

Registro de fachadas de edificações: um estudo de caso utilizando *DJI Matrice 300 RTK e Zenmuse L1*

Registration of building facades: a case study using DJI Matrice 300 RTK and Zenmuse L1

Érico Fernando de Oliveira Martins

Professor Doutor, Facet, Unemat Sinop, Brasil
profericomartins@unemat.br

Marlova Slaviero Lopes

Discente de Pós-Graduação, Facet, Unemat Sinop, Brasil
marlova12@yhoo.com.br

Rodrigo Bruno Zanin

Professor Doutor, Facet, Unemat Sinop, Brasil
rodrigo.zanin@unemat.br

Sarah Lirio Paim

Discente de Graduação, Facet, Unemat Sinop, Brasil
sarah.lirio@unemat.br

RESUMO

Esta pesquisa explora o registro de edificações, em particular a captura de dados LiDAR de fachadas por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). O registro de edificações é crucial para a preservação, manutenção e restauração do imóvel, proporcionando uma base precisa para intervenções e garantindo a documentação detalhada das características arquitetônicas. Foram utilizados o sensor LiDAR *DJI Zenmuse L1* embarcado no VANT *DJI Matrice 300 RTK*. O sensor *DJI Zenmuse L1* é notável por gerar nuvens de pontos tridimensionais adensadas e de alta definição, destacando-se no mapeamento cartográfico. O *DJI Matrice 300 RTK* se distingue por suas capacidades avançadas de detecção de colisão e posicionamento. O método foi testado e teve seus parâmetros definidos por meio de um estudo de caso realizado na Catedral Sagrado Coração de Jesus em Sinop, Mato Grosso, uma edificação com relevância arquitetônica e complexidade geométrica. A pesquisa foi dividida em duas etapas: a primeira visou avaliar os padrões de digitalização e coleta de dados a laser, enquanto a segunda focou em determinar a altitude de voo mais adequada. A primeira etapa revelou que o modo de disparo não repetitivo com coleta de dois retornos do pulso laser era o mais eficaz, produzindo nuvens de pontos mais detalhadas e com menos falhas. A segunda etapa mostrou que, neste estudo de caso, a altitude de 35 metros gerava nuvens de pontos mais consistentes, com tendência de degradação para altitudes maiores. Os resultados demonstraram a eficiência deste método para o registro de edificações.

PALAVRAS-CHAVE: VANT; LiDAR; Registro de edificações.

ABSTRACT

This research explores the registration of buildings, particularly the capture of LiDAR data of facades using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Building registration is crucial for the preservation, maintenance, and restoration of properties, providing a precise basis for interventions and ensuring detailed documentation of architectural features. The DJI Zenmuse L1 LiDAR sensor mounted on the DJI Matrice 300 RTK UAV was used. The DJI Zenmuse L1 sensor is notable for generating dense, high-definition three-dimensional point clouds, excelling in cartographic mapping. The DJI Matrice 300 RTK stands out for its advanced collision detection and positioning capabilities. The method was tested and its parameters defined through a case study conducted at the Sacred Heart of Jesus Cathedral in Sinop, Mato Grosso, a building with architectural significance and geometric complexity. The research was divided into two stages: the first aimed to evaluate the scanning patterns and laser data collection, while the second focused on determining the most suitable flight altitude. The first stage revealed that the non-repetitive shooting mode with two laser pulse returns was the most effective, producing more detailed point clouds with fewer gaps. The second stage showed that, in this case study, an altitude of 35 meters generated more consistent point clouds, with a tendency to degrade at higher altitudes. The results demonstrated the efficiency of this method for building registration.

KEYWORDS: UAV; LiDAR, Building registration.

1 INTRODUÇÃO

O registro de uma edificação, neste trabalho, é compreendido como a criação de sua representação gráfica virtual a partir de dados capturados *in loco*. Cogima (2019) ressalta que o registro de edificações em representação digital para ambientes virtuais deve ser realizado com meticulosidade para assegurar a fidelidade de todos os aspectos construtivos, transformando-os em registros autênticos, o que é crucial para a preservação, manutenção e análise dessas edificações. Como envolve uma etapa crucial de captura, a qualidade dos resultados depende diretamente da qualidade dos dados obtidos.

A captura dos dados requer a definição das técnicas e sensores adequados ao que se deseja registrar. Por exemplo, o registro de ambientes internos exige equipamentos e métodos diferentes daqueles usados para registrar as fachadas. Nas pesquisas contemporâneas, são cada vez mais frequentes os trabalhos que abordam a captura de dados de fachadas de edificações utilizando metodologias variadas, mas convergentes no uso de tecnologias de ponta de sensoriamento remoto e fotogrametria.

Neste sentido, atualmente, um dos equipamentos que se destacam são os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Tondelo e Barth. (2019) enfatizam o papel dos VANTs na coleta de dados de fachadas, oferecendo uma maneira eficaz, econômica e segura de obter informações críticas sobre a condição e conformidade dos edifícios. Lima *et al.* (2020) ressaltam a capacidade desses dispositivos de capturar imagens em pontos de difícil acesso, superando as limitações dos métodos tradicionais.

Franco Júnior (2019), explorou o uso integrado de VANTs e a Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modelling* - BIM) para a documentação de infraestruturas urbanas. Utilizando o VANT *DJI Mavic Pro* e softwares como *Pix4D* e *Agisoft PhotoScan*, foram capturadas imagens aéreas e geradas nuvens de pontos, modelos digitais de superfície e ortofotos. A metodologia incluiu a modelagem BIM com *Autodesk Revit*, *Recap* e *InfraWorks*. Os resultados demonstraram a eficácia da combinação dessas tecnologias na criação de modelos tridimensionais detalhados das infraestruturas urbanas.

Almeida e Pizzaia (2019) exploraram o registro do patrimônio arquitetônico do Grand Hotel em Araraquara-SP, utilizando a fotogrametria. A metodologia envolveu a captura de imagens com uma câmera fotográfica *Canon EOS 1000D* e o tratamento dessas imagens com o software *Photomodeler*, seguido pela vetorização no *AutoCAD*. Os resultados incluíram desenhos técnicos detalhados que permitem a criação de uma documentação arquitetônica precisa, facilitando ações de conservação e restauração do patrimônio cultural.

