

Licença



Este trabalho está licenciado sob uma licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). Fonte:

<https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/book/202>.

Referência

SILVA, Lenildo Santos et al. **Fotogrametria com imagens adquiridas com drones: do plano de voo ao modelo 3D**. Brasília, DF: LaSUS FAU: Editora Universidade de Brasília, 2022. 78 p. DOI:

<https://doi.org/10.29327/563260>. Disponível em:

<https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/book/202>.

FOTOGRAMETRIA COM IMAGENS ADQUIRIDAS COM DRONES

Do plano de voo ao modelo 3D

Lenildo Santos Silva
Vanda Alice Garcia Zanoni
Valmor Cerqueira Pazos
Lara Monalisa Alves dos Santos
Tatiana Renata Pereira Jucá



	Universidade de Brasília – UnB
Reitora: Vice-Reitor: Decana de Pesquisa e Inovação: Decanato de Pós Graduação:	Márcia Abrahão Moura Henrique Huelva Maria Emília Machado Telles Walter Lucio Remuzat Rennó Junior
Diretor da FAU Vice-Diretoria da FAU Coordenadora de Pós-Graduação: Coordenadora do LaSUS:	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU Marcos Thadeu Queiroz Magalhães Cláudia da Conceição Garcia Caio Frederico e Silva Marta Adriana Bustos Romero
Diretor da FT Vice-Diretor da FT Chefe do Departamento de Engenharia Civil:	Faculdade de Tecnologia – FT Márcio Muniz de Farias Alexandre Ricardo Soares Romariz Cláudia Márcia Coutinho Gurjão
Diagramação: Capa: Revisão textual:	Thalita Perfeito Juliana de Souza Bezerra Lucas Correia Aguiar
Conselho editorial	Abner Luis Calixter Ana Carolina Cordeiro Correia Lima Caio Frederico e Silva Daniel Richard Sant’Ana Ederson Oliveira Teixeira Humberto Salazar Amorim Varum Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa Marta Adriana Bustos Romero Tiago Montenegro Góes
Editores responsáveis:	Daniel Richard Sant’Ana Humberto Salazar Amorim Varum Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa
Autores:	Lenildo Santos Silva Vanda Alice Garcia Zaroni Valmor Cerqueira Pazos Lara Monalisa Alves dos Santos Tatiana Renata Pereira Jucá

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Fotogrametria com imagens adquiridas com drones:do plano de voo ao modelo 3D [livro eletrônico] / Lenildo Santos Silva...[et al.]. -- Brasília, DF : LaSUS FAU:

Editora Universidade de Brasília, 2022. PDF.

Outros autores : Vanda Alice Garcia Zaroni, Valmor Cerqueira Pazos, Lara Monalisa Alves dos Santos, Tatiana Renata Pereira Jucá.

Bibliografia. ISBN 978-65-84854-00-0

1. Aeronaves 2. Drones 3. Fotogrametria aérea 4. Inovação tecnológica 5. Modelagem 3D 6. Satélites artificiais no sensoriamento remoto I. Silva, Lenildo Santos. II. Zaroni, Vanda Alice Garcia. III. Pazos, Valmor Cerqueira. IV. Santos, Lara Monalisa Alves dos V. Jucá, Tatiana Renata Pereira.

22-108178

CDD-660.02

Índices para catálogo sistemático:

1. Tecnologia 660.02 Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

1ª EdiçãoFAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / LaSUS – Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e ao Urbanismo.

Caixa Postal 04431, CEP 70842-970 – Brasília DF. Telefones: +55 61 3107-7458. E-mail: lasus@unb.br / www.lasus.unb.br.

SUMÁRIO

PARTE I

FUNDAMENTOS DA AQUISIÇÃO DE IMAGENS POR *DRONE* PARA GERAR PRODUTOS DE FOTOGRAMETRIA: DO PLANO DE VOO AO MODELO 3D

1. Introdução
 - 1.1 Legislação de uso de *drones*
 - 1.2 Projeto μ VANT UnB
2. Fotogrametria
 - 2.1 Câmeras fotográficas
3. Planejamento e execução da missão
 - 3.1 Captura de imagens para fotogrametria
 - 3.2 Pontos de apoio em campo
 - 3.3 Execução dos voos
4. Processamento de dados
 - 4.1 Avaliação do voo
 - 4.2 Sistemas de coordenadas
 - 4.3 Orientação interior
 - 4.4 Calibração da câmera
 - 4.5 Coordenadas e ângulos de atitude nas fotografias
5. Processando os dados de campo
 - 5.1 Pós-processamento
 - 5.2 Geração dos resultados
6. Aplicações

PARTE II

INSPEÇÃO COM *DRONE* EM SISTEMAS DE COBERTURA

- 7. Estudo aplicado na cobertura da Biblioteca Central da UnB
 - 7.1 Abordagem metodológica
 - 7.2 Planejamento da inspeção com *drone*
 - 7.3 Aquisição dos dados e parâmetros para execução dos voos
 - 7.4 Protocolo de inspeção
 - 7.5 Resultados da primeira etapa do experimento – aquisição de imagens
 - 7.6 Resultados da segunda etapa do experimento – processamento das imagens (pós-voo)
 - 7.7 Análise do experimento – inspeção com *drone* no sistema de cobertura
 - 7.8 Considerações sobre o estudo aplicado na cobertura da Biblioteca Central da UnB

PARTE III

INSPEÇÃO COM *DRONE* EM SISTEMAS DE FACHADA DE EDIFÍCIO ALTO

- 8. Estudo Aplicado na fachada-cortina do Edifício Sede dos Correios
 - 8.1 Delineamento metodológico
 - 8.2 Planejamento da inspeção com *drone*
 - 8.3 Aquisição e processamento das imagens
 - 8.4 Análise do experimento – inspeção com *drone* no sistema de fachada-cortina
 - 8.5 Considerações sobre o estudo aplicado na fachada-cortina do Edifício Sede dos Correios

PARTE I

**FUNDAMENTOS DA AQUISIÇÃO
DE IMAGENS POR *DRONES*
PARA GERAR PRODUTOS DE FOTOGRAMETRIA:
DO PLANO DE VOO AO MODELO 3D**

1. INTRODUÇÃO

Avanços tecnológicos recentes, sobretudo na última década, nas áreas de conhecimento relacionadas à aquisição e transmissão de imagem, aos acumuladores de energia, aos motores elétricos tipo *brushless*, miniaturização de sensores tipo magnetômetro, giroscópio, acelerômetro e a evolução dos Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite Systems* – GNSS) viabilizaram o desenvolvimento de Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft* – RPA), popularmente conhecida como *drone*.

Um registro da utilização de *drones* citado na literatura remete ao ano de 1917 com o Engenheiro inglês Archibald Low (1888-1956) que demonstrou a possibilidade de controlar uma aeronave guiada por rádio. No entanto, os diversos problemas encontrados nas pioneiras experimentações levaram a Força Aérea Britânica a perder o interesse nessa tecnologia. Posteriormente, em 1960, os Estados Unidos da América (EUA) utilizaram *drones* controlados por rádio para executar missões de reconhecimento militar, captando imagens aéreas (HERREROS, 2015). Nos dias atuais, os *drones* se popularizaram bastante, com diversos modelos, faixas de preço e diferentes usos, empregados desde as atividades de recreação até a execução de missões de reconhecimento civil e militar controladas por GNSS.

Os assuntos aqui tratados envolvem o uso de *drones* como ferramenta de captura de imagens para gerar produtos de fotogrametria para aplicação em diversas áreas do conhecimento. Com foco na área de arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO), os experimentos aqui apresentados visam, fundamentalmente, à obtenção e ao processamento de imagens para alimentar algoritmos de visão computacional e à geração de nuvens de pontos para a construção de modelos 3D das cenas e objetos fotografados.

Assim delineados, os assuntos versam desde o planejamento das missões para se obter os dados primários, tipicamente fotografias, ângulos de altitude e pontos de apoio em campo, até a geração de resultados, tais como Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT) e Nuvem de Pontos e Ortomosaico (NPO). Para o processamento dos dados, utiliza-se o *Agisoft Metashape* – *software* que realiza processamento fotogramétrico de imagens digitais e gera dados espaciais 3D para serem usados em aplicativos GIS, documentação de patrimônio cultural e produção de efeitos visuais, bem como para medições indiretas de objetos em várias escalas (AGISOFT LLC., 2021). Faz parte ainda do escopo deste livro a verificação

de exatidão cartográfica dos produtos gerados, utilizando o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), conforme Decreto-Lei 89.817, de 20 de junho de 1984.

A grande vantagem do uso de *drones* é seu baixo custo de aquisição, manutenção e operação quando comparado às alternativas tradicionais, tais como voos aerofotogramétricos realizados com aeronaves tripuladas. Quanto à diversidade dessas aeronaves, segundo Amorim *et al.* (2012) e Munaretto (2020), existem *drones* com autonomias e capacidades de carga diferenciadas, com mecanismos de propulsão elétricos ou a partir de combustíveis líquidos, do tipo asa rotativa (helicópteros ou multirotores), asa fixa como os aviões convencionais, ou híbridos, podendo ser operados por controle remoto ou executar missões de voo programadas previamente. Cabe registrar aqui a publicação de Munaretto (2020), primeiro livro que trata de *drones* no Brasil, que além de apresentar uma visão geral sobre o histórico, tecnologia e seus usos, traz assuntos referentes às legislações nacionais e internacionais e à terminologia RPA.

Uma das características dos *drones* é a expressiva miniaturização que se consegue do conjunto como um todo, em função das dimensões reduzidas dos sistemas de propulsão, alimentação e navegação. As inovações tecnológicas dos sensores, particularmente quanto à sua miniaturização para diminuir a carga útil a ser transportada, permitiu equipar os *drones* com uma ampla gama de sensores e ferramentas: câmeras digitais de alta resolução, câmeras térmicas de infravermelho, câmeras multiespectrais (sensores passivos), lidar – detecção de imagens a laser, entre outros (DAINELLI *et al.*, 2021). Por suas características operacionais e pequenas dimensões, podem voar a baixa altura, obtendo fotos aéreas e vídeos de alta resolução espacial e nitidez da condição local (“*as is*”) em qualquer época do ano e, especialmente, em áreas de difícil acesso. Por esse motivo, a difusão e utilização dessa tecnologia em diversas áreas se mostra muito adequada e promissora.

1.1. Legislação de uso de *drones*

Embora o desenvolvimento de *drones* para uso civil venha ocorrendo de maneira maciça há de uma década, principalmente *drones* de pequeno porte, as legislações para uso comercial a nível mundial são relativamente recentes.

No Brasil, a primeira legislação foi publicada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) - Instrução Suplementar (IS) 21-002 - em outubro de 2012, estabelecendo as orientações para emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) com base no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 21 – RBAC para Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). Observa-se que nessa época a nomenclatura oficial ainda era VANT e eram permitidos apenas voos experimentais com os propósitos de

pesquisa e desenvolvimento, treinamento de tripulações e/ou pesquisa de mercado, ou seja, era vedado no Brasil o uso comercial de *drones*.

Em maio de 2017, a ANAC publicou o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBAC–E nº 94/2017) que define Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft* – RPA) como sendo o termo oficial para uso não recreativo. A legislação brasileira em vigor para operação comercial de RPA é a RBAC–E nº 94, e tem como objetivo principal tornar viáveis as operações desses equipamentos, preservando-se a segurança das pessoas. O estabelecimento das regras também a visa contribuir para promover a promoção do desenvolvimento sustentável e seguro para o setor.

O regulamento em vigor foi amplamente discutido com a sociedade, associações e empresas interessadas, e com outros órgãos públicos. Foram realizados dois *workshops* e os técnicos da ANAC participaram de diversos eventos. A proposta ficou em audiência pública (AP nº 13/2015) por 60 dias, com sessão presencial. Ao final, foram recebidas, ao todo, 277 contribuições. Destacam-se como pontos principais dessa legislação a divisão das aeronaves em classes de acordo com o peso, a proibição de voos autônomos sem a possibilidade de intervenção de um operador 100% do tempo e a exigência de registro, autorização, licença e habilitação de acordo com a classe da aeronave.

No Brasil, o termo *drone*, embora não apareça na legislação, é utilizado em publicações de orientação da própria ANAC. Outro termo bastante utilizado até a publicação da legislação era Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), entretanto, atualmente, a ANAC entende que esse termo se refere a aeronaves com voo totalmente autônomo, sem intervenção do piloto, o que é proibido no Brasil. Utiliza-se neste livro, sem fazer distinção, os termos RPA e *drone* para se referir ao dispositivo que transporta o sensor de imageamento.

1.2. Projeto μ VANT UnB

Em 2011, foi criado o Projeto μ VANT – Micro Veículos Aéreos Não Tripulados como uma iniciativa pioneira de parceria entre o Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (ENC/FT/UnB), e o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). No âmbito da cooperação institucional, o objetivo desse projeto foi desenvolver *drones* com características adequadas às especificidades das ações do DNPM, visando ao aumento da eficiência das atividades de fiscalização da Coordenação de Ordenamento da Extração Mineral (CORDEM) e da Diretoria de Fiscalização (DIFIS).

Nessa cooperação foi desenvolvida uma plataforma composta por Micro Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), de asa fixa, movidos a energia elétrica, para aquisição de imagens e vídeos utilizados na fiscalização das atividades de mineração não autorizadas. Posteriormente, em 2016, iniciou-se um projeto de cooperação com o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), com o objetivo principal de realizar capacitação de servidores do órgão na operação dos equipamentos e tratamento de imagens. Para tal, foi elaborado material didático instrucional para o curso de capacitação que deu origem a este livro.

O Projeto μ VANT é pioneiro junto à Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) na obtenção da primeira autorização para uso de frequências na operação de *drones* no Brasil (Ato N° 3.104, DE 29 DE MAIO DE 2013). O Projeto obteve ainda, junto à ANAC, o segundo certificado para autorização de voo experimental no Brasil. A [Figura 1.1](#) mostra a segunda aeronave que recebeu CAVE no Brasil para uso experimental e pesquisa científica. No âmbito do projeto, foi certificada ainda uma outra aeronave, apresentada na [Figura 1.2](#).

Figura 1.1 – Segunda aeronave certificada no Brasil



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Figura 1.2 Outra aeronave certificada no Projeto μ VANT



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Como parte do projeto em questão, as equipes da UnB e do DNPM contribuíram na construção da legislação atual, participando de reuniões promovidas pela ANAC e fazendo diversas sugestões na fase de consulta pública, além da participação em eventos promovidos por entes da comunidade de *drones* no Brasil.

O Projeto μ VANT – Micro Veículos Aéreos Não Tripulados encontra-se atualmente em execução no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (ENC/FT/UnB) e o conhecimento adquirido e consolidado contribui fundamentalmente para a elaboração do presente livro.

2. FOTOGRAMETRIA

Diversos trabalhos publicados apresentam o conceito de fotogrametria com variações e nuances, porém relativamente próximos uns dos outros. De acordo com a *International Society for Photogrammetry Remote Sensing* (ISPRS), a fotogrametria é a derivação de medidas precisas e confiáveis a partir de fotografias; e sensoriamento remoto é a obtenção de informações sobre um objeto a partir de um dispositivo que não está em contato com esse objeto (GRANSHAW, 2020).

