direita



Fonte: Autores (2025)

Em um dos destaques gerados, observa-se uma região com tonalidade mais escura, associada ao efeito de profundidade do imóvel e à presença de limo na superfície da parede. Esse resultado evidencia que, mesmo com o uso de uma câmera de alta qualidade e com uma distância focal adequada, ainda podem ocorrer limitações no produto final. Nessa situação, além da identificação da patologia na ortofoto, torna-se necessário analisar as imagens originais utilizadas na sua geração, a fim de compreender as causas desse efeito. Como alternativa complementar, a avaliação da nuvem densa de pontos mostra-se adequada, pois possibilita uma análise tridimensional da superfície, permitindo a interpretação da profundidade e da geometria do elemento construtivo, aspectos que não são plenamente representados em produtos bidimensionais.

Figura 32. Lateral Esquerda.



Fonte: Autores (2025)

De forma complementar, a nuvem densa de pontos contribuiu para a avaliação tridimensional dessas anomalias, que nem sempre são plenamente perceptíveis em análises bidimensionais, conforme discutido por He et al. (2024), no contexto de levantamentos as-built com RPA. Segundo Gómez e Tascón (2021) e Cano et al. (2022) a partir da nuvem densa, a geração da malha 3D (mesh) possibilitou uma representação contínua das superfícies edificadas, auxiliando tanto na validação geométrica dos produtos quanto no refinamento da ortofoto, uma vez que a qualidade da malha influencia diretamente na precisão da projeção ortorretificada das imagens.

Mesmo com condições meteorológicas adversas no período da manhã, como a ocorrência de chuva, o planejamento do voo, a proximidade da fachada e a definição adequada

das sobreposições frontal e lateral permitiram a obtenção de dados consistentes, demonstrando que a metodologia adotada garante agilidade operacional e resultados satisfatórios para fins de diagnóstico e apoio à tomada de decisão em inspeções prediais.

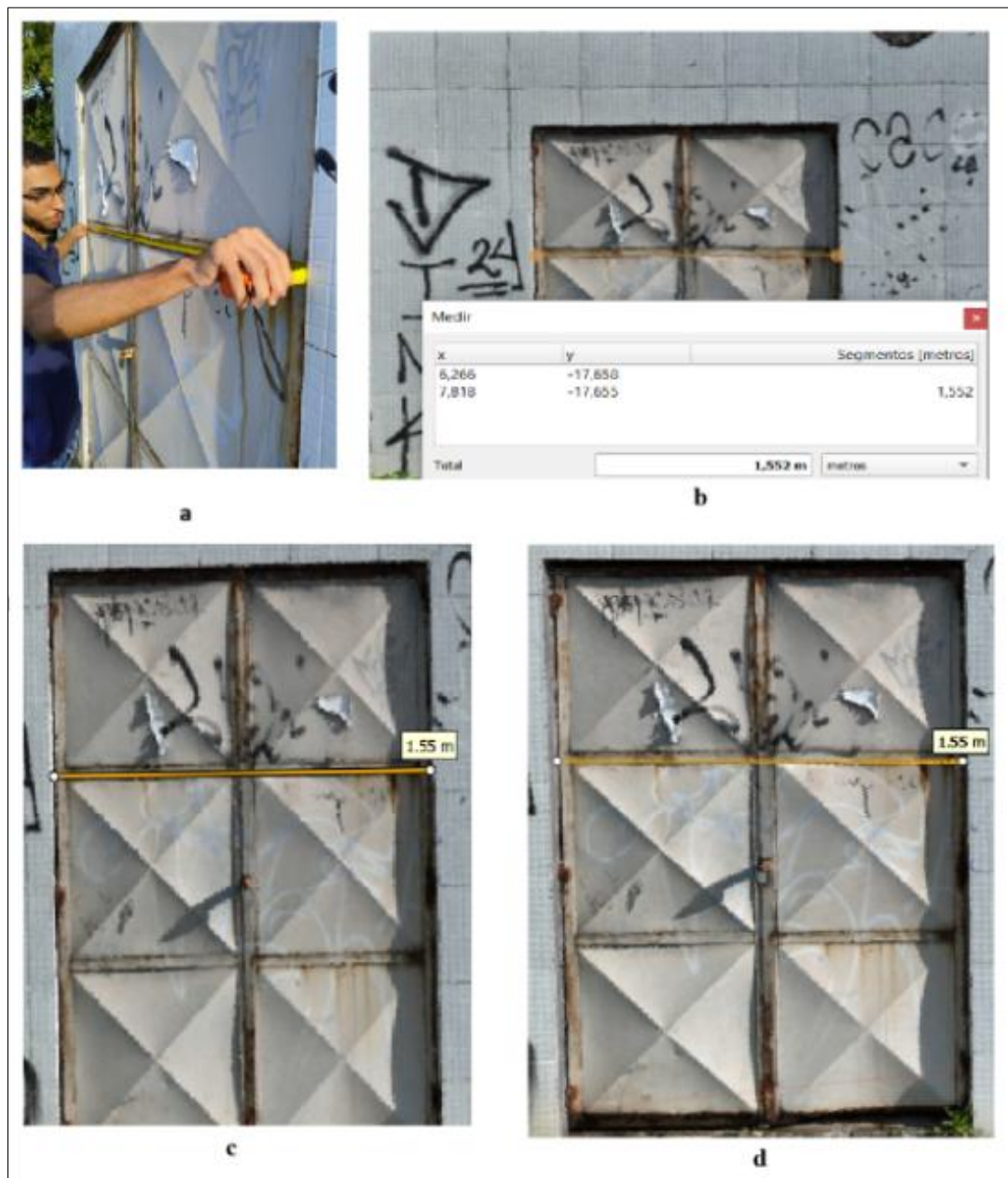
Para a consolidação da precisão dos dados gerados, utilizou-se uma trena como instrumento de validação em campo. Esse procedimento, de caráter simples e prático, possibilitou a obtenção de uma medida de referência diretamente na realidade, tomada em uma das faces do imóvel. As medições foram realizadas na porta de alumínio localizada na lateral esquerda do edifício, conforme ilustrado anteriormente.