Ballesteros Ruiz e Lordsleem Junior (2021) focaram no uso do VANT *DJI Phantom 4* e de um *software* de análise de imagens para inspeções de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. Os resultados demonstraram a eficácia do uso de VANTs para inspeções detalhadas, permitindo identificar e documentar problemas com alta precisão.

Costa *et al.* (2022) visaram obter modelos 3D de edificações utilizando softwares fotogramétricos e o VANT *DJI Phantom 4*. A metodologia envolveu a captura de imagens aéreas e seu processamento para gerar modelos tridimensionais detalhados. Os resultados destacaram a precisão dos modelos 3D obtidos, que podem ser usados para diversas aplicações, incluindo planejamento urbano, inspeções e restaurações.

Braghirolli *et al.* (2023) realizaram levantamentos de fachadas usando fotogrametria com o VANT *DJI Mavic Mini SE* e uso de pontos de controle levantados com estação total. Os resultados incluem a criação de modelos tridimensionais detalhados das fachadas, demonstrando a precisão e eficiência da metodologia para aplicações em inspeções e documentação arquitetônica.

Garcia *et al.* (2023) exploraram o uso de tecnologias de código aberto para o registro fotogramétrico do patrimônio arquitetônico. Utilizando VANTs e câmeras fotográficas, a metodologia envolveu a captura de imagens e o uso de *software* de código aberto para processamento e criação de modelos tridimensionais. Os resultados mostram que as tecnologias de código aberto são viáveis e eficazes para a documentação de patrimônios, oferecendo uma alternativa econômica e acessível para profissionais da área.

Os trabalhos citados anteriormente se distinguem pelas ferramentas e abordagens adotadas; no entanto, todos compartilham o foco na captura de dados de fachadas de edificações utilizando câmeras fotográficas. Embora este seja o sensor mais comumente embarcado em VANTs, é possível utilizar outros sensores, tais como os sistemas de varredura a laser. Stroner *et al.* (2021) observam que, ao contrário da fotogrametria, que reconstrói modelos tridimensionais a partir de imagens pelo princípio da estereoscopia, a varredura a laser mede pontos individuais com coordenadas tridimensionais diretamente nas superfícies de objetos, proporcionando uma representação mais precisa.

Comumente referenciada simplesmente pelo termo laser, a tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*) é um sistema topográfico que se baseia na emissão de milhares de pulsos laser de luz infravermelha por segundo e no registro do retorno do sinal. O sistema realiza tarefas como medir as distâncias, a intensidade da energia refletida pelo objeto e os parâmetros do feixe (azimute e elevação), podendo assim determinar com precisão as elevações da superfície (Jensen, 2009). Portanto, a integração de tecnologias como o LiDAR e os VANTs representa um avanço significativo nos métodos de registro do patrimônio, oferecendo precisão, eficiência e novas possibilidades na captura de dados.

Para que os dados obtidos pela tecnologia LiDAR sejam confiáveis, Cogima (2019) ressalta que o planejamento da varredura a laser deve estar baseado na análise dos requisitos de visibilidade e qualidade dos dados a serem coletados, como tolerância, densidade da nuvem e sobreposição mínima das varreduras individuais, assim como as limitações de acessibilidade ao objeto e a portabilidade do equipamento. Trabalhos pioneiros como os de Emelianov *et al.* (2014) e, mais recentemente, Sousa e Centeno (2021) e Room e Ahmad (2023) fazem uso de sensores LiDAR embarcados em VANTs para a captura de dados de fachadas de edificações.

Assim, embora o uso de sensores LiDAR na captura de estruturas arquitetônicas seja um método consolidado, a originalidade desta proposta reside nos equipamentos utilizados e na definição dos parâmetros ideais de uso. Devido ao alto custo e à posição de destaque como tecnologia de ponta no mercado de captura de dados geoespaciais, os equipamentos utilizados nesta pesquisa geram um interesse genuíno tanto na comunidade acadêmica quanto entre profissionais, que estão ansiosos por explorar seus potenciais e limitações.

Desta forma, esta pesquisa busca contribuir estabelecendo um processo e definindo os parâmetros ideais de captura de dados a laser em aplicações de registro de fachadas de patrimônio edificado utilizando equipamentos da empresa *DJI Enterprise*, líder no mercado nacional. Para isso, um estudo de caso foi realizado utilizando o sensor LiDAR *DJI Zenmuse L1*

acoplado ao VANT *DJI Matrice 300 RTK* em uma edificação com cerca de 4.000 m². O resultado foi a produção de uma nuvem de pontos tridimensionais detalhada da estrutura, mediante o estabelecimento dos parâmetros mais adequados.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é estabelecer um processo e definir os parâmetros ideais para a captura de dados a laser em aplicações de registro de fachadas de patrimônios edificados, utilizando equipamentos da empresa DJI Enterprise.

São Objetivos Específicos:

1. Avaliar padrões de digitalização e coleta de dados laser: A primeira etapa da pesquisa visa avaliar diferentes padrões de digitalização (repetitivo e não repetitivo) e determinar a melhor configuração para a coleta de dados laser com o sensor LiDAR *DJI Zenmuse L1*.

2. Determinar a altitude de voo mais adequada: A segunda etapa foca em testar diferentes altitudes de voo (35m, 50m e 70m) para identificar qual delas gera nuvens de pontos mais consistentes e detalhadas, otimizando a produtividade e o consumo de bateria.

3. Realizar um estudo de caso na Catedral Sagrado Coração de Jesus em Sinop: Aplicar os métodos e parâmetros definidos em um estudo de caso específico, utilizando o sensor LiDAR *DJI Zenmuse L1* acoplado ao VANT *DJI Matrice 300 RTK*, para registrar digitalmente uma edificação com cerca de 4.000 m², verificando a eficácia e precisão do processo desenvolvido.