Nessas áreas do conhecimento, merece destaque a evolução tanto do ponto de vista do aumento de resolução quanto em relação à enorme miniaturização de sensores para obtenção de imagens, em diversas bandas do espectro eletromagnético. Essas inovações têm propiciado o desenvolvimento de muitas aplicações em que

as imagens digitais são a matéria-prima nas quais aplicam-se, sobretudo, algoritmos de Processamento Digital de Imagens (PDI) e Visão Computacional (VC). Com a participação cada vez maior da Visão Computacional (VC) na fotogrametria e a sua aplicação em diversas áreas do conhecimento, cabe ressaltar que muitos termos utilizados nas duas ciências estão sendo modificados e/ou unificados.

Com o rigor da ISPRS, o eixo estruturante do conteúdo abordado neste livro é o sensoriamento remoto e o conceito adotado de fotogrametria como sendo a ciência e a tecnologia para se obter informações confiáveis a partir de fotografias. Essas informações podem ser medidas de objetos, modelo digital de terreno, coordenadas de pontos, modelagem de edificações, estado de conservação do ambiente construído, danos em estruturas, entre outras tantas. Em geral, não se trabalha com fotografias individuais, mas com o resultado da aplicação de algoritmos de PDI e VC sobre um conjunto de fotografias, gerando resultados tais como: nuvens de pontos, ortomosaicos, modelos digitais de objetos, modelos digitais de elevação, modelos digitais de terrenos, entre outros.

A fotogrametria pode ser classificada a partir de diversos aspectos, tais como distância ao objeto, tipos de objetivo, tamanho do objeto a ser modelado, equipamentos utilizados, entre uma série de outros, conforme pode ser visto, por exemplo, em Andrade (2003), Coelho e Brito (2007) e ASP (1980). Cabe ressaltar que a fotogrametria aqui estudada tem como interesse qualquer forma de fotogrametria em que as imagens são capturadas por câmeras fotográficas de pequeno formato, embarcadas em pequenos veículos aéreos não tripulados, e se aplica também a diversos casos de fotogrametria a curta distância (câmera fotográfica operada manualmente). Assim, podemos contemplar desde o registro de pegadas de dinossauros em sítios arqueológicos até a modelagem de grandes extensões para mapeamento de terrenos e de obras civis. Destaca-se ainda outra camada de trabalho que é a extração de informações úteis a partir dos produtos da fotogrametria como inspeções visuais, geração de seções, vetorização de feições, cálculo de volumes e áreas.

2.1. Câmeras fotográficas

Câmeras utilizadas em levantamentos aerotransportados tripulados, geralmente, são de grande formato e métricas, isso quer dizer que essas câmeras possuem a imagem captada de modo invertido horizontalmente e verticalmente, possuem filmes ou sensores de grandes dimensões, além de marcadores fiduciais, grande estabilidade do pano focal e padrões de excelência. Tais características resultam em imagens com altíssima qualidade obtidas em câmeras grandes e caras.

As pesquisas que ilustram e exemplificam os conteúdos aqui apresentados utilizaram câmeras de pequeno formato e não métricas, isto é, embora sejam câmeras selecionadas por critérios de qualidade dos resultados, quando comparadas a outras de mesma categoria, não possuem características métricas, têm baixo peso e custo. Os experimentos apresentados utilizaram fotografias obtidas com as câmeras Sony RX-100, Cannon S100 e Sony Alpha 5000, mostradas na [Figura 2.1](#).

Figura 2.1 –

Câmeras utilizadas: **(a)** Sony RX-100, **(b)** Cannon S100 e **(c)** Sony Alpha 5000



Fonte: www.DPreview.com

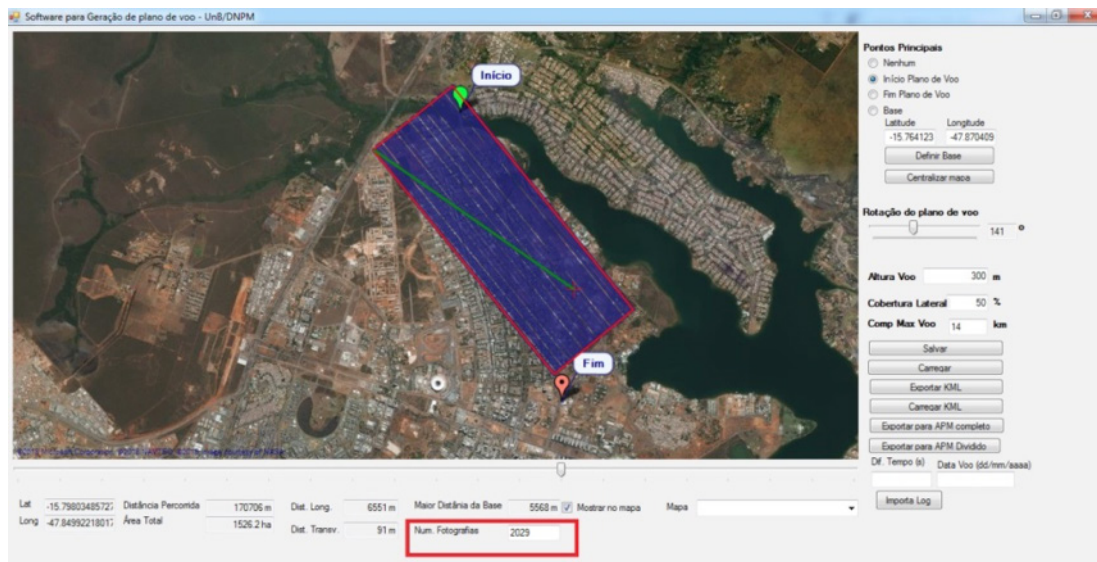
Nas pesquisas realizadas, foi utilizada também a câmera do multirrotor Phantom 4, a qual possui as seguintes características:

Sensor	1/2.3" CMOS - Effective <i>pixels</i> :12.4 M
Lens	FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 focus at ∞
Image Size	4000x3000
Electronic Shutter Speed	8 - 1/8000 s
Video Recording Modes	UHD: 4096×2160 (4K) 24
Video	MP4, MOV (MPEG-4 AVC/H.264)

Quando se compara a fotogrametria tradicional executada por aeronaves tripuladas com os levantamentos realizados por *drones*, destaca-se o fato de os levantamentos gerarem como informação primária, no primeiro caso, uma pequena quantidade de grandes fotografias e, no segundo caso, uma grande quantidade de pequenas fotografias. Como exemplo mostrado na [Figura 2.2](#), cita-se o levantamento realizado com aeronave tripulada na região da UnB, indo até a ponte do Bragueto, em Brasília/DF.

Nesse levantamento foram necessárias 16 fotografias para cobrir essa região, com aproximadamente 5km², e, no caso de levantamento com *drone*, foram necessárias 2.000 fotografias, conforme pode ser observado na [Figura 2.2](#), para uma resolução de 15 cm/*pixel* (a mesma do voo tripulado), utilizando a câmera Sony RX-100.

Figura 2.2 – Número de fotografias para mapear a região da UnB com *drone*



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Avaliando a grande diferença entre o número de imagens obtidas pelos métodos tradicionais já consolidados para fotogrametria com câmeras métricas, para o caso de imagens obtidas com *drones*, justifica-se um dos motivos principais para se utilizar câmeras não métricas de pequenos formatos. Para tratar o enorme volume de dados gerados pelos *drones*, utilizam-se métodos de Processamento Digital de Imagem e, principalmente, algoritmos de Visão Computacional.

3. PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DA MISSÃO

Grande parte do sucesso do trabalho de fotogrametria com imagens obtidas por *drones* está intimamente ligado ao planejamento da missão, sobretudo pelo fato de

o trabalho em campo envolver equipamentos e pessoas e, portanto, ser uma hora de trabalho com custo relevante. Além disso, por possuírem em geral pequenos tamanhos e pesos, esses equipamentos são bastante suscetíveis a instabilidades advindas das condições de execução da missão, as quais muitas vezes envolvem trabalho em situações climáticas adversas, tais como vento, sol, chuva, poeira, entre outros. Todos esses fatores podem reduzir significativamente a eficiência na execução do trabalho em campo. Em suma, é fundamental um bom planejamento desse trabalho, levando-se em conta todas as possíveis condicionantes climáticas do local de voo, a fim de se obter maior eficiência e evitar perdas previsíveis, que podem ser significativas no custo e na qualidade dos resultados.

Antes de se iniciar o planejamento da missão, é necessário ter um conhecimento detalhado do equipamento a ser utilizado, qual seja, tanto a aeronave quanto o sensor de imageamento, e quais os objetivos e resultados esperados. Há abaixo uma lista com principais informações necessárias para se planejar a missão.

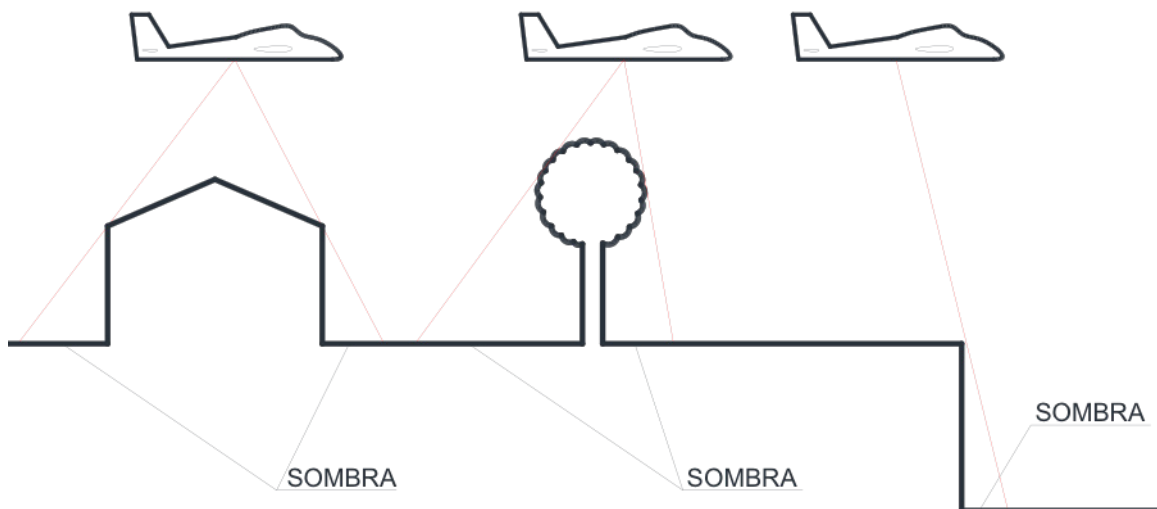
Parâmetros para planejamento dos voos

- ▶ Definição do uso final da imagem e dos modelos digitais gerados (inspeção visual, obtenção de medidas para avaliação, cartografia com verificação PEC, levantamento planialtimétrico, utilização em algoritmos de detecção automática de feições etc.);
- ▶ Delimitação da área a ser imageada, com correspondente arquivo kmz/kml;
- ▶ Inspeção da área a ser imageada sempre que possível, dando especial atenção às condições legais de utilização, acesso e locais para montagem de bases para decolagem e pouso, possíveis obstáculos como torres de linhas de transmissão, limites de áreas urbanas, topografia do terreno e ventos predominantes;
- ▶ Consulta aos serviços de meteorologia para obtenção de informações do tempo na região na data prevista para os voos, notadamente, temperatura, possibilidade de chuva e ventos predominantes na época do ano;
- ▶ Resolução da imagem final em *cm/pixel* (em geral é função da finalidade da missão) – GSD;
- ▶ Recobrimentos transversal (entre linhas de voo) e longitudinal (na direção das linhas de voo) – em geral, utiliza-se 60% de recobrimento lateral (em voos tripulados, utiliza-se 30%) e 70% de recobrimento longitudinal (em voos tripulados, utiliza-se 60%);

- ▶ Capacidade do equipamento (ha/dia ou ha/voo, por exemplo) para a resolução especificada. Por exemplo, um Phantom 4 consegue imagear em torno de 600ha/dia com resolução de imagem em torno de 6 cm/pixel.

Deve-se atentar para o caso de mapeamentos nos quais existem objetos de grande variação de altura, tais como grandes árvores, edificações, cortes verticais, conforme ilustrado na [Figura 3.1](#). Nesses casos, existe um risco maior de aparecerem oclusões (área de sombra) durante o imageamento. Assim, é importante aumentar o cobrimento (transversal e longitudinal) e, eventualmente, realizar voos cruzados para se obter um produto final sem buracos, isto é, livre de falhas nos modelos.

Figura 3.1 – Sombras geradas ao se sobrevoar objetos com grandes variações de alturas



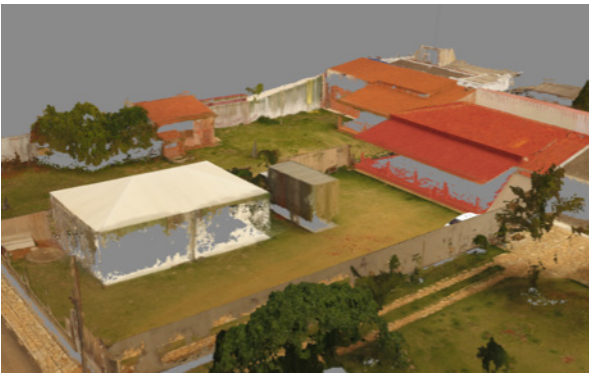
Fonte: Lenildo dos Santos Silva

A [Figura 3.2](#) mostra três casos de voos, em todos a altura de voo foi 30m, variando-se as sobreposições laterais e longitudinais. No primeiro voo, utilizou-se 60% de cobertura transversal e 70% longitudinal e voo em uma direção ([Figura 3.2a](#)); no segundo, adotou-se 80% de cobertura transversal e longitudinal e voo em uma única direção ([Figura 3.2b](#)); e no último ([Figura 3.2c](#)), 80% de sobreposição nas duas direções e voos cruzados (um voo na direção longitudinal e outro na direção perpendicular a esta). Tendo em vista que é um imageamento com grande número de objetos, tais como casa, tenda, veículos de grande porte, veículos de pequeno porte, o voo com 60% / 70% de cobertura gerou um número muito maior de buracos quando comparado com o voo com 80% / 80% de cobertura em uma única direção. Já o voo realizado em duas direções (dois voos cruzados) praticamente não apresentou essas falhas.

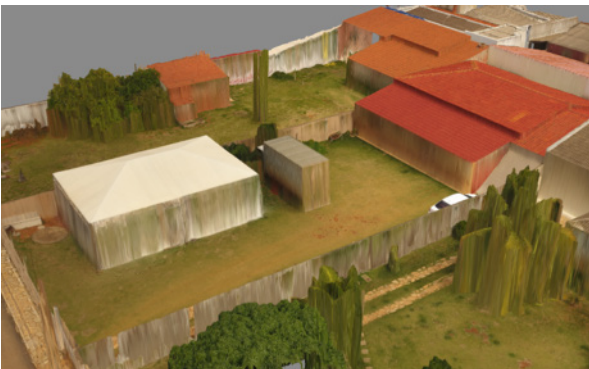
Figura 3.2 – Imageamentos obtidos para voos em uma direção com diferentes coberturas laterais e longitudinais



a) Voo em uma direção com cobertura lateral de 60% e longitudinal de 70%.



b) Voo em uma direção com cobertura lateral de 80% e longitudinal de 80%.



c) Voo em duas direções com cobertura lateral de 80% e longitudinal de 80%.