A medida obtida em campo foi de aproximadamente 1,56 m, enquanto as medições realizadas nos programas cartográficos resultaram em aproximadamente 1,55 m, evidenciando uma discrepância mínima entre o ambiente físico e o ambiente digital.

Na Figura 33 abaixo, é possível visualizar as medidas que se procedeu à comparação com os resultados obtidos:

- a) Medição no Imóvel;
- b) QGIS - Ortofoto;
- c) Metashape - Ortofoto;
- d) Metashape - Nuvem Densa de Pontos;

Figura 33. Comparação das Medidas



Fonte: Autores (2025)

## **7 CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos ao longo deste estudo demonstram que o emprego de drones associados a produtos fotogramétricos, como ortofotos, nuvem densa de pontos e malha tridimensional, constitui uma abordagem eficiente para a inspeção predial de fachadas, permitindo a identificação de manifestações patológicas superficiais, tais como desagregações de revestimento, lacunas e buracos na fachada, exposição de armaduras, manchas de umidade, infiltrações e presença de biofilme. A integração entre os diferentes produtos gerados possibilitou uma análise mais abrangente da edificação, uma vez que a ortofoto favorece a leitura bidimensional e o mapeamento das patologias, enquanto a nuvem de pontos e a malha 3D ampliam a compreensão espacial e volumétrica das superfícies inspecionadas.

Apesar dos resultados satisfatórios, o método adotado apresenta limitações que devem ser consideradas, especialmente aquelas relacionadas à precisão geométrica dependente do sistema de posicionamento GNSS embarcado, às condições de iluminação, à geometria da edificação e às restrições impostas pelo padrão de voo e pela distância entre o drone e a fachada. Tais fatores podem impactar a representação de detalhes mais sutis e demandam cautela na interpretação dos produtos gerados, sobretudo quando não há apoio de sistemas de posicionamento mais precisos ou pontos de controle em campo.