4. Analisar a viabilidade e potencialidade do ecossistema de mapeamento *DJI*: Verificar a viabilidade técnica e econômica da utilização dos equipamentos da *DJI Enterprise* para o registro de edificações, avaliando a precisão, eficiência e novas possibilidades oferecidas pela integração das tecnologias LiDAR e VANTs no mercado de captura de dados geoespaciais.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Para a realização desta pesquisa, foi definido como edificação de interesse a Catedral Sagrado Coração de Jesus em Sinop, Mato Grosso. Esta edificação foi selecionada por ser um dos principais patrimônios edificados na cidade, estampando cartões postais do município. A Catedral possui 4.000 m² de área edificada, com uma ampla fachada composta por elementos geométricos variados (cilíndricos, cúbicos e círculos), características importantes para este estudo de caso (Figura 1).

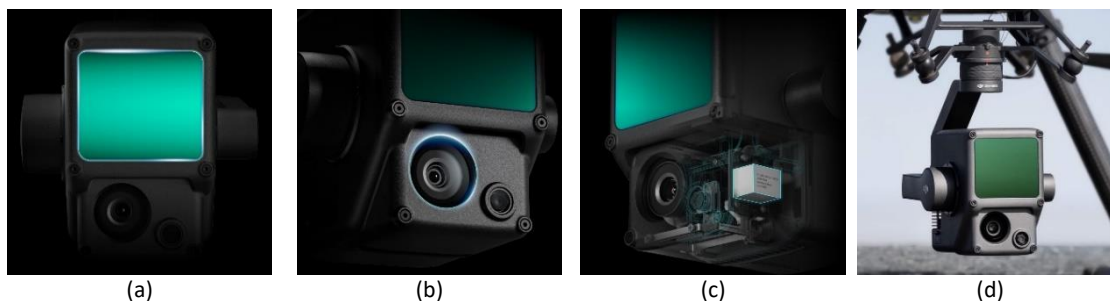
Figura 1 – Visualizações superior e laterais da Catedral Sagrado Coração de Jesus em Sinop, MT.



Fonte: Catálogo do Google Earth Pro, 2024.

Para a coleta dos dados foi utilizado um sensor *DJI Zenmuse L1*, embarcado em um *VANT DJI Matrice 300 RTK*. O *Zenmuse L1* é um sensor integrado que possui um módulo LiDAR (*Light Detection and Ranging*) da fabricante *Livox* - <https://www.livoxtech.com/> - (Figura 2a); uma IMU (*Inertial Measurement Unit*) de alta precisão (Figura 2b); e uma câmera RGB de 20 megapixels (Figura 2c); montados em um *gimbal* estabilizado de 3 eixos (Figura 2d).

Figura 2 – Sensor DJI Zenmuse L1 com destaque para o (a) LiDAR, (b) câmera, (c) IMU e (d) gimbal.



Fonte: <https://enterprise.dji.com/pt-br/zenmuse-l1>

Lançado em abril de 2023, o *Zenmuse L1* é o primeiro sensor LiDAR da empresa *DJI*, líder no mercado nacional de VANTs. O *Zenmuse L1* está estabelecido no mercado como uma solução completa que fornece dados 3D em tempo real. O destaque deste sensor é a geração de nuvens de pontos tridimensionais, com potencial de uso tanto no mapeamento cartográfico de áreas, quanto na geração de descrições de estruturas complexas. Este dinamismo no uso está associado as combinações de diferentes configurações (Quadro 1).

Quadro 1 – Algumas especificações técnicas do LiDAR, componente do DJI Zenmuse L1.

Características	Parâmetros
Dimensões	152 × 110 × 169 mm
Classificação de IP	IP54
Peso	930±10 g
Energia	Típico: 30 W; Máx.: 60 W
Aeronave compatível	Matrice 300 RTK
Faixa de temperatura operacional	-20 ° a 50 °C (-4 ° a 122 °F)
Segurança do laser	Classe 1(IEC 60825-1:2014) (Segurança ocular)
Taxa de coleta de pontos (retorno).	Único: máx. 240.000 pts/s; Múltiplo: máx. 480.000 pts/s
Precisão do sistema (RMS 1σ)	Horizontal: 10 cm a 50 m; Vertical: 5 cm a 50 m
Modos de coloração de nuvem de pontos	Cor verdadeira; refletividade; elevação; distância
Retornos possíveis	De 1 a 3
Modos de digitalização	Padrão de digitalização não repetitivo Padrão de digitalização repetitivo
Campo visual (FOV) dos padrões de digitalização	Não repetitivo: 70,4° (horizontal) × 77,2° (vertical); Repetitivo: 70,4° (horizontal) × 4,5° (vertical)
Temperatura operacional	De -20 ° a 50 °C

Fonte: <https://enterprise.dji.com/pt-br/zenmuse-l1>.

A plataforma *Matrice 300 RTK* (Figura 3) é o novo modelo de VANT industrial e comercial da empresa *DJI*, sendo a única compatível com o *Zenmuse L1*. Este VANT tem como acessórios um controle inteligente *DJI Enterprise*, com visor de 5,5", e um receptor *D-RTK 2*, que é uma estação móvel GNSS de alta precisão, suportando os principais sistemas globais de navegação por satélite, proporcionando correções em tempo real que podem gerar dados com precisão em nível de centímetros.

Figura 3 – VANT (a) *DJI Matrice 300 RTK*, com (b) controle enterprise e (c) estação móvel *D-RTK 2*.



Fonte: Acervo próprio.

O *Matrice 300 RTK* possui sistema de detecção e posicionamento em 6 direções, garantindo grande segurança de operação, evitando choque com objetos e pessoas. Suas especificações (Quadro 2), o colocam atualmente em destaque no cenário do mapeamento.

Quadro 2 – Especificações técnicas *Matrice 300 RTK*.