Fonte: Lenildo dos Santos Silva

3.1 Captura de imagens para fotogrametria

Os métodos de geração de informação em fotogrametria, a partir de fotografias de câmeras de pequeno formato, permitem uma flexibilidade maior na tomada das imagens, tendo em vista que esses métodos usam algoritmos de Visão Computacional. Esses métodos em VC são, por definição, e considerando-se duas imagens, invariantes às características, tais como escala e rotação, e muito robustos em relação às transformações afins, mudança de posição da câmera na tomada da

imagem, ruído e mudança na iluminação. Assim, alguns parâmetros utilizados na fotogrametria convencional possuem uma faixa de variação muito mais ampla na fotogrametria por VC, por exemplo, a variação máxima nos ângulos de atitude da aeronave/câmera na tomada da imagem.

De todo modo, pensando na qualidade do produto fotogramétrico, existem diversas questões que devem ser observadas para se obter imagens adequadas ao trabalho de geração de informações na fotogrametria. Via de regra, obtém-se uma quantidade alta de fotografias de pequenas partes do objeto em estudo. Por isso, deve-se procurar obter fotografias o mais uniforme possível, sem grandes variações em posição e configurações.

Deve-se evitar, sempre que possível, câmeras com lentes tipo olho de peixe ou grande angular, visto que essas lentes introduzem maiores distorções nas bordas das imagens, o que invariavelmente introduz maior dificuldade nas correções das imagens e constantemente leva a uma menor qualidade no produto fotogramétrico. Se for utilizar lentes com *zoom*, deve-se utilizar o *zoom* máximo ou o *zoom* mínimo, em todo o trabalho. Quando se misturam diferentes comprimentos focais (variações no nível de *zoom*), os resultados do trabalho não são adequados, e muitas vezes tornam-se inutilizáveis. Em câmeras nas quais se utiliza alguma forma de *script*, tais como CHDK (*Canon Hack Development Kit*) ou lanterna mágica, é possível utilizar *zoom* intermediário, desde que se tenha o controle adequado nos próprios *scripts* utilizados.

Recomenda-se utilizar a melhor resolução da máquina fotográfica e, sempre que possível, realizar a gravação em formato RAW, salvando posteriormente em TIFF – que produz melhores resultados que utilizar gravação em JPG. Para a configuração da máquina, selecionar sempre o modo manual, com valores mínimos de ISO e velocidades de obturação altas – tipicamente 1/1000, 1/1250, 1/1600. A configuração da abertura deve considerar o menor valor possível para equilibrar a profundidade de campo com a quantidade de luz necessária. Durante os levantamentos de campo, deve-se evitar alterar as configurações da máquina em um mesmo trabalho.

No caso de imageamento de terrenos, a fotometria deve ser realizada com a objetiva voltada para baixo (apontando para o solo local), utilizando um ponto abaixo (valor negativo), ou seja, um pouco menos luz chegando ao sensor que o necessário. Mas como a fotografia vai ser capturada com a câmera muito mais alta que a posição da fotometria, a quantidade de luz será suficiente. Em locais com solo muito claro, recomenda-se utilizar dois pontos abaixo. Objetos brilhantes ou sem textura, fachadas de edificações envidraçadas ou espelhadas e espelhos d'água são exemplo de superfícies que não são adequadamente representadas. Deve-se

evitar planos indesejados ou áreas que possam conter oclusões, ou seja, a captação deve se concentrar sempre no objeto fotografado em diversos ângulos, a fim de evitar as oclusões. Ao escolher o dia e hora para realizar a captação, deve-se evitar ao máximo as sombras, principalmente se o dia estiver ensolarado. Nesse caso, os levantamentos realizados entre 10h e 15h evitam que as sombras projetem bordas não físicas sobre as imagens e dificultem o trabalho dos algoritmos de processamento. Dias nublados e com luz difusa, em geral, fornecem os melhores resultados nas imagens.

Em caso de não existência de parâmetros para obtenção das imagens, é possível utilizar o balanço de branco na opção *DayLight* e usar a [Tabela 3.1](#) para uma estimativa inicial de configuração da câmera.

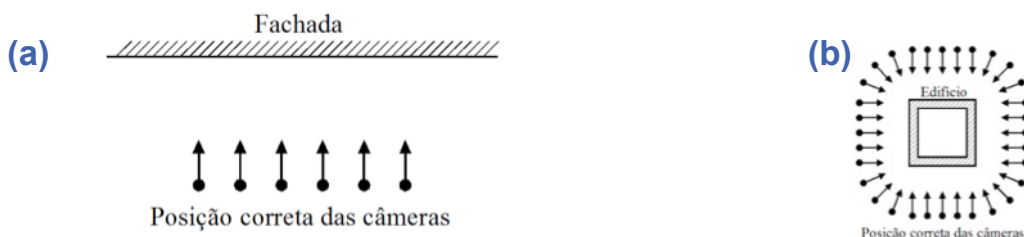
Tabela 3.1 – Configuração inicial da câmera para obtenção de fotografia

Condição	Velocidade	Abertura	Iso
Céu claro – sol brilhante	1/1000	5	200
Céu parcialmente nublado	1/1000	4.5	400
Céu nublado	1/1000	4	400

A captura das imagens é feita, preferencialmente, perpendicular ao objeto. Para o caso de fotogrametria de fachada de edifícios ou outros alvos a curta distância, a [Figura 3.3](#) ilustra o posicionamento correto para a aquisição de fotografias.

Figura 3.3 Posicionamento correto para aquisição de fotografias:

- (a) Fotografias de um plano de fachada;
- (b) Fotografias em torno de um edifício ou objeto



Fonte: Melo Junior (2016)

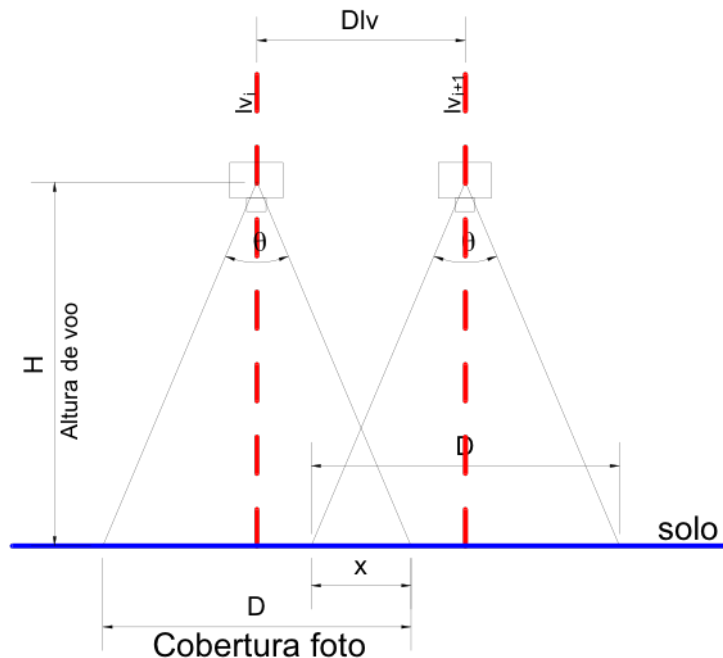
A distância entre os pontos de tomada de fotografia pode ser calculada em função do ângulo do campo visual (α) da câmera utilizada, da sobreposição que se deseja obter (p) e da distância entre o objeto e a câmera (B), conforme apresentado na [Equação \(3.1\)](#), em que a distância B é fornecida em metro, o ângulo α , em graus, e o percentual de sobreposição p , em %.

(3.1)

$$L = 2 \tan \frac{\alpha}{2} B \cdot (1 - p/100)$$

No caso de imageamento de terreno, é desejável que o eixo ótico da câmera esteja posicionado no nadir, conforme ilustra a [Figura 3.4](#). Naturalmente, o plano da fotografia possui algum nível de inclinação em relação ao nadir, representado pelos ângulos de atitude da aeronave ou do estabilizador (Gimbal). Assim, nesses casos, os ângulos podem ser utilizados no modelo de processamento dos dados e devem ser coletados e associados às imagens.

Figura 3.4 – Posicionamento correto para aquisição de fotografias de terrenos



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Considerando a situação apresentada na [Figura 3.4](#), a largura (D) de uma fotografia no solo pode ser obtida pela [Equação \(3.2\)](#) e o comprimento (L) pela [Equação \(3.3\)](#), sendo R a relação entre os lados da fotografia, em geral 0,75 (3/4) ou 0,765 (2/3).

$$D = 2.H.\tan(\theta/2) \quad (3.2)$$

$$L=D.R \quad (3.3)$$

Na [Equação \(3.2\)](#), os ângulos horizontais a serem utilizados são apresentados na [Tabela 3.2](#). Os ângulos do campo visual são dados em função do comprimento focal equivalente a 35 mm.

Tabela 3.2 – Ângulos do campo visual para diversos comprimentos focais

Diagonal (°)	Vertical (°)	Horizontal (°)	Comprimento Focal (mm)
180,0	180,0	180,0	0
169,4	161,1	166,9	2
122,0	90,0	111,1	12
114,2	81,2	102,7	14
107,1	73,9	95,1	16
94,5	61,9	82,4	20
84,1	53,1	73,7	24
63,4	37,8	54,4	35
46,8	27,0	39,6	50
34,4	19,5	28,8	70
28,6	16,1	23,9	85
23,3	13,0	19,5	105
12,4	6,87	10,3	200
8,25	4,58	6,87	300
6,19	3,44	5,15	400
4,96	2,75	4,12	500
4,13	2,29	3,44	600
3,54	1,96	2,86	700
3,10	1,72	2,58	800
2,07	1,15	1,72	1200

EXEMPLO:

Uma fotografia tomada com Phantom 4, a uma altura de 100 m, cobre uma área em solo de

$$D = 2 * 100 * \tan\left(\frac{82,4}{2}\right) = 175 \text{ m}$$

$$L = D * R = 175 * 0,75 = 131 \text{ m}$$

Ou seja, uma área de:

$$A = 175 * 131 = 22.925 \text{ m}^2 = 2,3 \text{ ha}$$

Considerando os recobrimentos recomendados de 60% na direção transversal e 70% na direção longitudinal, chega-se ao valor de:

$$A_{util} = 22.925 * (1 - 0,6) * (1 - 0,7) = 2.751 \text{ m}^2 = 0,27 \text{ ha}$$

Recomendação: Utilize uma planilha eletrônica para fazer o cálculo prévio do número de fotografias e do GSD (cm/pixel).

3.2 Pontos de apoio em campo

Em geral, modelos 3D gerados pelos *softwares* de processamento de imagens obtidas com *drones* geram Modelos Digitais de Superfície (MDS), também citados nos *softwares* e na literatura como Modelo Digital de Elevação (MDE). Com topografia muito próxima da topografia real, em geral, o posicionamento planimétrico é muito bom, mas nem sempre se obtém uma altimetria adequada. Assim, para se realizar levantamentos planialtimétricos nos quais se deseja verificar o correto posicionamento dos resultados (Modelos Digitais e Ortomosaicos), inclusive a verificação do Padrão de Exatidão Cartográfica, faz-se necessário obter pontos de apoio fotogramétrico em campo. Esses pontos devem estar materializados no solo de modo que se possa identificá-los nas imagens obtidas com o *drone*. Essa identificação pode ser realizada utilizando-se diferentes técnicas que são exemplificadas a seguir.

A) Pontos de apoio do tipo alvo – devem ser instalados antes da realização dos voos e podem ter diversos formatos. Em geral, crava-se um piquete de madeira com aproximadamente 5 cm x 5 cm, deixando a cabeça rente ao solo. Sobre o centro do piquete, fixa-se o alvo com um prego. Outro detalhe relevante é que a dimensão da parte central do alvo tenha aproximadamente 4 x 4 *pixels* a 6 x 6 *pixels*,

para uma adequada visualização do ponto central no instante do processamento da imagem. As Figuras 3.5, 3.6 e 3.7 apresentam três exemplos de tipo de alvos e sua visualização nas fotografias obtidas por diferentes *drones* e câmeras utilizados.

Figura 3.5 – a) tipo de alvo; b) visualização da fotografia com alvo de 4 x 4 *pixels*, voo a 150 m e GSD de 7,6 cm com câmera S100



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Figura 3.6 – a) tipo de alvo; b) visualização da fotografia com alvo de 4 x 4 *pixels*, voo a 150 m e GSD de 7,5 cm com câmera S100



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Figura 3.7 – a) tipo de alvo; b) visualização da fotografia com alvo de 4 x 4 *pixels*, voo a 120m e GSD de 5,3 cm com Phantom 4



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Outra opção para materializar os alvos é realizar a sua pintura na superfície a ser fotografada, tomando cuidado para que fique um contraste adequado entre as cores, por exemplo, tinta branca sobre pavimento escuro. Preferencialmente, o alvo deve ser posicionado em superfícies fixas ao solo, como asfaltos e calçadas, sobretudo por permitir possível revisitação ao ponto. Quando não é possível realizar essa materialização em superfícies fixas, pode-se utilizar pintura diretamente sobre o solo, instantes antes do voo, como ilustrado na [Figura 3.8](#).

Figura 3.8 – Exemplo de alvo pintado em solo



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

B) Pontos de apoio pré-existentes – é possível aproveitar pontos já materializados em solo, tais como cantos de meio fio, centros de tampas de bueiros, quinas de piso de edificação e calçadas. Importante salientar que os objetos utilizados devem estar firmemente fixados para se evitar perda das referências enquanto o trabalho é realizado, tendo em vista uma eventual revisita para rastreamento do ponto. Para registro e identificação do ponto de apoio, o local onde está a ponta da haste do receptor GNSS deve ser fotografado, conforme exemplificado na [Figura 3.9](#).

Figura 3.9 – Exemplo de fotografia para identificar o local do ponto de apoio pré-existente



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

C) Pontos de apoio rastreáveis – consiste em escolher um conjunto de pontos que vão servir de apoio para o trabalho de campo, definidos após a realização do voo, a construção do ortomosaico da área e o conhecimento da área sobrevoada, As [Figuras 3.10](#) e [3.11](#) ilustram essa situação. Destaca-se a importância de se obter fotografias panorâmicas e em detalhe dos pontos de apoio rastreáveis onde a ponta da haste do receptor GNSS está instalada, conforme [Figura 3.9](#).

Figura 3.10 – Mosaico para selecionar pontos de apoio



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Figura 3.11 – Identificação do local do ponto de apoio

Fonte: Lenildo dos Santos Silva

A densidade de pontos por hectare a ser utilizada é bastante empírica. Em áreas pequenas (até 10 ha), uma referência é utilizar de 3 a 4 pontos por ha; em áreas médias (10 a 200 ha), pode-se utilizar entre 0,2 e 2 pontos por ha; e em áreas maiores, entre 0,1 e 0,5 pontos por ha. Esses números não possuem nenhuma comprovação científica, são apenas baseados na experiência adquirida em levantamentos e em resultados de artigos científicos. Cada caso deve ser avaliado, levando-se em conta também o relevo – quanto maior a inclinação, maior a densidade de pontos recomendada.