Ainda que, em comparação aos métodos convencionais de inspeção predial, o uso de drones tenha se mostrado mais ágil, seguro e operacionalmente eficiente, ao reduzir o tempo de campo, a exposição dos inspetores a riscos e a necessidade de equipamentos de acesso, como andaimes e plataformas elevatórias, essa abordagem não substitui a inspeção tradicional, mas a complementa de forma qualificada. Nesse sentido, os produtos gerados fornecem subsídios técnicos que orientam e aprimoram as vistorias presenciais, contribuindo para um diagnóstico mais assertivo e integrado. Ademais, observa-se a possibilidade de aprimoramento contínuo do planejamento dos voos, incluindo, quando necessário, a realização de voos cruzados nas fachadas, sempre em função das demandas do cliente e das características específicas da edificação, bem como a avaliação de diferentes métodos de aquisição e processamento dos dados, de modo a selecionar a estratégia mais adequada para cada cenário de inspeção e elevar a qualidade técnica dos resultados obtidos.

## **8 REFERÊNCIAS**

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16747:2020 – Inspeção predial: diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94): requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Brasília: ANAC, 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E nº 94: requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Brasília, DF: ANAC, 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>.
- ALBUQUERQUE, Thayná Avelino de. Novas tecnologias aplicadas à engenharia diagnóstica: inspeção predial com o uso de drones. 2021. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Tabosa de Almeida – ASCES-UNITA, Caruaru, 2021.
- BENTO, Moisés; PARRREIRA, Mateus. Monitoramento e identificação de causas de fissuras, trincas e rachaduras em alvenaria. 2021.
- BECKER, S. et al. Reality capture methods for remote inspection of building work. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. XLVIII-1/W2-2023, p. 275–281, 2023.
- BUNGEY, J. H. et al. Testing of concrete in structures. 4. ed. New York: Taylor & Francis, 2006.
- BRASIL. Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR). Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais – ET-CQDG. Brasília: DSG, 2016.
- CANO, Miguel et al. A New Methodology for Bridge Inspections in Linear Infrastructures from Optical Images and HD Videos Obtained by UAV. Remote Sensing, v. 14, n. 5, p. 1244, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14051244>.
- CLARK, Ruaridh A. et al. Autonomous and scalable control for remote inspection with multiple aerial vehicles. Robotics and Autonomous Systems, v. 87, p. 258–268, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.10.012>.
- DANTAS, Luiz Fernando Pereira; SANTOS, Itallo Ramon Bezerra dos; SILVA, Anísio Vieira da. Aerofotogrametria aplicada ao acompanhamento de obras: estudo de caso na duplicação da BR-104 – Caruaru/Agrestina – PE. 2022. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Tabosa de Almeida –

ASCES-UNITA, Caruaru, 2022.

- DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul. 1988.
- DRONEENG. Energia solar: como os drones são utilizados. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/energia-solar-como-os-drones-sao-utilizados/>.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Drones ganham espaço nas lavouras brasileiras e viram opção para agricultores e prestadores de serviço*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/101800672/drones-ganham-espaco-nas-lavouras-brasileiras-e-viram-opcao-para-agricultores-e-prestadores-de-servico>
- FERREIRA, Angélica Rodrigues; OLIVEIRA, Ricardo Fonseca de. Patologias na construção civil: estudo de caso em duas residências na cidade de Iraí de Minas – MG. GETEC, v. 10, n. 26, p. 1–16, 2021.
- FORUM MILITARY PARITET. Tópico: ARP em combate. Disponível em: <http://forum.militaryparitet.com/viewtopic.php?id=3526&p=2>.
- FU, Changhong et al. Correlation filter-based visual tracking for UAV with online multi-feature learning. Remote Sensing, v. 11, n. 5, p. 549, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11050549>.
- GÓMEZ, Javier; TASCÓN, Alberto. A protocol for using unmanned aerial vehicles to inspect agro-industrial buildings. Informes de la Construcción, v. 73, n. 564, p. e421, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.84138>.
- GORODETSKY, A.; RAKHA, T. Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones. Automation in Construction, v. 93, p. 256–276, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>.
- HAO, Yuxiang; LU, Benhao; ALIPOUR, Mohamad. Optimized structural inspection path planning for automated unmanned aerial systems. Automation in Construction, v. 168, 2024.
- HAMLEDARI, H.; McCABE, B.; DAVARI, S.; SHAHI, A. Automated schedule and progress updating of IFC-Based 4D BIMs. Journal of Computing in Civil Engineering, 2017, v. 31, 04017012.
- HASAN, Md. Nur; HUGHES, Ben. Revolutionising building inspection techniques for increased energy efficiency. Energy and Buildings, v. 224, p. 110238, 2020. DOI:



<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110238>.

- HE, Zhenyang; XU, Chen; HUANG, Yang; YU, Tao; DENG, Meiting; WU, Jiayi. Unmanned Aerial Vehicle-Based As-Built Surveys of Buildings. *Automation in Construction*, v. 159, p. 105153, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105153>.
- HÓRUS. Aerofotogrametria com drones: conceitos básicos. Florianópolis – SC: Hórus, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA – BAHIA (IBAPE-BA). Lei de inspeção predial. Disponível em: <https://ibapebahia.org.br/informativos/lei-de-inspecao-predial/>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA (IBAPE). Prática recomendada de inspeção predial, vistoria cautelar e perícias de engenharia com uso de VANTs. Minas Gerais, 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO (IBAPE-SP). Inspeção predial: a saúde dos edifícios. São Paulo: IBAPE-SP, 2012. 44 p.
- JACOBY, Guilherme. A utilização de drones como ferramenta de inovação no planejamento e controle de obras na construção civil. 2022. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.
- KIM, S.; IRIZARRY, J. Exploratory study on factors influencing UAS performance on highway construction projects: as the case of safety monitoring systems. In: CONFERENCE ON AUTONOMOUS AND ROBOTIC CONSTRUCTION OF INFRASTRUCTURE, 2015, Ames. Proceedings... Ames: Iowa State University, 2015.
- KRAKHMAL'NY, S. I. et al. New system of monitoring of a condition of cracks of small reinforced concrete bridge constructions. *Procedia Engineering*, v. 150, p. 2369–2374, 2016.
- LI, Yundong et al. Building damage detection from post-event aerial imagery using single shot multibox detector. *Applied Sciences*, v. 9, n. 6, p. 1128, 2019.
- LIMA, Maria Gilcelannia Holanda. Diagnóstico de incidências de manifestações patológicas com a utilização da metodologia matriz gut-estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Semiárido, Mossoró, 2019.
- LIU, Y.; LIN, Y.; YEOH, J. K.; CHUA, D. K.; WONG, L. W.; ANG, M. H.; LEE, W.;



CHEW, M. Y. Framework for automated UAV-based inspection of external building façades. In: Automating Cities. Singapore: Springer, 2021. p. 173–194. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8670-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8670-5_7). Acesso em: July 2022.

- LOTTERMANN, Fabrício Nunes da. Patologias em estruturas de concreto: estudo de caso. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.
- MACHADO, Ari de Paula. Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono. São Paulo: Pini, 2002.
- MARTINS, Diego de Oliveira. Monitoramento geodésico de estruturas por meio do método multipolar de aproximações sucessivas e de redes topográficas espaciais. 2019. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.
- MEDEIROS JUNIOR, Ronaldo Alves de; LIMA, Maryangela Geimba de; BALESTRA, Carlos Eduardo Tino. Identificação das principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado pertencentes ao DCTA. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS, 2013. Anais... p. 1–9, 2013.
- NORONHA, Juliana Gomes. Estudo multicaso de manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado na cidade de Tabuleiro do Norte-CE. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Pau dos Ferros, 2018.
- OLIVEIRA, Jorge Antonio da Cunha; NASCIMENTO, Raíssa Soares do; PEREIRA, Bárbara Cicuto Gonçalves; TEIXEIRA, Amanda Rosa; NÓBREGA, Érica Silva da. Inspeção predial e avaliação das manifestações patológicas do subsolo em edificação residencial localizada no Distrito Federal – estudo de caso: Condomínio Residencial 116 Norte. Brasília: Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE, 2023. 26 f. Relatório técnico.
- OLIVEIRA, Alexandre Magno. Fissuras trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- PALAORO, Diego Giuri; RODRIGUES, Larissa Helena Carnielli Howat. Estudo de viabilidade técnica para utilização da régua potenciométrica na monitoração contínua de fissuras em concreto. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Patologia nas Obras Cíveis) – Instituto IDD, Vitória, 2017.