Características	Parâmetros
Tempo máximo de voo	55 minutos
Transmissão Máxima	15 km
Altura de serviço	7000m
Resistência ao vento	15 m/s
Velocidade máxima	23 m/s
Capacidade Máxima	2,7 kg
Temperatura operacional	-20 °C a 50 °C

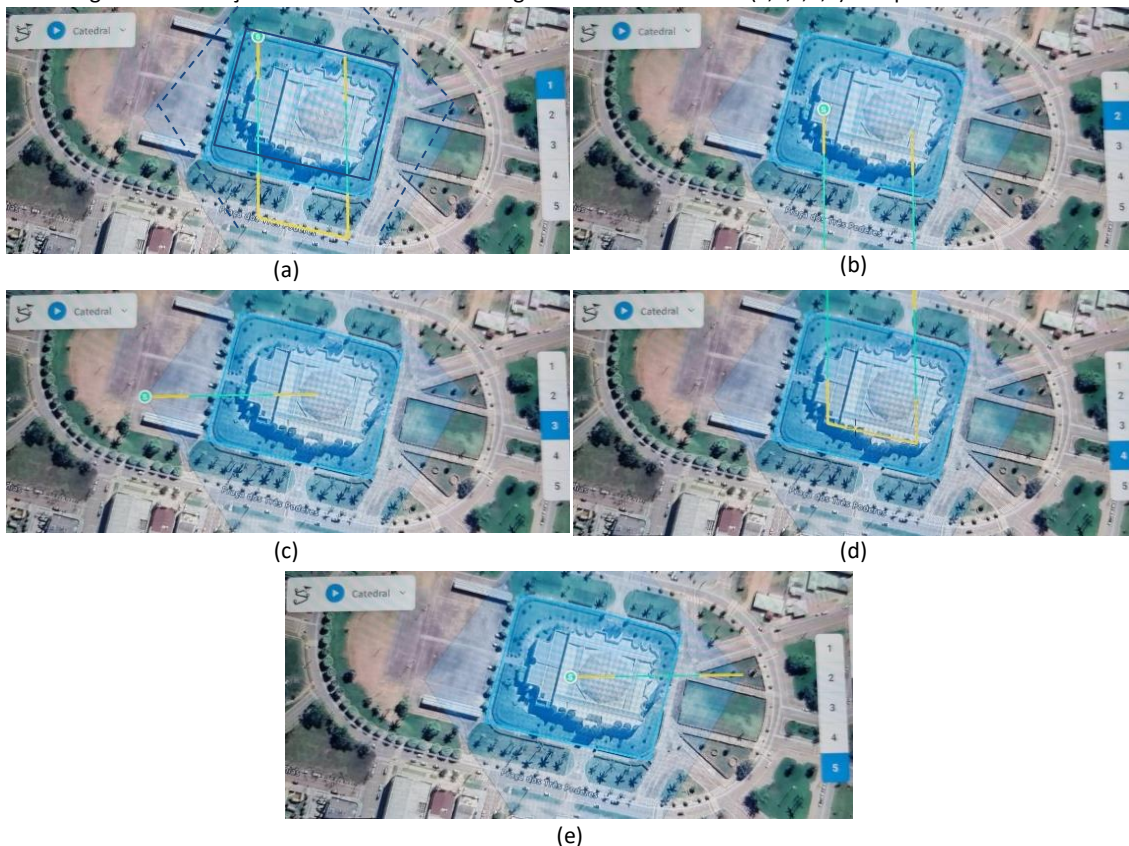
Fonte: <https://enterprise.dji.com/pt-br/matrice-300>

Quanto ao planejamento da coleta dos dados, os planos de voo foram configurados no aplicativo oficial, o *DJI Pilot* (<https://www.dji.com/br/downloads/djiapp/dji-pilot>), na opção de voo oblíquo (*Oblique*) do menu principal de voos automatizados. Este padrão de voo é recomendado quando há interesse em coletar dados de um elemento que possua volume, ou seja, um objeto tridimensional, tal como uma edificação.

Como os algoritmos contidos no *DJI Pilot* são elaborados com base nos princípios fotogramétricos fundamentais, conforme são definidos determinados parâmetros, a missão vai sendo ajustada automaticamente.

Assim, na interface do modo oblíquo (*Oblique*), ao definir um polígono envolvente delimitando a feição de interesse, indicando a altitude de voo, o algoritmo já sugere as rotas que serão realizadas (Figura 4), linhas verdes, bem como as rotas de calibração do sistema LiDAR (trechos de linhas amarelas), parâmetros complementares de velocidade de voo etc. O padrão deste tipo de voo é a realização de cinco rotas, garantindo que o objeto seja recoberto pelo disparo do LiDAR.

Figura 4 – Definição da área de interesse e sugestão das rotas de voo (a,b,c,d,e) no aplicativo DJI Pilot.



Fonte: Acervo próprio.

Na Figura 4a, observa-se o polígono regular azul escuro no centro da imagem (destacado por linhas azuis contínuas), sobreposto por um polígono irregular azul claro (destacado por linhas azuis tracejadas). O polígono azul escuro foi delimitado pelo operador no momento da confecção do plano de voo, para indicar a área de interesse. O polígono azul claro é gerado pelos algoritmos do *DJI Pilot* indicando a área que será abrangida pelo sensor LiDAR.

Assim, na etapa de processamento dos dados, é necessário segmentar a nuvem de pontos resultantes para limitar os dados somente à área de interesse (retângulo de linhas azuis contínuas).

Para atender o objetivo desta pesquisa, ou seja, capturar dados suficientemente consistentes para a descrição detalhada de edificações, foram testadas diferentes configurações para o sensor LiDAR. Assim, foram realizados cinco voos, organizados em duas etapas com propósitos distintos.

A primeira etapa teve como objetivo avaliar os resultados obtidos pelos padrões de digitalização não repetitivo e repetitivo. Para isso, foram realizados dois voos com altitude fixa em 50 metros e com variação no método de funcionamento do laser. No primeiro voo foi utilizado o modo repetitivo de disparo, com coleta do primeiro retorno. Já no segundo voo foi utilizado o modo não repetitivo com coleta dos dois primeiros retornos, conforme Quadro 3.

Quadro 3- Padrões de disparo do pulso laser e coleta dos retornos definidos nos planos de voo da 1ª etapa.

Voo	Altitude	Digitalização	Pulsos
1º	50	Repetitivo	1
2º	50	Não repetitivo	2

Fonte: Acervo próprio.