Para processamento dos dados obtidos em campo e verificação da qualidade dos resultados, os pontos de apoio em campo são organizados em duas classes: 1) pontos de controle: são utilizados como parte do modelo de processamento para amarrar as fotografias em coordenadas de pontos conhecidos; e 2) pontos de verificação: são utilizados para verificar a qualidade posicional planimétrica e altimétrica dos produtos gerados, incluindo a verificação da exatidão cartográfica. A escolha da divisão dos pontos de apoio em campo entre pontos de controle e pontos de verificação possui um certo empirismo e depende da experiência do profissional que está coordenando o levantamento, do formato da poligonal e relevo da área, entre outros fatores. De todo modo, como estimativa inicial, sugere-se que entre 20% e 40% dos pontos sejam utilizados para verificação e os demais para controle, procurando realizar uma distribuição espacial aproximadamente regular por toda a área a ser imageada.

3.3 Execução dos voos

Para a execução dos voos, é necessário escolher um local para servir de base, preferencialmente centralizado na área a ser imageada, com visada livre em todas as direções a partir da base escolhida. Em muitas situações, os voos são realizados fora da cidade base do piloto/aeronave – nesses casos, recomenda-se utilizar um *checklist* sugerido na [Tabela 3.3](#). Após instalação de bateria (ou abastecimento de combustível) e imediatamente antes do voo, recomenda-se realizar um *checklist* como o da [Tabela 3.4](#). Esses *check-lists* irão variar de acordo com o tipo de equipamento (asa fixa ou asa móvel) e o fabricante.

Tabela 3.3 – Checklist de saída da cidade base

Item	Situação
Todos os equipamentos estão no case do <i>drone</i>	
Baterias para drone e estação estão disponíveis e acondicionadas adequadamente para viagem	
Carregadores de baterias do <i>drone</i> , radio e respectivos adaptadores para carregar em veículos	
Caixa com todos os acessórios e ferramentas	
Colas e fitas	
Notebooks com carregador	
Inversor de tensão 12V->220V de carro	

Tabela 3.4 – Checklist antes de cada voo

Item	Situação
Todos os links conferidos	
Comandos da aeronave testados	
Tensão nas baterias checada	
GPS Partiu e tem número adequado de satélites	
Plano de voo gravado e conferido	
Câmera de vídeo ligada e gravando	
Cartão de memória inserido na máquina e verificada a gravação	
Configuração de Abertura/Velocidade/ISO e Foco realizada	

4. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Antes de realizar o processamento dos dados, é necessário avaliar a qualidade das imagens geradas e dos voos realizados. Basicamente, avalia-se a nitidez, foco e existência de arraste em uma amostra de fotografias. Observa-se ainda se as coordenadas estão gravadas no EXIF (*Exchangeable Image File Format*) da imagem; se os ângulos de atitude estão disponíveis, estes devem ser gravados nas imagens; e, na sequência, inicia-se o processamento propriamente dito das imagens.

4.1 Avaliação do voo

A análise qualitativa do voo permite antever possíveis problemas no processamento das imagens, basicamente faz-se um comparativo entre o voo realizado e o voo previsto, conforme apresentado na [Figura 4.1](#).

Figura 4.1 – Sobreposição voo previsto x voo realizado



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Se na avaliação visual os desvios entre voo previsto x voo realizado forem superiores a 30% do espaçamento entre linhas de voo, é recomendável refazer o voo. Tal recomendação é particularmente útil quando o voo é realizado em locais distantes da base da aeronave/piloto, especialmente em situações nas quais o custo para se refazer o voo posteriormente pode ser bastante significativo ou até mesmo impraticável.

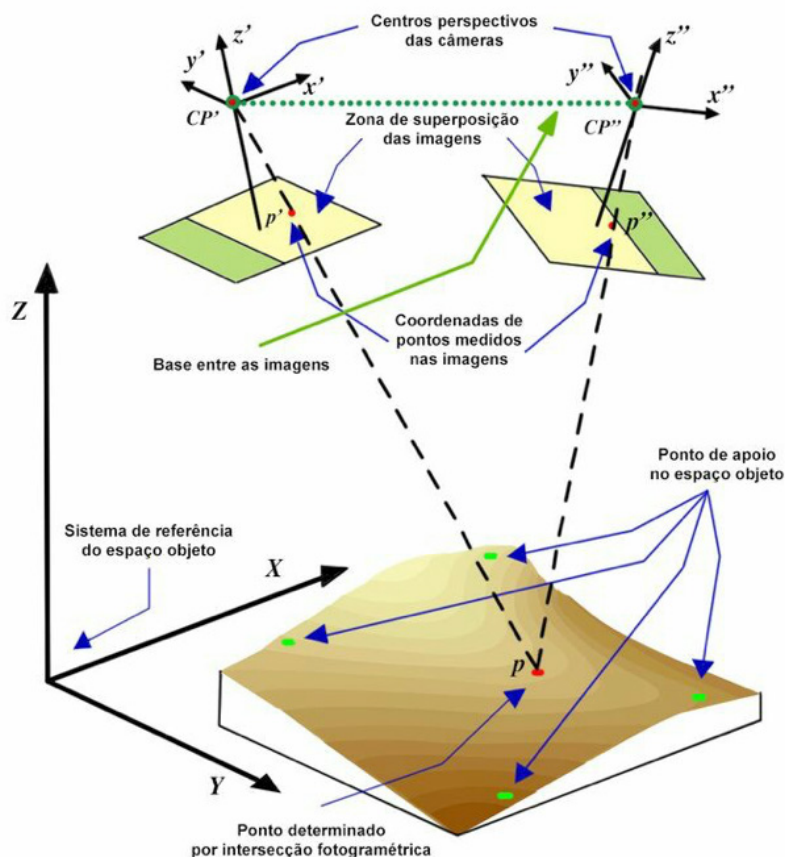
4.2 Sistemas de coordenadas

São utilizados três sistemas de coordenadas, um externo à câmera (espaço-objeto) que é expresso de maneira convencional por três eixos (X, Y e Z), com unidade de medida em metros (m); e dois internos (espaço-imagem), um com unidade de medida em *pixel* e origem no canto superior esquerdo da imagem (u,v) e outro com medidas em milímetros e origem no centro da imagem (x,y,z), sendo z apontado para o sentido de visualização da imagem. A Tabela 4.1 resume os sistemas de coordenadas recomendados, ilustrados nas Figuras 4.2 e 4.3.

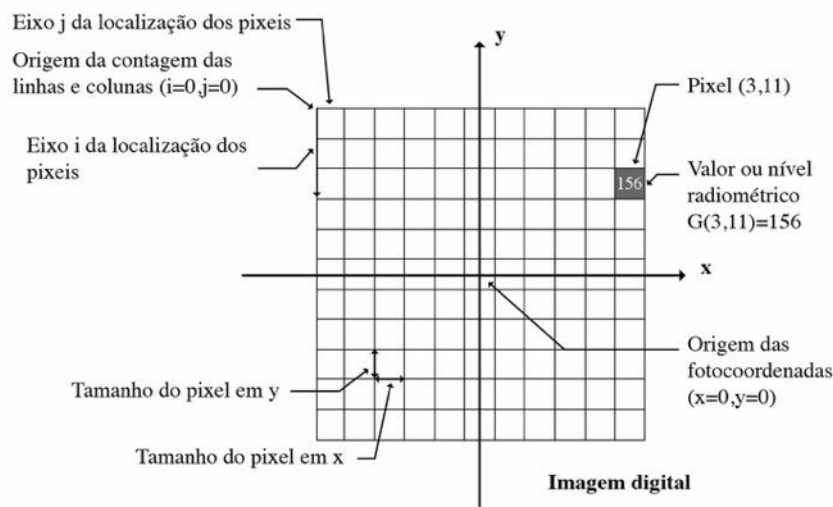
Tabela 4.1 – Sistemas de coordenadas

Elemento	Espaço-Objeto	Espaço-Imagem Medidas Reais	Espaço-Imagem Medida Digital
Coordenadas	X, Y, Z	x, y, z	u, v
Unidade	m	mm	<i>Pixel</i>
Origem	Referência no objeto	Centro da imagem	Canto superior esquerdo da imagem

Figura 4.2 – Sistema de coordenadas do espaço-objeto



Fonte: UNESP, 2018.

Figura 4.3 – Sistemas de coordenadas do espaço-imagem

Fonte: UNESP, 2018.

4.3 Orientação interior

A Orientação Interior trata da conversão do sistema de coordenadas em pixel para o sistema de coordenada em milímetros, ou seja, converte grandeza de medida digital (*pixel*) em grandeza de medida linear do mundo real (mm). Essa conversão se dá por transformações matemáticas e para tal se faz necessário conhecer a distância focal calibrada (em geral, ligeiramente diferente da distância focal especificada pelo fabricante) e as coordenadas do ponto principal, o qual é definido pela interseção da projeção ortogonal do centro perspectivo da fotografia e a lente da câmera. Naturalmente, se a câmera fosse perfeitamente construída, o ponto principal coincidiria com o centro da lente e a distância focal real (calibrada) seria a distância focal especificada pelo fabricante.

4.4 Calibração da câmera

Em diversas aplicações da fotogrametria é necessário realizar um procedimento de calibração da câmera com o intuito de conhecer com precisão algumas propriedades do seu sistema ótico. Conhecidas como Parâmetros de Orientação Interior, essas propriedades são intrínsecas de cada câmera, a saber: centro da lente, distância focal calibrada, distorções radiais e tangenciais da lente. A calibração é fundamental para correção dos erros sistemáticos das medidas no espaço-imagem, resultando em trabalhos realizados com precisão e acurácia aceitáveis na obtenção de produtos fotogramétricos, tais como modelos digitais (MDS, MDT), ortoimagens, medidas de elementos, entre outros.

Existem diversos métodos de calibração de câmeras, cada um com suas características e domínio de aplicação. Em um sistema ótico (lente e sensor) ideal, perfeitamente construído e instalado, o feixe de luz que incide na lente sofre refração de acordo com a curvatura e forma a imagem em uma posição conhecida do sensor, de modo que as posições de todos os pontos da imagem podem ser calculados pelo modelo adotado (orientação interior). Entretanto, como sempre existe algum grau de imperfeição na construção e instalação do sistema ótico, uma das formas de se obter a influência de tais imperfeições é realizar a calibração da câmera. Para tal, pode-se utilizar um modelo de calibração, como o de Brown (1966), e um sistema de projeção central, por meio do qual é possível conhecer além da distância focal calibrada e do ponto principal, tanto as distorções radiais quanto as tangenciais.

Distorções radiais estão relacionadas principalmente com as características físicas da lente utilizada, sendo maiores em lentes com menor distância focal. Já as distorções tangenciais estão relacionadas com imperfeições na instalação do sensor de captura da imagem, levando a um desalinhamento entre o centro do sensor de captura da imagem e o centro da lente. Pode ainda estar relacionada com falhas construtivas das lentes.

As distorções radiais são modeladas por um polinômio de grau 2, sendo necessários, portanto, 3 parâmetros. No caso das distorções tangenciais, interpola-se por um modelo linear, sendo necessários dois parâmetros. Como resultado do procedimento de calibração da câmera, obtêm-se as grandezas:

fx – comprimento focal calibrado na direção x (mm);

fy – comprimento focal calibrado na direção y (mm);

cx - coordenada do ponto principal na direção x (mm);

cy – coordenada do ponto principal na direção y (mm);

K1, K2, K3 – coeficientes que levam em conta a distorção radial;

P1, P2 – coeficientes que levam em conta a distorção tangencial; e

S – coeficiente que leva em conta a inclinação entre os eixos x e y calibrados, ou seja, é o parâmetro de afinidade.

Aplicando-se o modelo de Brown (1966) para mapear o sistema de coordenadas reais (x,y,z) do espaço-imagem em coordenadas digitais (u,v), têm-se as equações enumeradas de (4.1) a (4.7).

$$\bar{x} = x/z \quad (4.1)$$

$$\bar{y} = y/z \quad (4.2)$$

$$x' = \bar{x}(1 + K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4 + K_3 \cdot r^6) + P_2(r^2 + 2 \cdot \bar{x}^2) + 2 \cdot P_1 \cdot \bar{x} \cdot \bar{y} \quad (4.3)$$

$$y' = \bar{y}(1 + K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4 + K_3 \cdot r^6) + P_1(r^2 + 2 \cdot \bar{y}^2) + 2 \cdot P_2 \cdot \bar{x} \cdot \bar{y} \quad (4.4)$$

$$u = c_x + x' \cdot f_x + y' \cdot s \quad (4.5)$$

$$v = c_y + y' \cdot f_y \quad (4.6)$$

Sendo:

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (4.7)$$

Para se obter os parâmetros de calibração da câmera a serem utilizados no modelo de processamento dos dados, tem-se três situações:

1. O fabricante fornece uma ficha de calibração para a máquina;
2. É possível realizar a calibração utilizando *softwares* específicos para tal, por exemplo o Agisoft Lens, no qual se obtém os parâmetros de calibração a partir de fotografias de padrões previamente especificados;
3. Os *softwares* atuais de fotogrametria utilizando algoritmos de visão computacional fazem um procedimento de autocalibração, a partir das imagens que serão processadas.

A ficha de calibração fornecida pelo fabricante, em geral, é realizada em laboratório de maneira bem controlada. No caso de máquinas de pequeno formato, nem sempre o fornecedor disponibiliza essa ficha. Nesse caso, resultados de pesquisas mostram que a melhor opção é utilizar o procedimento de autocalibração, que é realizado levando-se em consideração as características do local onde as fotografias foram tomadas.

4.5 Coordenadas e ângulos de atitude nas fotografias

Em muitos casos, as coordenadas geográficas das posições da aeronave no instante da tomada da imagem são gravadas nas fotografias, após a realização do voo. Outra informação que pode ser utilizada no processamento dos dados são os ângulos de atitude da aeronave ao tomar a fotografia. Via de regra, essas informações são fornecidas ao *software* de processamento por meio de um arquivo texto contendo a identificação da fotografia e os valores dos ângulos de atitude roll, pitch e yaw (Ângulos de Euler). Cabe salientar que, em geral, no caso de multirotores ou asa fixa que possui Gimbal estabilizador, os ângulos de atitude são tão pequenos que não são utilizados.