- PEREIRA, Iane Silva. Aplicação de nuvens de pontos para o monitoramento de fissuras e trincas em estruturas antrópicas. 2023. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.
- RACHMAWATI, Titi Sari Nurul; KIM, Sunkuk. Unmanned aerial vehicles (UAV) integration with digital technologies toward construction 4.0: a systematic literature review. *Sustainability*, v. 14, n. 9, p. 5708, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14095708>.
- RAKHA, Tarek; EL MASRI, Yasser; CHEN, Kaiwen; DE WILDE, Pieter. 3D Drone-based time-lapse thermography: a case study of roof vulnerability characterization using photogrammetry and performance simulation implications. In: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION (IBPSA) CONFERENCE, 17., 2021, Bruges. Proceedings... Bruges, 2021. p. 2023–2030. DOI: <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30828>.
- RAMOS, Roberto. Inspeção visual e termográfica com drones: tecnologia a favor da manutenção predial. *MundoGEO*, 14 fev. 2022. Disponível em: <https://mundogeo.com/2022/02/14/inspecao-visual-e-termografica-com-drones-tecnologia-a-favor-da-manutencao-predial/>. Acesso em: 16 out. 2025.
- ROCHA, Rodrigo Santos Mendes da. Posicionamento geodésico com GPS no suporte a detecção de deslocamento em barragens. 2017.
- SANTOS, I. S.; LIMA, I. N. N.; COSTA, T. S.; PUREZA, D. Q.; OLIVEIRA, A. C. Inspeção visual em pontes com o emprego de veículos aéreos não tripulados: estudo de caso: ponte sobre o Rio Matapi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 61., 2019, Fortaleza. Anais... Fortaleza: IBRACON, 2019.
- SILVA, A. S. Método para reconhecimento automatizado de falhas. UFBA, 2023.
- SILVA, A. S. Método para reconhecimento automatizado de falhas. Dissertação (Mestrado) – UFBA, 2023.
- SINGH, P. K. et al. (Ed.). *Proceedings of ICRIC 2019*. Springer International Publishing, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29407-6>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Pini, 2009.
- SOUZA, Marilsa Inês; MURTA, Mirna Moreira. *Patologias, recuperação e reforço estrutural em concreto armado*. 2012.
- TECNODEFESA. FAB realiza primeiro seminário internacional ARP em combate.

Disponível em: <http://tecnodefesa.com.br/fab-realiza-primeiro-seminario-internacional-arp-em-combate/>.

- THOMAZ, Ercio. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: PINI, 1989.
- WIRED. The physics of drones. Disponível em: <https://www.wired.com/2017/05/the-physics-of-drones/>.
- XMOBOTS. Drone de monitoramento na segurança pública brasileira. Disponível em: <https://xmobots.com.br/drone-de-monitoramento-na-de-seguranca-publica-brasileira/>.
- ZANZARINI, J. C. Análise das causas e recuperação de fissuras em edificação residencial em alvenaria estrutural – estudo de caso. 2016. 82 f. TCC (Curso de Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6879/1/CM\\_COECI\\_2016\\_1\\_15.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6879/1/CM_COECI_2016_1_15.pdf).
- ZHANG, R. et al. Unmanned aerial vehicle navigation in underground structure inspection: a review. Geological Journal, v. 58, n. 6, p. 2454–2472, 2023.
- ZHOU, J.; YU, W.; MA, Y.; ZHANG, K. Automatic crack detection and structural inspection of cultural heritage buildings using UAV-based image acquisition. Journal of Building Engineering, v. 82, 2024.