A avaliação dos resultados desta etapa se deu por análise qualitativa da nuvem de pontos gerada, por meio de inspeção visual. A partir desta análise foi definida a configuração de disparo e coleta mais adequada para o objetivo da pesquisa, sendo ela adotada para os próximos voos.

Na segunda etapa, o objetivo foi definir a altitude de voo mais adequada. Os testes de altitudes realizados nesta etapa são extremamente relevantes, já que impacta diretamente na produtividade, tendo em vista que maiores altitudes vão implicar em tempo menor de voo, resultando num menor consumo de bateria. Quando o contrário acontece, irá produzir tempos maiores de voo com maior consumo de bateria. Tendo em vista que a bateria é o que define o quanto será trabalhado em campo, este é um importante parâmetro a ser analisado.

Foram executados três voos, variando a altitude de voo entre 35m (menor altitude possível sem colisão com os elementos da Catedral), 50m (altitude intermediária comumente utilizada) e 70m (altitude próxima a máxima recomendada para o sensor, de 80m), mas mantendo as demais configurações conforme definidas pelos resultados da primeira etapa (Quadro 4).

Quadro 4- Padrões definidos nos planos de voo da primeira etapa metodológica.

Voo	Altitude (m)
1º	35
2º	50
3º	70

Fonte: Acervo próprio.

A avaliação dos resultados obtidos na segunda etapa também foi realizada por inspeção visual, procurando-se identificar a nuvem com maior consistência de descrição do objeto de interesse.

Os dados coletados foram pré-processados no software proprietário *DJI Terra* (<https://enterprise.dji.com/pt-br/dji-terra>). Este software é responsável pelo registro da nuvem

de pontos, que originalmente estão em formato fechado *.LDR*, com as coordenadas corrigidas em relação ao RTK, gerando arquivos integrados no formato *.LAS*, que a partir de então podem ser abertos e editados em outros *softwares* pagos ou gratuitos, como o *CloudCompare*. Outros formatos possíveis de exportação são *PNTS*, *PLY*, *PCD*, *S3MB*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na primeira etapa, procurou-se avaliar a melhor configuração de disparo e registro do retorno do pulso laser, para a coleta de dados por voo oblíquo.

Conforme previsto no Quadro 3, foram realizados dois voos, sendo um voo com o sensor *Zenmuse L1* configurado no modo repetitivo, com coleta do primeiro retorno do pulso laser (Figura 5) e um voo configurado no modo não repetitivo, com coleta dos dois primeiros retornos do pulso laser (Figura 6).

Estes voos mantiveram a altitude de voo fixa em 50 metros e as demais configurações no padrão *default*. Após o pré-processamento dos arquivos (*.LDR*) no *DJI Terra*, a nuvem de pontos resultante (*.LAS*) sofreu a delimitação da área de interesse no *CloudCompare*, não sendo realizado qualquer processo complementar.

O primeiro voo da primeira etapa consumiu um tempo de 15'42", com uma amostragem de 479 pontos/m², percorrendo um trajeto de 1.158 metros, gerando uma nuvem de 60.293.587 pontos. O recorte da área de interesse nesta nuvem inicial reduziu sua dimensão para 16.204.229 pontos (Figura 5).

O segundo voo da primeira etapa teve uma duração de 17'37", percorrendo um trajeto de 1.160 metros, com uma amostragem de 692 pontos/m². Foram coletados ao todo 84.069.157 pontos, dos quais 30.093.878 descrevem a área de interesse (Figura 6).

Figura 5 – Visualização por dois pontos de vista (a,b) da nuvem de pontos do primeiro voo oblíquo laser no modo repetitivo com registro de um retorno.



Fonte: Acervo próprio.

Ao inspecionar visualmente a integridade das nuvens de pontos presentes nas Figuras 5 e 6, fica evidente que o modo de disparo não repetitivo (Figura 6), com registro dos dois primeiros retornos do pulso laser, contém mais detalhes na descrição da edificação, sendo possível notar a diminuição de buracos na nuvem de pontos, se comparada a nuvem resultante do modo repetitivo (Figura 5).

Figura 6 – Visualização por dois pontos de vista (a,b) da nuvem de pontos do segundo voo oblíquo laser no modo não repetitivo com registro de dois retornos



. Fonte: Acervo próprio.

A melhoria nos resultados com a coleta realizada no modo não repetitivo fica evidente ao vistoriar os trechos da nuvem de pontos que descrevem as laterais da Catedral (Figura 7). Há uma melhoria substancial na descrição do contorno dos elementos da fachada.

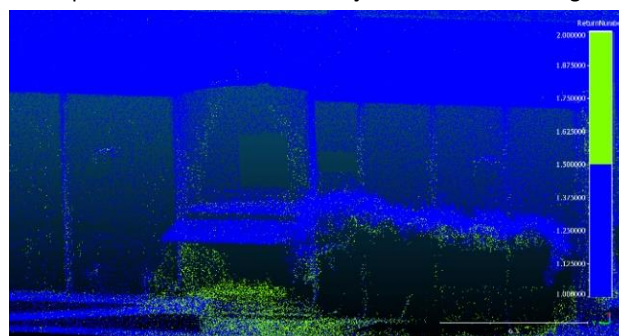
Figura 7 – Nuvem de pontos do sistema LiDAR no (a) modo repetitivo com registro do primeiro pulso e no (b) modo não repetitivo com registro dos dois primeiros pulsos.



Fonte: Acervo próprio.

A Figura 8, ajuda a entender o quanto o registro dos dois retornos do pulso laser colaborou nestes resultados. Nesta imagem os pontos em azul são os primeiros retornos, enquanto os pontos amarelos são os segundos. Nas áreas com oclusões, como áreas abaixo de vegetação ou ocultas por elementos da fachada, só há resposta do segundo pulso laser. Isto ocorre quando o pulso inicial atinge uma camada superficial, parte da energia é refletida de volta ao sensor enquanto o restante penetra mais fundo, até ser refletido por um segundo ponto.

Figura 8 – Nuvem de pontos do 2º voo com coloração de na ordem de registro do retorno.