5. PROCESSANDO OS DADOS DE CAMPO

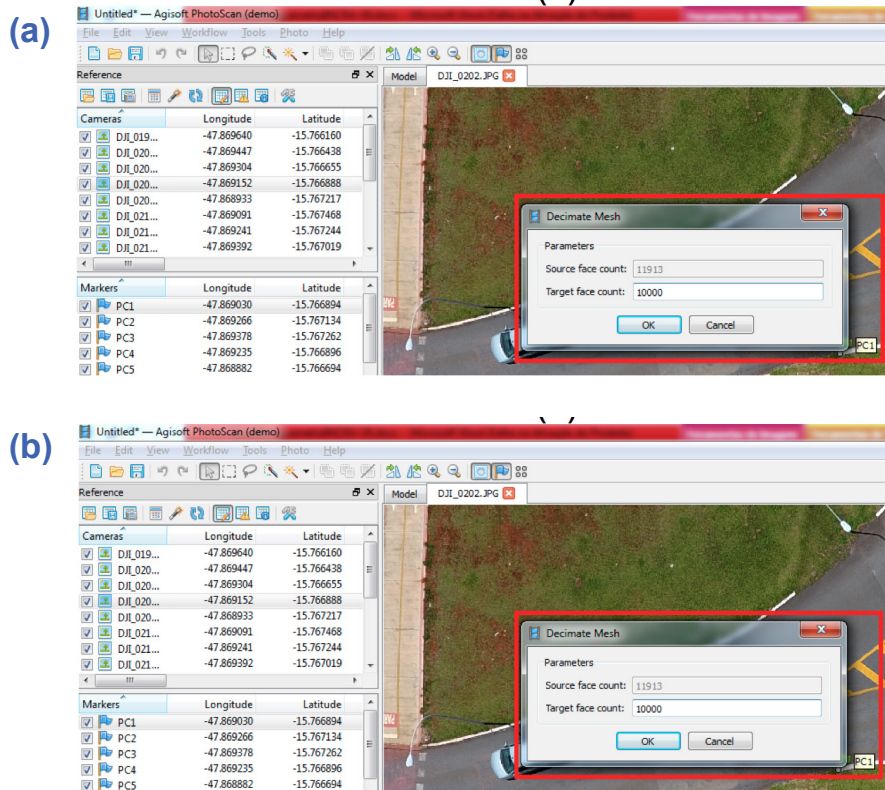
Antes de realizar o processamento dos dados é necessário avaliar a qualidade das imagens geradas e dos voos realizados. Basicamente avalia-se a nitidez, foco e existência de arraste em uma amostra de fotografias. Observar ainda se as coordenadas e altitudes estão gravadas no EXIF da imagem. Se os ângulos de atitude estão disponíveis, estes devem ser gravados nas imagens. Na sequência se inicia o processamento propriamente dito das imagens.

5.1 Pós-Processamento

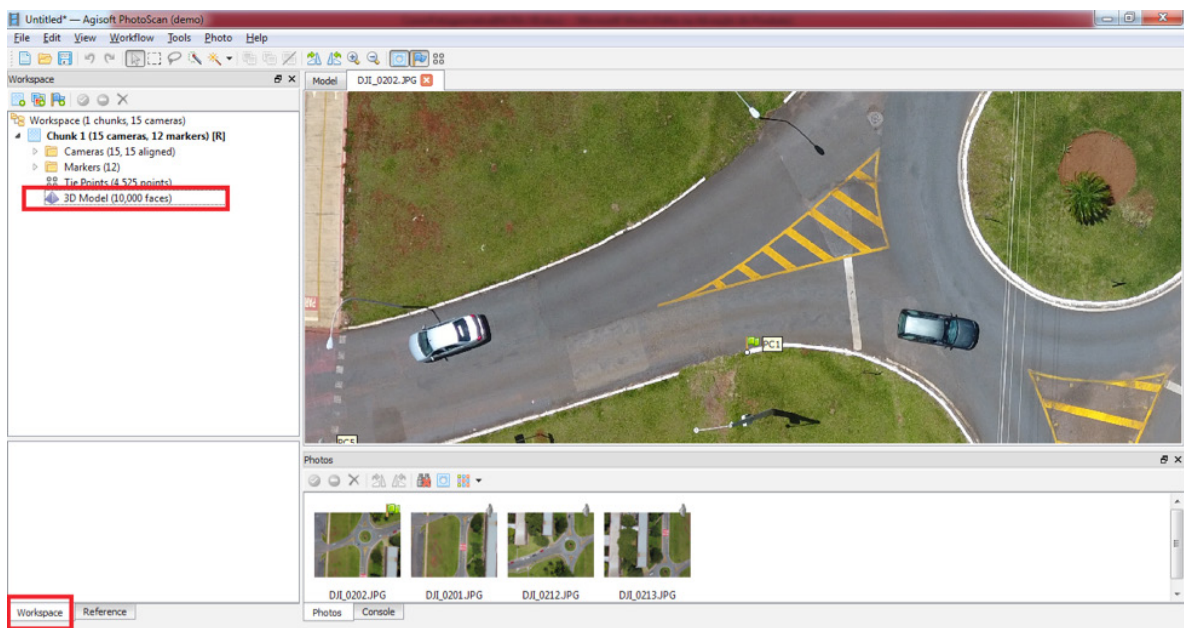
Após finalizar o *workflow* no Agisoft Metashape é possível realizar algumas atividades de pós-processamento dos resultados com intuito de melhorar os mesmos. A primeira opção que pode ser avaliada é decimar a malha. Em alguns modelos, o número de triângulos na malha é muito grande e podem existir regiões que são praticamente planas. Decimar consiste em aplicar algoritmos para detectar as regiões planas, substituindo um conjunto de triângulos por um único triângulo. Esse procedimento permite se obter uma malha mais leve para uso futuro, como por exemplo, gerar cortes ou curvas de nível em outros *softwares*.

Ao selecionar a opção decimar malha ([Figura 5.1a](#)), deve-se escolher o número de triângulos. Como mostra o [Figura 5.1b](#), é possível observar o número de retângulos original e escolher o número de triângulos que devem permanecer na malha. Após selecionar Ok e o Metashape processar, é possível comparar o número de triângulos existentes na malha antes (11.913 triângulos) e depois (10.000 triângulos), como mostra o [Figura 5.2](#).

Figura 5.1 – Opção *Mesh Decimate*: (a) como selecionar. (b) número de triângulos atual e número de triângulos que devem permanecer.



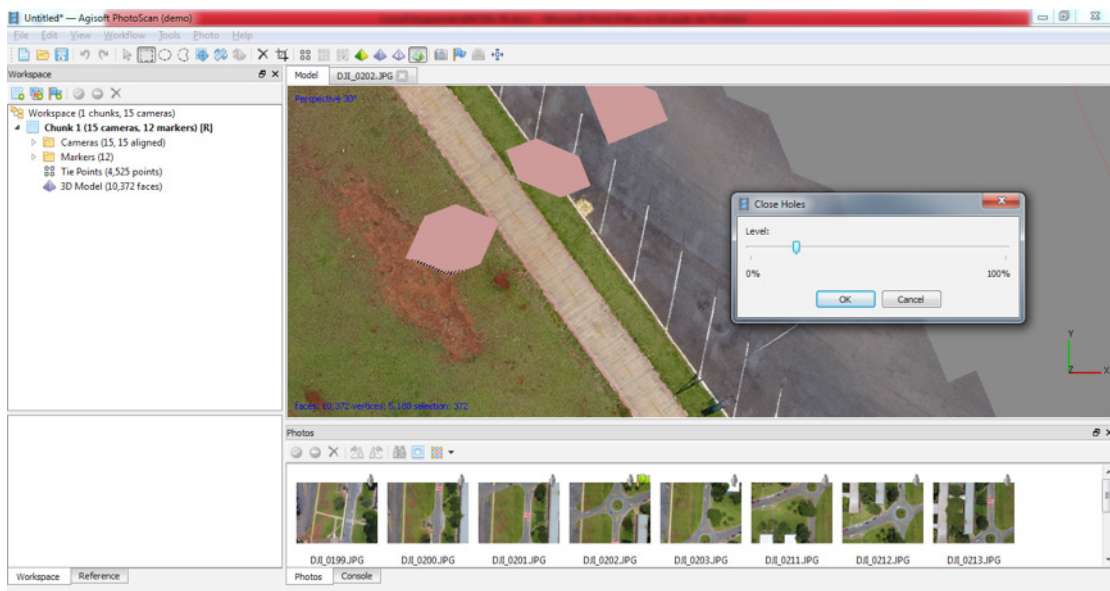
Fonte: Lenildo dos Santos Silva



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Outra atividade de pós-processamento é o fechamento de falhas (buracos) no modelo. Ao selecionar a opção *Tools > Mesh > Close Holes* será apresentada a tela da [Figura 5.3](#), onde é possível escolher o tamanho máximo dos buracos que devem ser preenchidos. Deve-se escolher qual a área máxima dos buracos a serem fechados quando comparados com a área total do modelo. Por exemplo, se tivermos um modelo em uma área de 200 ha e informarmos o valor de 10%, o Metashape vai interpolar as bordas para fechar buracos com área de até 20ha. Os buracos existentes, em geral, são preenchidos com cinza e, na medida que vai aumentando o percentual, os buracos a serem fechados ficam rosa, conforme pode ser visto na ([Figura 5.3](#)).

Figura 5.3 – Opção para fechar buracos



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

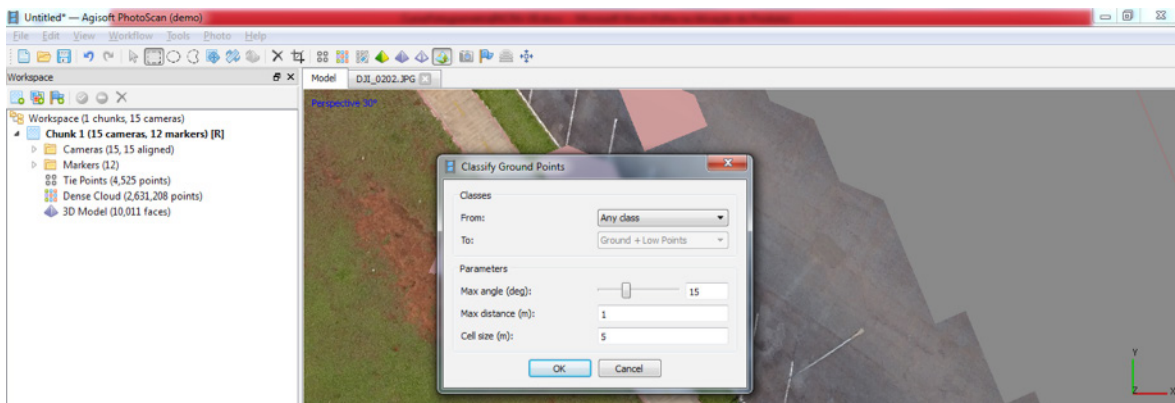
Após a geração da nuvem de pontos densa, é possível gerar o modelo digital de terreno. Para tal o Agisoft Metashape utiliza um algoritmo para classificar os pontos, separando-os em pontos de terreno e pontos não classificados. Ao selecionar a opção *Tools > Dense Cloud > Classify Ground Points*, são apresentadas as opções da [Figura 5.4](#), onde:

- ▶ **Máximo ângulo (*max angle*):** define a máxima inclinação entre um ponto sendo avaliado como pertencente ao terreno ou não e outro ponto já classificado como ponto de solo;
- ▶ **Max Distance (m):** define o tamanho dos incrementos das verificações dentre dois pontos, um já classificado como ponto de solo e outro a ser classificado;

► **Cel size (m):** é o tamanho máximo do objeto que pode ser classificado como não sendo solo (casa, floresta fechada, conjunto de arbusto etc.).

Esses parâmetros podem ser ajustados em um procedimento de tentativa e erro, mas geralmente fornece bons resultados e devem ser mantidos, a menos que exista indicação contrária.

Figura 5.4 – Parâmetros para gerar modelo digital de terreno



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Após clicar em OK, os pontos serão classificados. As etapas de geração de malha e geração de textura deverão ser realizadas novamente. Na geração da malha, deve-se selecionar as classes de pontos a serem processadas (*Ground*). Ao final do processamento, serão removidas casas, árvores e objetos que não atendam aos critérios selecionados para os parâmetros mostrados na [Figura 5.4](#), a seguir. No lugar desses objetos ficarão buracos no modelo. Esses buracos podem ser preenchidos com a opção *Close Hole* apresentada anteriormente.

5.2 Geração dos resultados

Após realizar o *workflow* da etapa de pós-processamento, é possível exportar os resultados gerados pelo Agisoft Metashape, iniciando pela exportação do relatório do processamento na opção *File > Generate Report*. A [Figura 5.5](#) mostra uma parte do relatório gerado, no qual é possível observar tamanho de pixel, quantidade de sobreposição de imagens em cada parte do modelo, área total imageada, altura de voo, entre outros.

Figura 5.5 – Relatório Exportado

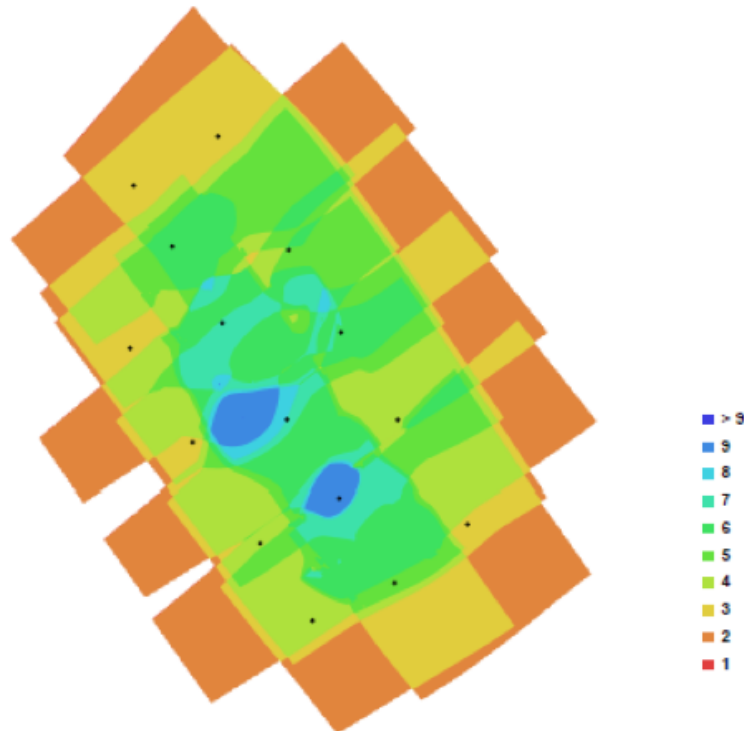


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

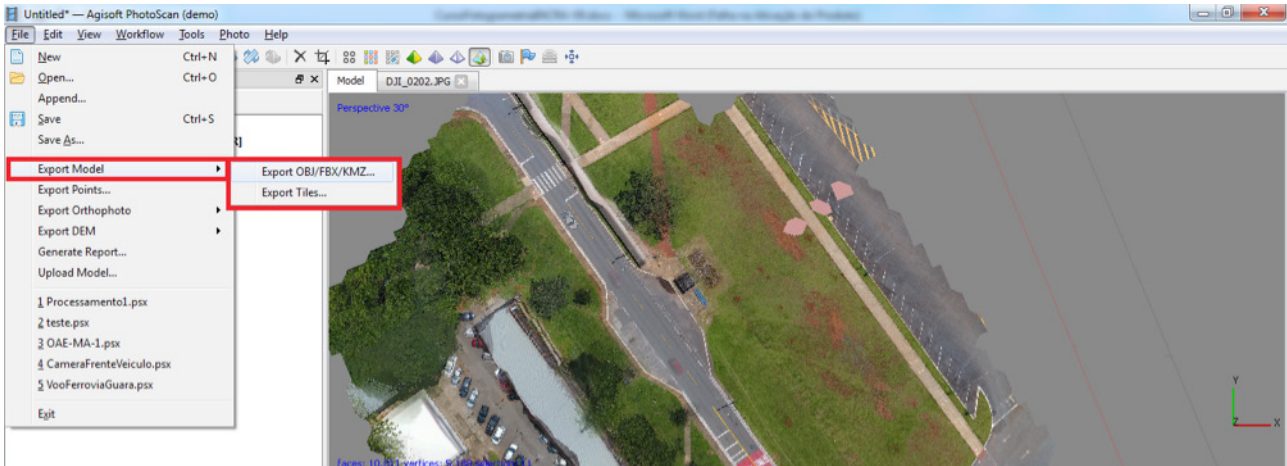
Number of images:	15	Camera stations:	15
Flying altitude:	29.8948 m	Tie-points:	4756
Ground resolution:	0.0242916 m/pix	Projections:	13589
Coverage area:	0.0263561 sq km	Error:	2.03881 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC330 (3.61 mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56192 x 1.56192 um	No