Fonte: Acervo próprio.

Definido que o melhor método de coleta dos dados laser no sensor *Zenmuse L1* é no modo não repetitivo com registro dos dois primeiros retornos do pulso, iniciou-se a segunda etapa da metodologia, que procurou determinar a altitude de voo mais adequada.

Para a segunda etapa de campo foram realizados os três voos, conforme descrito no Quadro 4, gerando as coletas descritas no Quadro 5.

Quadro 5- Detalhamento dos voos da segunda etapa.

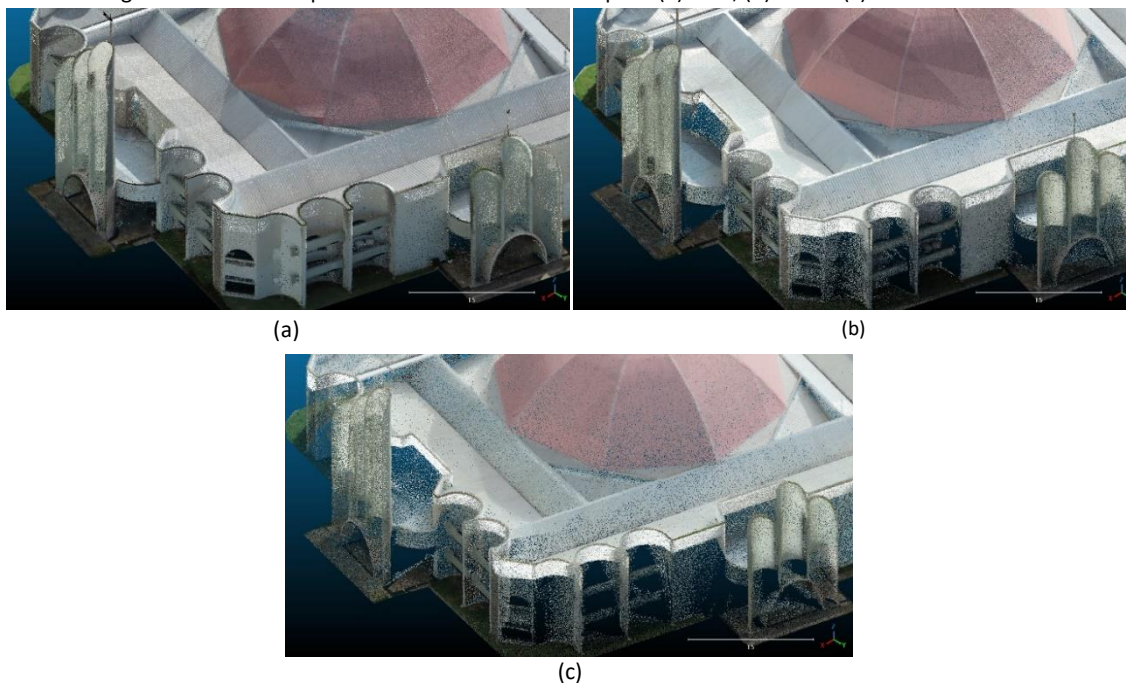
Voo	Altitude de voo	Tempo de voo	Extensão do voo	Pontos coletados
1º	35m	23:09	2143m	171.673.577
2º	50m	17:37	1160m	84.069.157
3º	70m	14:04	520Mm	29.764.813

Fonte: Acervo próprio.

Com a segmentação da área de interesse, houve a esperada redução na quantidade pontos da nuvem. No primeiro voo a nuvem reduziu de 171.673.577 pontos para 55.136.910 pontos, enquanto no segundo voo a redução foi de 84.069.157 pontos para 55.136.910 pontos, e por fim, no terceiro voo, reduziu-se de 29.764.813 pontos para 16.366.755 pontos.

Na inspeção visual das nuvens de pontos resultantes (Figura 9), é possível verificar que o aumento da altitude de voo provocou degradação na nuvem de pontos.

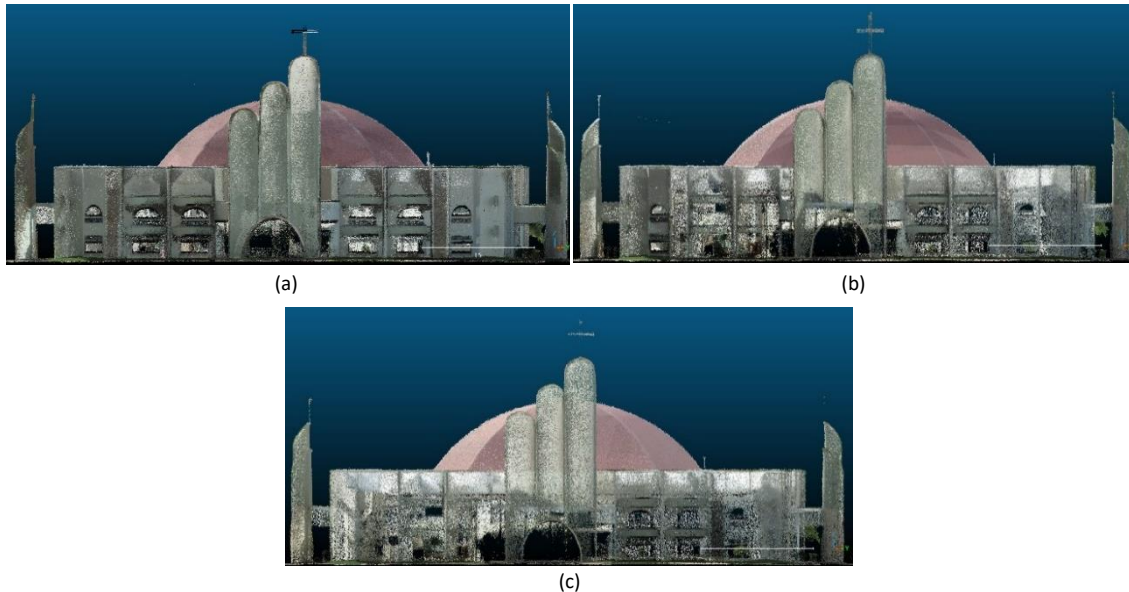
Figura 9 – Nuvem de pontos resultante do voo oblíquo a (a) 35m, (b) 50m e (c) 70m de altitude.



Fonte: Acervo próprio.

Ao inspecionar as áreas laterais da Catedral, observou-se que a nuvem de pontos inicial, capturada a uma altitude de 35 metros, possibilitava uma clara visualização do contorno das janelas, como demonstrado na Figura 10a. No entanto, à medida que a altitude aumentava, a definição da nuvem de pontos diminuía progressivamente, resultando em uma perda de detalhes significativa, a ponto de não ser possível discernir sequer o número de janelas na fachada, conforme ilustrado na Figura 10c.

Figura 10 – Nuvem de pontos resultante do voo oblíquo a (a) 35m, (b) 50m e (c) 70m de altitude.

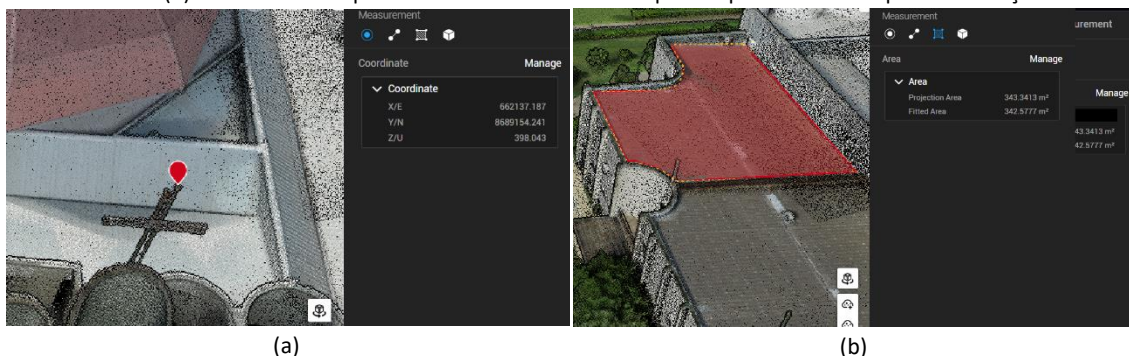


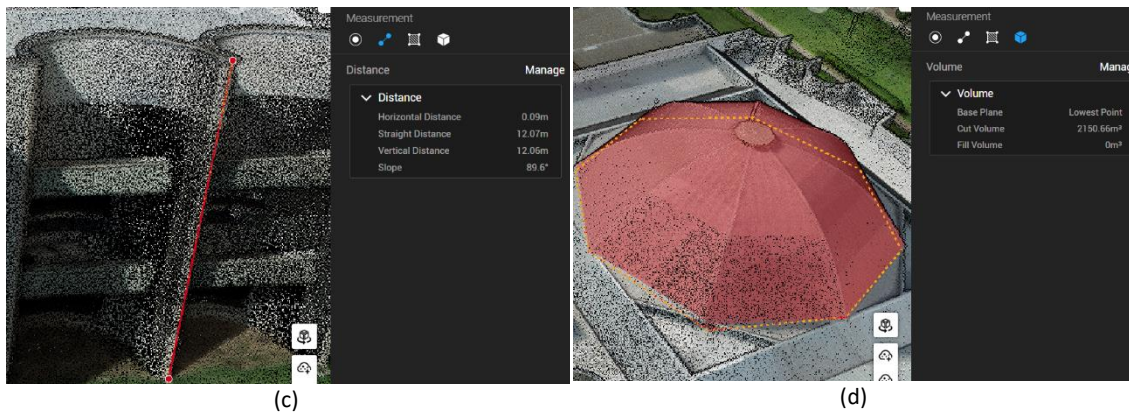
Fonte: Acervo próprio.

A segunda etapa de campo revelou que a altitude de voo de 35 metros produziu uma nuvem de pontos significativamente mais consistente em comparação com as outras altitudes testadas. Assim, foi possível determinar que a configuração ótima para voos oblíquos na coleta de dados de fachadas é a utilização do modo não repetitivo, capturando os dois primeiros retornos do pulso laser, e mantendo a altitude de voo o mais próxima possível do limite superior do objeto em estudo. Essa abordagem maximiza a qualidade e a densidade dos dados coletados, vital para análises detalhadas.

Com estas configurações ajustadas, a nuvem de pontos resultante do primeiro voo da segunda etapa, conforme ilustrado nas Figuras 9a e 10a, mostra-se extremamente densa, com uma qualidade tal que os pontos parecem formar uma superfície sólida. Esta densidade e precisão permitem a obtenção direta de coordenadas de pontos específicos, medidas de distâncias, cálculos de áreas e volumes diretamente na nuvem de pontos, utilizando o software DJI Terra, conforme Figura 11.

Figura 11 – Ferramentas do *DJI Terra* para obter na nuvem de pontos (a) coordenadas, medidas de (b) distâncias, (c) áreas e (d) volumes. Destaque em vermelho na nuvem de pontos para área da respectiva medição.





Fonte: Acervo próprio.

À medida que avançamos na exploração das capacidades do sensor *LiDAR Zenmuse L1*, torna-se evidente a importância de ajustes meticulosos nos padrões de voo e configurações de digitalização para capturar dados precisos de estruturas complexas. O estudo de caso destaca a capacidade do modo não repetitivo de coleta de dados para minimizar lacunas nas nuvens de pontos, o que é crucial para a documentação detalhada e a preservação digital de patrimônios arquitetônicos. Ao utilizar o registro de dois retornos do pulso laser, conseguimos uma representação mais rica e detalhada das características físicas da edificação, o que é especialmente útil em áreas de difícil acesso ou com visibilidade reduzida devido à oclusão por elementos arquitetônicos. Este método não só melhora a densidade dos dados coletados, como também amplia nossa compreensão da interação dos pulsos laser com diferentes superfícies e materiais, fornecendo insights valiosos para futuras investigações e aplicações em projetos de conservação.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo explorar um ecossistema comercial de mapeamento da empresa DJI em aplicações de captura de fachada para o registro de edificações. Os equipamentos envolvidos são o sensor *DJI Zenmuse L1* e a plataforma *DJI Matrice 300 RTK*.