Fonte: Lenildo dos Santos Silva

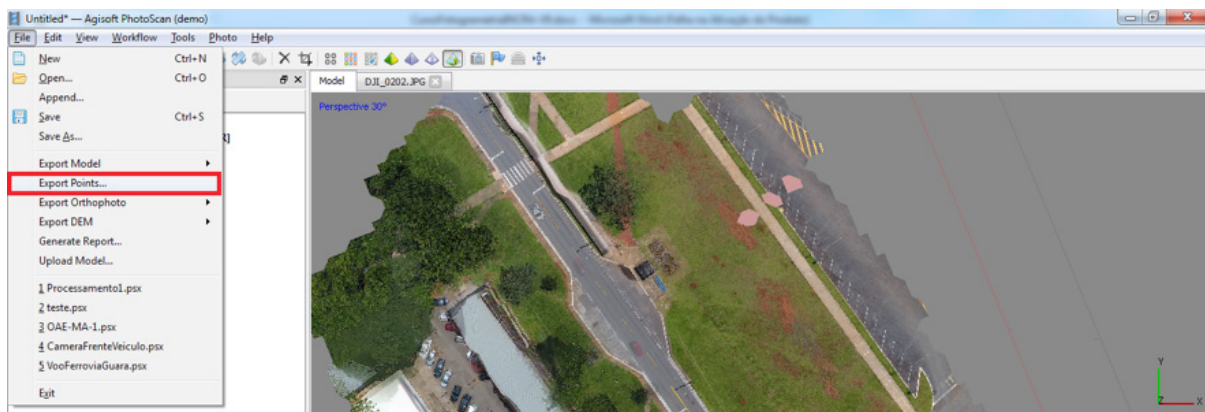
É possível gerar ainda o sólido resultante em formato de arquivo 3D, Nuvem de Pontos, Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital de Terreno (quando os pontos de solo do MDE são classificados) e Ortomosaico, observados nas [Figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9](#).

Figura 5.6 – Exportar objeto 3D



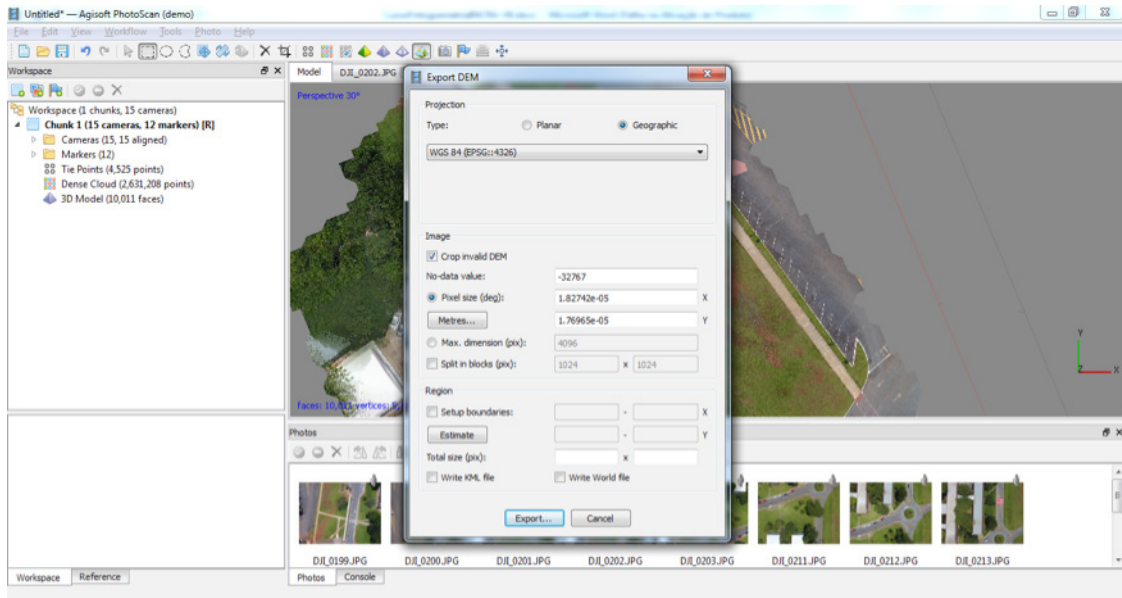
Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Figura 5.7 – Gerar nuvem de pontos



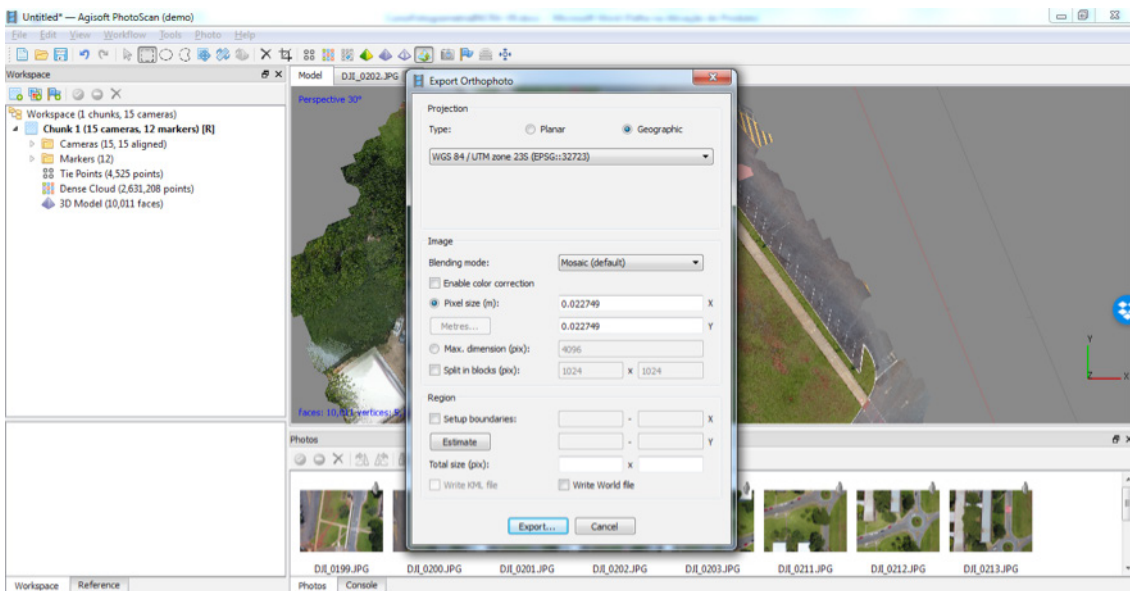
Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Figura 5.8 – Gerar Modelo Digital da Superfície (MDS)



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Figura 5.9 – Gerar Ortomosaico

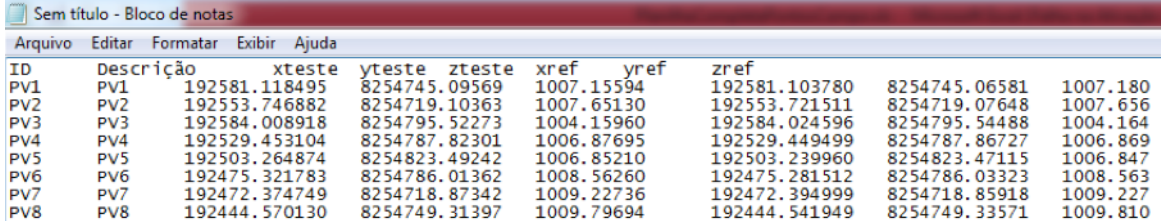


Fonte: Lenildo dos Santos Silva

6. APLICAÇÕES

Apresentam-se neste item algumas das aplicações já realizadas no âmbito do Projeto mVANT UnB. O primeiro caso é a verificação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) com uso do *software* gratuito GeoPEC (<http://www.geopec.com.br/2018/04/geopec-35-lancamento-da-nova-versao.html>). Após baixar e instalar o programa, precisamos das coordenadas dos pontos de verificação rastreadas e das coordenadas obtidas para esses pontos por meio da visualização desses pontos (alvos) no ortomosaico. Assim, teremos um arquivo texto com os dados organizados no formato mostrado na [Figura 6.1](#). Os valores *xteste*, *yteste* e *zteste* são as coordenadas dos pontos obtidos analisando-se a posição dos alvos na imagem processada; e os pontos *xref*, *yref* e *zref* são as coordenadas dos pontos rastreadas em campo. Cabe ressaltar que o arquivo que será importado no GeoPEC não deve conter o cabeçalho das colunas, este foi apresentado aqui apenas para explicar o conteúdo de cada coluna.

Figura 6.1 – Formato dos dados para o *softwares* GeoPEC

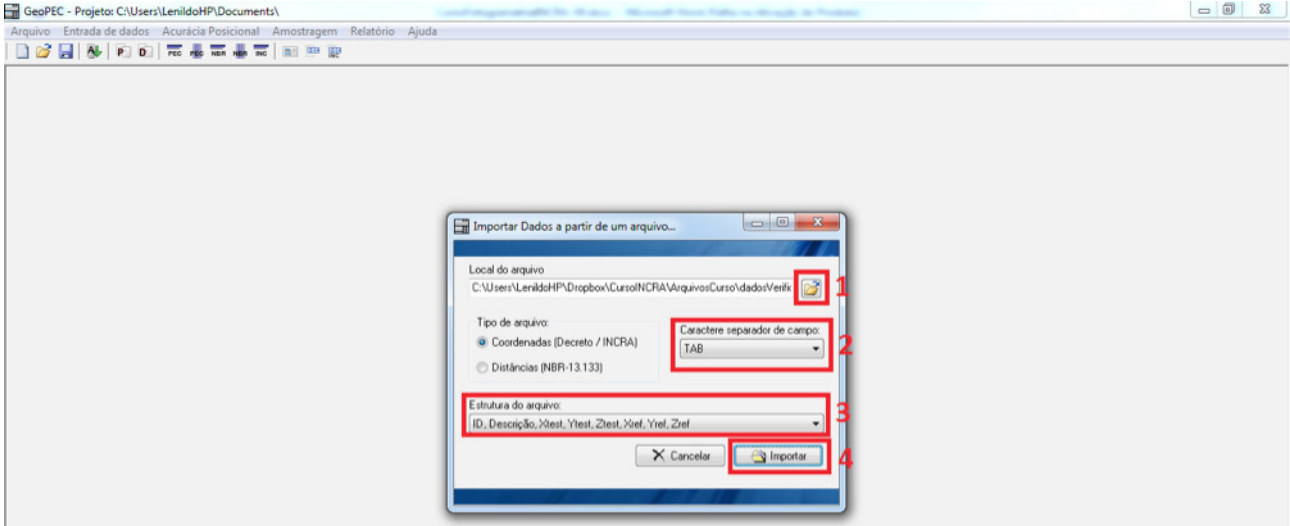


ID	Descrição	xteste	yteste	zteste	xref	yref	zref	
PV1	PV1	192581.118495	8254745.09569	1007.15594	192581.103780	8254745.06581	1007.180	
PV2	PV2	192553.746882	8254719.10363	1007.65130	192553.721511	8254719.07648	1007.656	
PV3	PV3	192584.008918	8254795.52273	1004.15960	192584.024596	8254795.54488	1004.164	
PV4	PV4	192529.453104	8254787.82301	1006.87695	192529.449499	8254787.86727	1006.869	
PV5	PV5	192503.264874	8254823.49242	1006.85210	192503.239960	8254823.47115	1006.847	
PV6	PV6	192475.321783	8254786.01362	1008.56260	192475.281512	8254786.03323	1008.563	
PV7	PV7	192472.374749	8254718.87342	1009.22736	192472.394999	8254718.85918	1009.227	
PV8	PV8	192444.570130	8254749.31397	1009.79694	192444.541949	8254749.33571	1009.810	

Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Após carregar o GeoPEC selecionar a opção Arquivo > Novo Projeto, depois selecionar a opção Entrada de Dados > Decreto 89.817, em seguida selecionar Entrada de Dados > Importar dados de um arquivo. Na tela que vai aparecer selecionar abrir arquivo (1), depois selecionar o tipo de delimitador a ser utilizado (2), em seguida escolher a ordem em que os dados estão colocados no arquivo (3) e finalmente selecionar a opção importar (4).

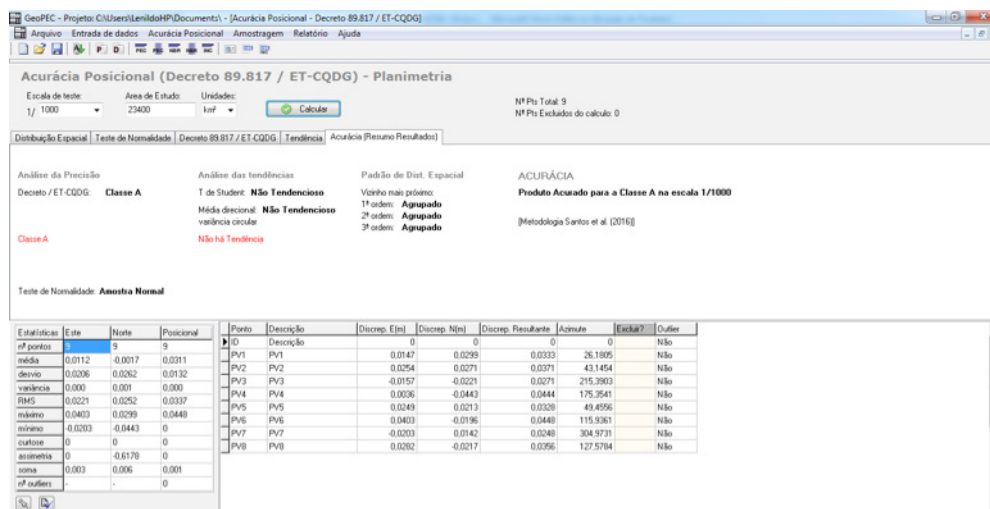
Figura 6.2 – Importar dados para o GeoPEC



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Se os dados foram carregados corretamente, o GeoPEC vai informar o número de pontos carregados com sucesso. Selecionar a opção Acurácia Posicional > Decreto 89.817 > Planimetria. Na tela que vai aparecer, escolher a escala para a qual quer verificar a PEC, o tamanho da área imageada e selecionar a opção calcular. O GeoPEC vai calcular as estatísticas e apresentar uma mensagem indicando a Classe e se há tendência ou não nos dados de planimetria, conforme apresentado na Figura 6.3. Cabe observar que existem várias abas (teste de normalidade, Decreto 89.817, Tendência) que apresentam um detalhamento dos resultados.