A pesquisa foi organizada em duas etapas que, de forma complementar, ajudaram a definir as configurações ideais para a coleta de dados a laser de edificações por voos oblíquos. A primeira etapa demonstrou que, nestas condições, a melhor configuração para o sensor *Zenmuse L1* é o disparo não repetitivo com coleta de dois pulsos de retorno. Já a segunda etapa, mais relacionada à plataforma *Matrice 300 RTK*, demonstrou que a altitude de voo afeta significativamente os resultados de voos oblíquos, indicando que a altitude ideal seja a mais próxima possível da altura máxima da edificação que se deseja capturar os dados.

Neste estudo de caso, a nuvem de pontos resultante da captura no modo não repetitivo com registro dos dois primeiros retornos, voando a 35 metros de altitude, gerou uma nuvem de pontos tão densa que permitia a interpretação visual do cenário, além de permitir a realização de medidas diretamente na nuvem pelo software *DJI Terra*.

A importância do registro de fachadas de edificações reside na preservação, manutenção e restauração do patrimônio arquitetônico. Esse processo proporciona uma base

precisa para intervenções e garante a documentação detalhada das características arquitetônicas, essencial para ações de conservação. A tecnologia LiDAR embarcada em VANTs oferece uma solução eficaz para capturar dados de alta resolução, superando limitações dos métodos tradicionais e permitindo a documentação detalhada de áreas de difícil acesso.

Os resultados desta pesquisa demonstraram a viabilidade e potencialidade do ecossistema da DJI para aplicações de registro de edificações. Como sugestão para trabalhos futuros, indica-se o processamento da nuvem de pontos a laser para a geração de um modelo tridimensional da Catedral, bem como a realização de planos de voo com diferentes inclinações para o sensor LiDAR.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao LAID, Laboratório da Rede SpinLab, pela estrutura e suporte prestado na execução desta pesquisa. Aos bolsistas (Edital PROBIC 001/2023 e Edital PIBIC/CNPq 006/2023) Henrique Luis Fontana, Pamella Aparecida Machado Silva e Sarah Lirio Paim. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALMEIDA, M. F.; PIZZAIA, A. P. P. **Fotogrametria aplicada ao registro do patrimônio arquitetônico - Estudo de Caso: Grand Hotel (Araraquara - SP)**. In: 3º Simpósio Científico 2019 do ICOMOS/Brasil, 2019, Belo Horizonte. 3º Simpósio Científico 2019 do ICOMOS/Brasil, 2019.

BALLESTEROS RUIZ, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. **Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico**. Ambiente Construído, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 119–137, 2020. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/95857>>. Acesso em: maio. 2024.

BRAGHIROLI, guilherme; SOARES, Maria Carolina; OLIVEIRA, Francisco Henrique de. **O Uso Da Fotogrametria Com Aeronave Remotamente Pilotada Para Levantamento De Fachadas**. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE - Florianópolis - SC, Brasil. ISBN 9778-65-89159-04-9. 2 a 5 de Abril de 2023. Disponível em: <<https://proceedings.science/p/164770?lang=pt-br>>. Acesso em: maio 2024.

COGIMA, Camila Kimi. **BIM aplicado ao patrimônio histórico baseado em levantamento híbrido com multisensores**. Limeira, SP : [s.n.]. Orientador: Eloisa Dezen-Kempter. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia. 2019.

COSTA, R. P.; FERNANDES, L. L. A.; MUTA, L. F.; ISATTO, E. L.; COSTA, D. B. **Uso da fotogrametria para obtenção de modelo 3D de edificações a partir da captura de imagens com veículo aéreo não tripulado (VANT)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19, 2022, Canela. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1.

EMELIANOV, S.; BULGAKOW, A.; SAYFEDDINE, D. **Aerial Laser Inspection of Buildings Facades Using Quadrotor**. Journal: Procedia Engineering, 2014, ISSN: 1877-7058. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814019043>>. Acesso em: maio 2024.

FRANCO JÚNIOR, Júlio César. **Modelagem BIM de infraestrutura urbana a partir de levantamentos aéreos com drone**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-12032020-150726/>. Acesso em: maio 2024.

GARCIA, V. C.; GUILLEN SALAS, J. C.; CAIXETA, E. M. M. P. **Tecnologias de código aberto para registro fotogramétrico do patrimônio arquitetônico**. Revista Jatobá, Goiânia, v. 5, 2023. DOI: 10.5216/revjat.v5.76955. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/revjat/article/view/76955>>. Acesso em: maio. 2024.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ª edição, São José dos Campos, SP: Parentese, 2009.

LIMA, MOEMÍ BARBOSA; JÚNIOR, ALBERTO C. L.; RUIZ, RAMIRO D. B. et al. **Inspeção de manifestações patológicas de fachadas em edifício de grande altura com VANT**. Florianópolis, SC, 2020. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/2952/21743a5761dfdf7877a9b6fc0f106ee58ca.pdf>>. Acesso em: abr. 2024.

ROOM, M. H. M.; AHMAD, A. **Fusion Of Uav-Based Lidar And Mobile Laser Scanning Data For Construction Of 3d Building Model**. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-4/W6-2022, 297–302, 2023. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W6-2022-297-2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W6-2022-297-2023>>. Acesso em: maio 2024.

SOUSA, L. A. S.; CENTENO, J. A. S. **Modelagem Geométrica de Fachadas usando Nuvens de Pontos LiDAR**. Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 73, n. 3, p. 870–884, 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n3-57808. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/57808>>. Acesso em: 19 maio. 2024.

STRONER, Martin; URBAN, Rudolf; LINKOVÁ, Lenka. **A New Method for UAV Lidar Precision Testing Used for the Evaluation of an Affordable DJI ZENMUSE L1 Scanner**. Department of Special Geodesy, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague, Thákurova, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/13/23/4811>>. Acesso em: abr. 2024.

TONDELO, Patricia G.; BARTH, Fernando. **Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT**. Campinas, SP, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/865281>>