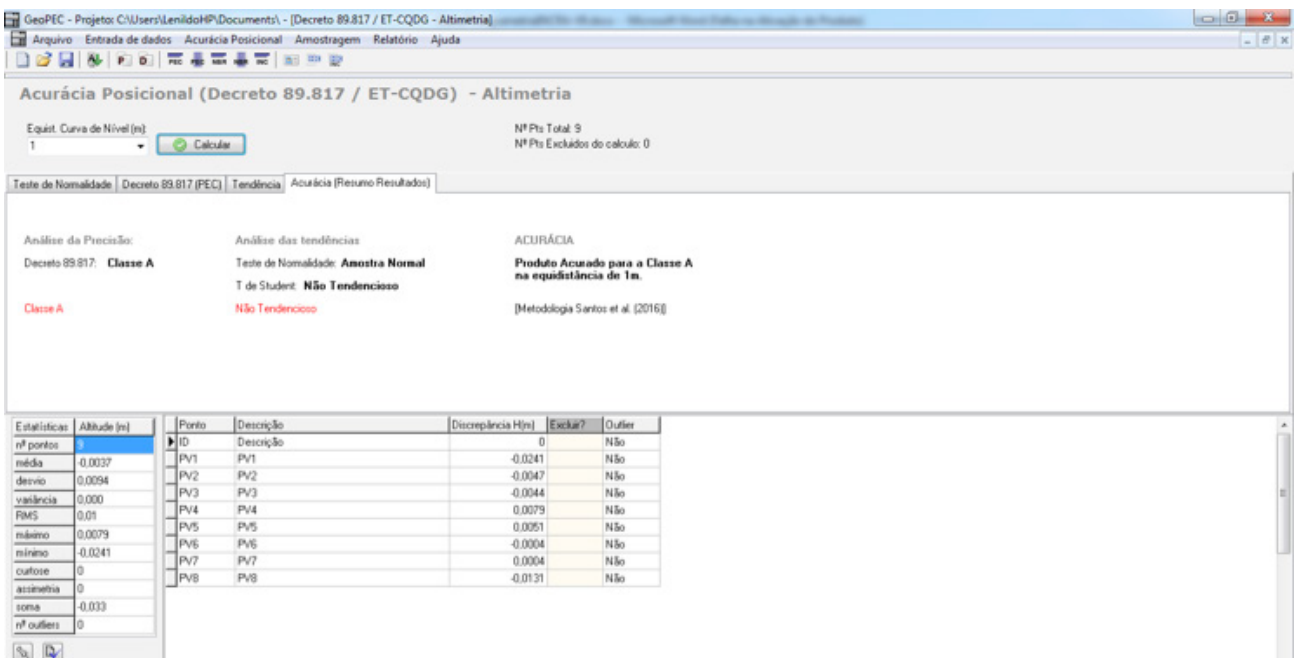
Figura 6.3 – Resultado da verificação da planimetria no GeoPEC



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

Para verificação dos dados altimétricos, selecionar a opção Acurácia Posicional > Decreto 89.817 > Altimetria. Na tela que vai aparecer, escolher a equidistância entre as curvas de nível e selecionar a opção calcular. O GeoPEC vai calcular as estatísticas e apresentar uma mensagem indicando a Classe e se há tendência ou não nos dados em relação à altimetria, conforme apresentado na [Figura 6.4](#). Cabe observar que existem várias abas (teste de normalidade, Decreto 89.817, Tendência) que apresentam um detalhamento dos resultados.

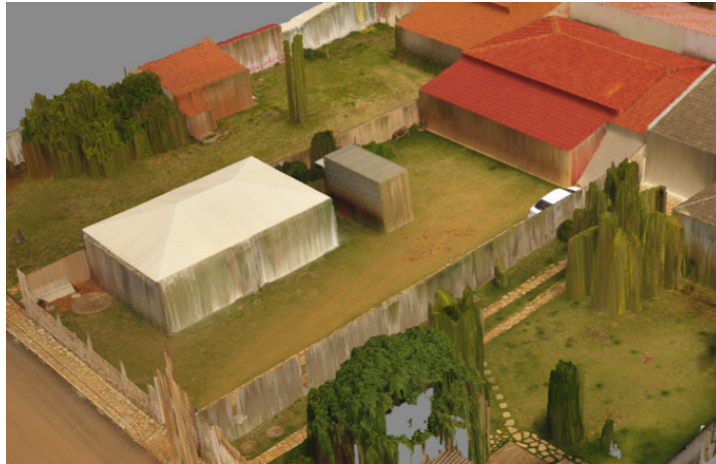
Figura 6.4 – Resultado da verificação da planimetria no GeoPEC



Fonte: Lenildo dos Santos Silva

A segunda aplicação é o levantamento de medidas em edificações, conforme ilustrada nas [Figuras 6.5](#), [6.6](#) e [6.7](#).

Figura 6.5 – Modelagem de edificações, tendas e veículos para obtenção de medidas



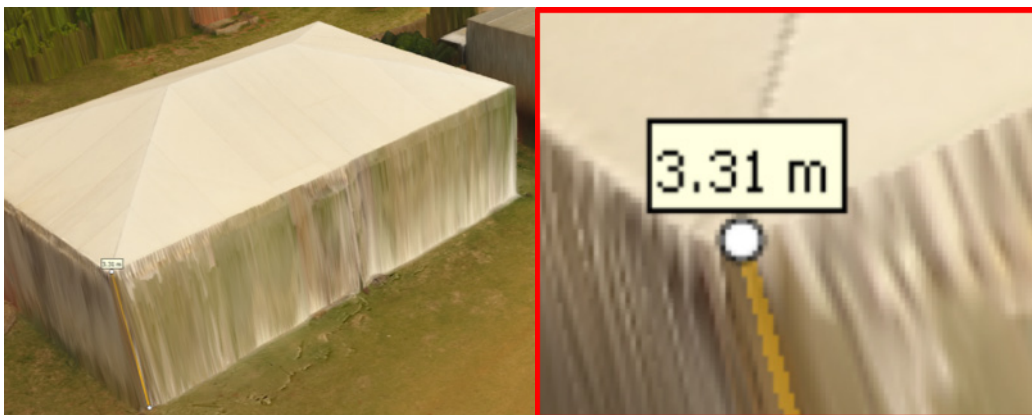
Fonte: os autores

Figura 6.6 – Medida longitudinal de tenda – medida real 11,60m, medida obtida 11,40m, diferença 2%



Fonte: os autores

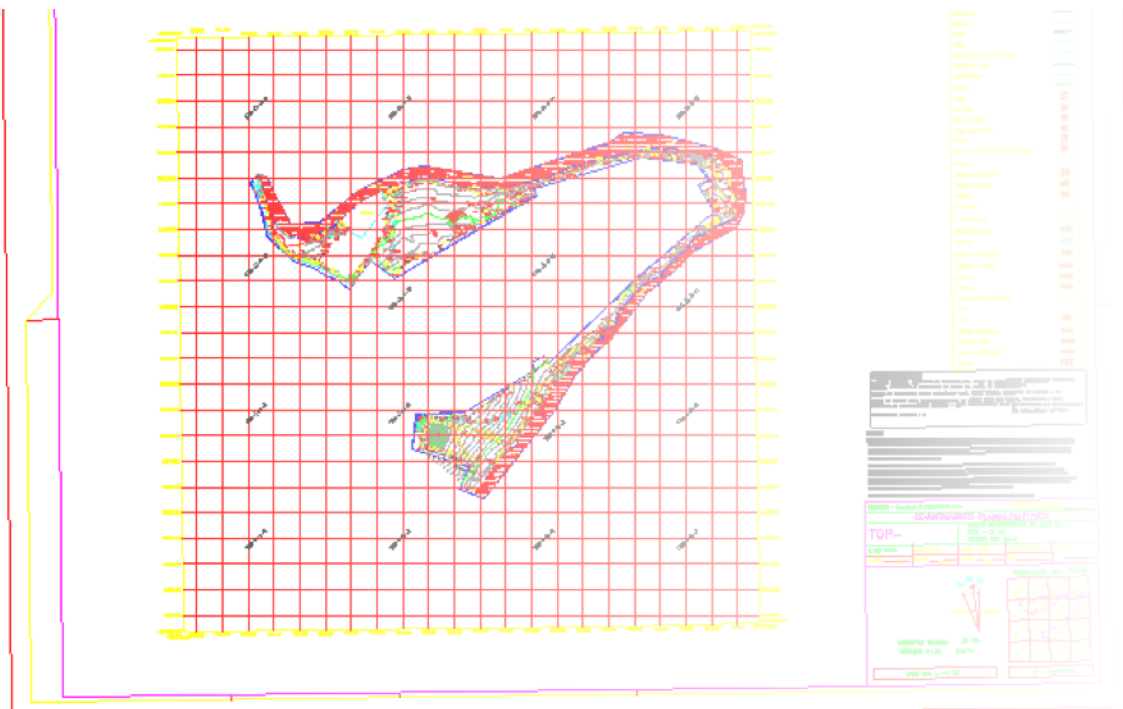
Figura 6.7 – Medida de altura da tenda – medida real 3,35m, medida obtida 3,31m, diferença 1%



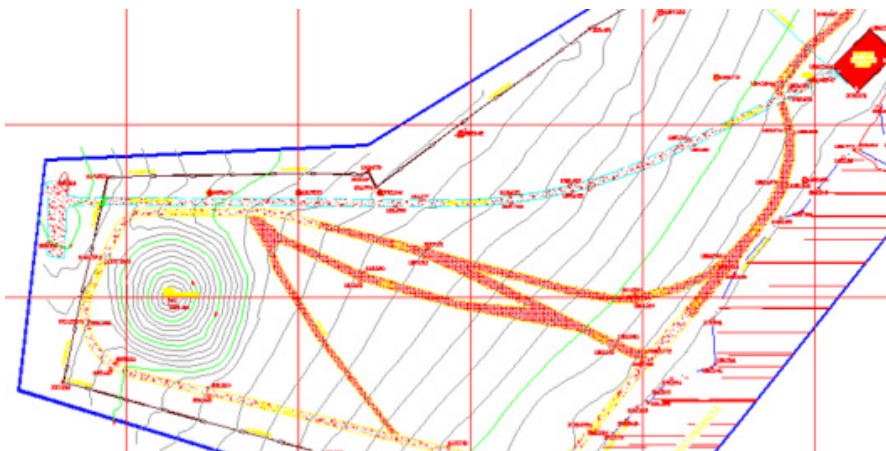
Fonte: os autores

A terceira aplicação é o levantamento topográfico planialtimétrico cadastral, conforme ilustrado na [Figura 6.8](#) e o levantamento de frente de mineração comparando-se *Laser Scanner* Terrestre com Fotogrametria a partir de imagens obtidas com *drones*, como apresentado na [Figura 6.9](#).

Figura 6.8 – Levantamento topográfico planialtimétrico cadastral

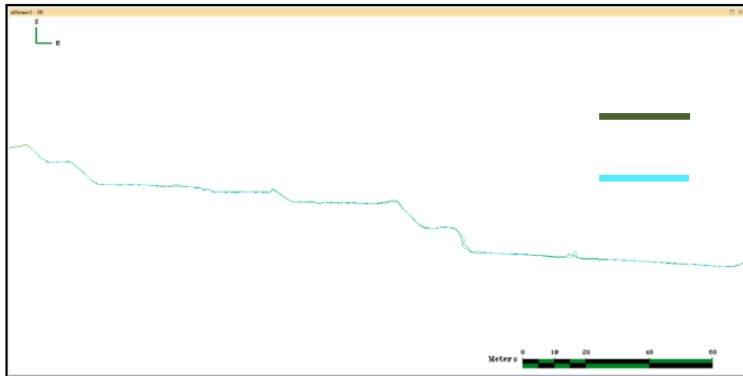


Fonte: os autores



Fonte: os autores

Figura 6.9 – Levantamento de frente de mineração

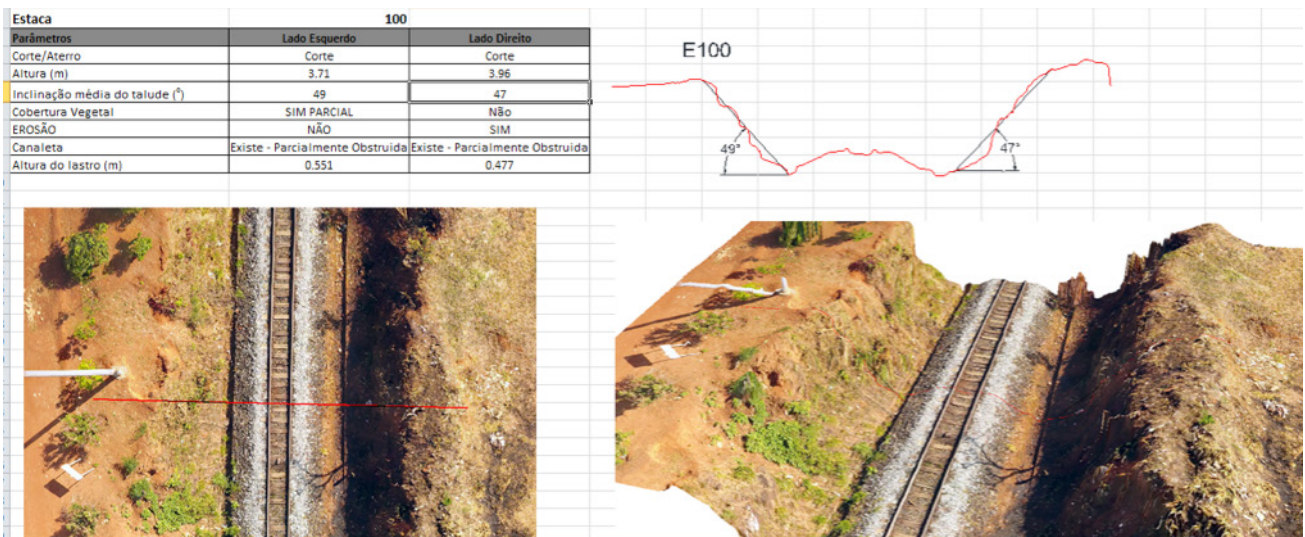


Levantamentos Topográfico
Laser Scanner
Drone

Fonte: os autores

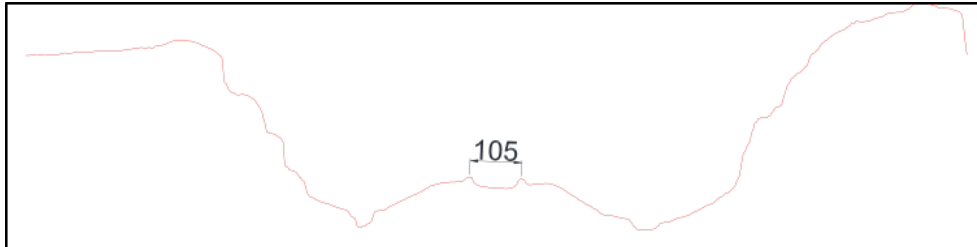
Apresenta-se na **Figura 6.10** a aplicação em inspeção de obras de engenharia. Nesse caso específico, ferrovia: medida real entre trilhos 100 cm, média obtida em fotogrametria 105 cm – diferença 5%.

Figura 6.10 – Vetorização automática e obtenção de informações quantitativas e qualitativas

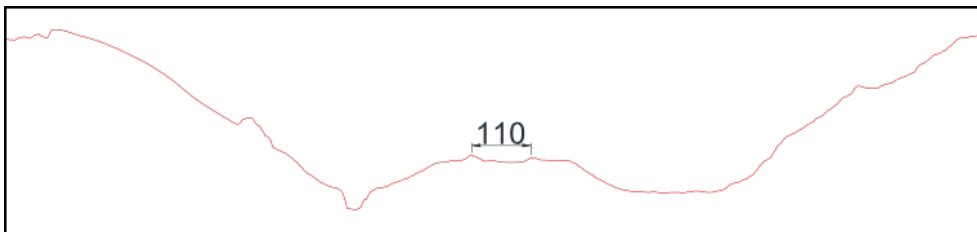


Fonte: os autores

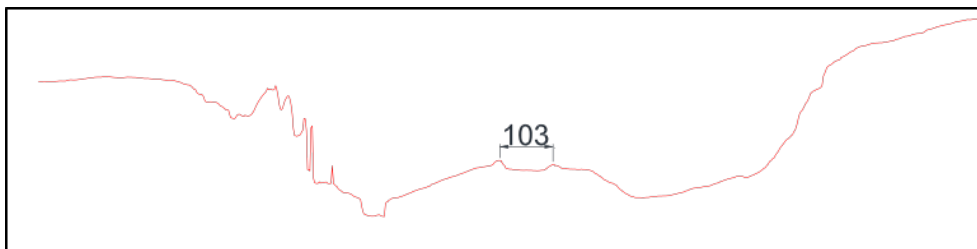
seção 1



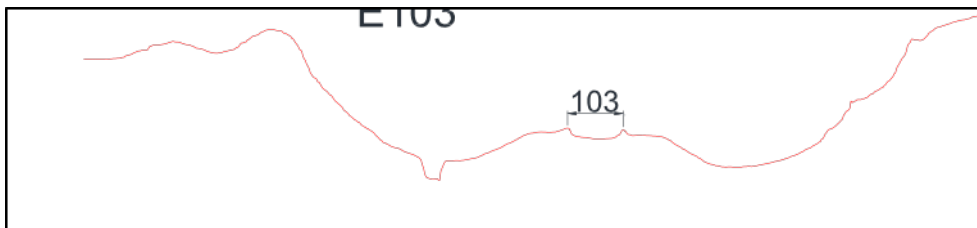
seção 2



seção 3



seção 4



Fonte: os autores

Como última aplicação cita-se a possibilidade de realizar o acompanhamento da execução de obras de engenharia (Figura 6.11, 6.12 e 6.13)

Figura 6.11 – Construção de prédios



Fonte: SkyView.com

Figura 6.12 – Construção de casa



Fonte: SkyView.com

Figura 6.13 – Vista Panorâmica de condomínio pronto



Fonte: SkyView.com

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photogrammetry. Virgínia, ASP, 1980.

AMORIM, A. L., SILVA, L. S.; CHRISTAKOU, E. D. Uso de VANTs em documentação arquitetônica. II Seminário Nacional de Documentação do Patrimônio Arquitetônico com o Uso de Tecnologias Digitais-ArqDoc, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2012, 14 p.

ANAC. INSTRUÇÃO SUPLEMENTAR - IS Nº 21-002. Revisão A. Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para Veículos Aéreos Não Tripulados. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-21-002a/>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

_____. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC–E nº 94. REQUISITOS GERAIS PARA AERONAVES NÃO TRIPULADAS DE USO CIVIL. Disponível em: < http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf/>. Acesso em: 04 mar. 2018.

ANDRADE, J. B. de. Fotogrametria. 2. ed. Curitiba: SBEE, 2003. 274 p.

BAY, H.; Tuytelaars, T.; Gool, L. V. Surf: Speeded up robust features. In Ninth European Conference on Computer Vision, 2006.

COELHO, L; BRITO, J. Fotogrametria digital. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro: 2007. Disponível em: <http://e-foto.sourceforge.net/cap1.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2013.

DAINELLI, R.; TOSCANO, P.; DI GENNARO, S.F.; MATESE, A. Recent Advances in Unmanned Aerial Vehicle Forest Remote Sensing – A Systematic Review. Part I: A General Framework. Forests 2021, 12, 327. <https://doi.org/10.3390/f12030327>

DAVID, G. L. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 60, 2(2004), pp 91-110. DPREVIEW.COM. Disponível em: <https://www.dpreview.com/>. Acesso em: 04 mar. 2018.

GRANSHAW, S. I. Photogrammetric Terminology: Fourth Edition. The Photogrammetric Record 35(170): 143–288 (June 2020). DOI: 10.1111/phor.12314

HERREROS, J. L. E. Los *drones* y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2015, 237 p.

KATZ A. T. S.; BASRI. R. Direct visibility of point sets. In SIGGRAPH 2007, ACM Transactions on Graphics, 2007.

MELO JÚNIOR, C. M. Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aéreo não tripulado e processamento digital de imagens. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016, 376 p.

MUNARETTO, L. Vant e *drones*: a aeronáutica ao alcance de todos. _3.ed. São Paulo: Edição do autor, 2020. 182p.

SALMAN, N.; YVINEC, M.; Mérigot, Q. Feature Preserving Mesh Generation from 3D Point Clouds. Olga Sorkine and Bruno Levy. Computer Graphics Forum, Jul 2010, Lyon, France. Willey, 29, pp.1623-1632, 2010.

UNESP, Disponível em <http://www.unesp.br/prope/projtecn/Outras/Outras01a.htm>
Acesso em: 02 out. 2018.

PARTE II

**INSPEÇÃO COM *DRONE*
EM SISTEMAS DE
COBERTURA**

7. Estudo aplicado na cobertura da Biblioteca Central da UnB

A inspeção é uma tarefa essencial no processo de manutenção predial, pois auxilia no diagnóstico do estado de conservação necessário para programar as atividades de manutenção ou reabilitação que garantem o desempenho do sistema construtivo e a vida útil da edificação (ABNT, 2020). Os procedimentos tradicionais de inspeção predial são ostensivamente demorados, trabalhosos, sensoriais, intrinsecamente visuais e subjetivos, podendo representar ameaças à saúde e à segurança dos inspetores, especialmente considerando o trabalho em altura em sistema de cobertura de difícil acesso.

Por essas desvantagens, o setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) investe em novas tecnologias com o intuito de facilitar os processos de inspeção visual, reduzindo o tempo, o risco de acidentes e os erros na coleta e processamento de dados (SILVEIRA; MELO; COSTA, 2020). Os estudos de referência mostram o interesse do setor AECO nas pesquisas com o uso de *drone* em inspeção de cobertura.

Bown e Miller (2018) destacam as inspeções com *drones* como um método para eliminar os riscos de segurança envolvidos em inspeções manuais em telhado inclinado. Banaszek, Banaszek e Cellmer (2017) descrevem a realização de uma inspeção com *drone* em uma cobertura para avaliar o estado de conservação do sistema e dos equipamentos presentes. Staffa *et al.* (2020) mostraram que o *drone* pode ser utilizado para melhorar a inspeção em coberturas, pois permite diminuir o tempo de inspeção, acelerar a realização de ações corretivas das manifestações patológicas e as não conformidades dos telhados, além de garantir a segurança dos inspetores.

O uso do *drone* cresceu rapidamente na última década, proporcionando maior flexibilidade para a realização de diferentes trabalhos. Nos levantamentos de campo e monitoramento do estado de conservação, a detecção das manifestações patológicas é uma etapa necessária para a criação de banco de imagens *as built* a ser utilizado nos procedimentos automatizados em inteligência artificial baseados em padrões de imagens. Hezaveh, Kanan e Salvaggio (2017) capturaram imagens RGB de telhados para a detecção por *deep learning* dos danos causados por chuva de granizo na extensão do telhamento e o reconhecimento automatizado de danos ocasionado pelo acúmulo de água da chuva em calhas de cobertura. Yudin *et al.* (2018) coletaram uma grande quantidade de dados em um curto espaço de tempo para reconhecimento das

manifestações patológicas, aplicando visão computacional em *deep learning*.

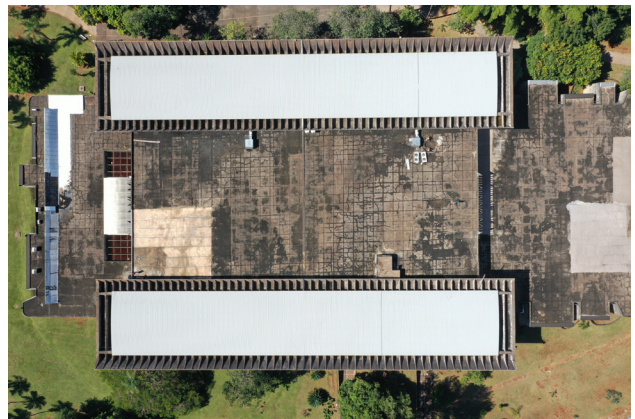
Nesse contexto, o estudo aplicado aqui apresentado visa ao estabelecimento de protocolo para o planejamento de voo com *drone* para a inspeção predial em sistemas de cobertura plana em edifícios em altura, visando às etapas de aquisição dos dados e processamento digital. Para este estudo, foi selecionado o sistema de cobertura da Biblioteca Central (BCE) da Universidade de Brasília. A cobertura constitui-se em uma laje plana, com um sistema de impermeabilização flexível com manta e proteção mecânica (Figuras 7.1 e 7.2).

A BCE está localizada no Setor Centro do Campus Universitário Darcy Ribeiro e compõe a Praça Maior da UnB. Inaugurada em 1973, a Biblioteca Central foi projetada em 1969 por José Galbinski, com a colaboração de Miguel Alves Pereira, Jodete Rios Sócrates e Walmir Santos Aguiar, em concreto aparente como material predominante. Com três pavimentos mais subsolo, ocupando uma área de 16.200 m², o edifício apresenta uma configuração complexa dividida em três diferentes volumes, sendo constituído por um bloco central com o acesso principal e pavimento intermediário – com uma altura de 12 metros, e dois blocos nas suas extremidades. As fachadas do bloco central possuem placas verticais de sombreamento em concreto armado que formam, em conjunto com os *sheds* da cobertura, um sistema de pórticos.

Figura 7.1 – Perspectiva da BCE



Figura 7.2 – Sistema de cobertura da BCE



Fonte: os autores

7.1 Abordagem Metodológica

Este estudo foi delineado nas seguintes etapas: (i) elaboração de um plano de voo; (ii) protocolo de inspeção; e (iii) validação do método aplicado a um experimento. O estudo foi experimental com a realização dos testes em campo. O plano de voo proposto foi aplicado em um levantamento de campo no edifício da Biblioteca Central da Universidade de Brasília, visando à composição de banco de dados de

imagens para os procedimentos automatizados de mapeamento e identificação das manifestações patológicas presentes no sistema de cobertura.

7.2 Planejamento da inspeção com *Drone*

O planejamento preliminar de um plano de voo nos sistemas de cobertura pode fazer uso de um *software* baseado em navegação de GPS. Nesse caso, o operador define a área em que será realizado o mapeamento e indica no *software*. No entanto, a navegação por GPS em inspeções de sistemas de coberturas não é suficiente, pois não permite o controle preciso da altitude. Visto que a altitude é um dos fatores essenciais no plano de voo, considerando a precisão exigida para o mapeamento das manifestações patológicas, o controle manual ainda é a melhor opção a ser executada para voos próximos a esse tipo de sistema (ESCHMANN *et al.*, 2012; AERONAVES, 2021).

Para realizar o plano de voo que visa as regiões de interesse ou o edifício em sua totalidade, é necessário observar a vegetação circundante e garantir que os elementos do paisagismo não interfiram na missão. Para o voo do *drone*, os elementos presentes nos sistemas de cobertura não devem estar obstruídos. Muitas vezes, mais de um voo são necessários para capturar com precisão a totalidade de um edifício (RAKHA; GORODETSKY, 2018). O operador também deve indicar um local de decolagem e pouso com cautela, principalmente precavendo-se das graduações de descida durante o pouso do *drone* (AERONAVES, 2021).

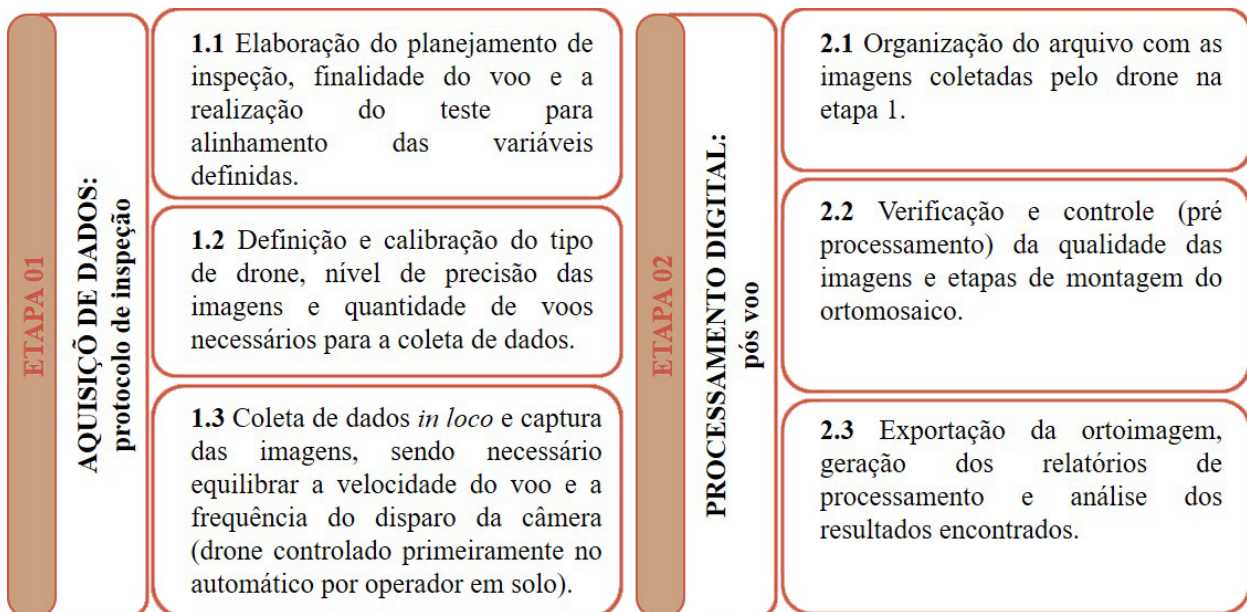
O plano de voo na direção horizontal para sistemas de coberturas deve ser operado com uma velocidade limitada durante a captura das imagens, de modo que a rápida mudança de ângulo não afete as imagens niveladas pela estabilização automática da câmera, que pode ser controlada tanto automática quanto manualmente. Quando a câmera é controlada manualmente, é possível definir o *zoom*, o foco e o obturador, gerando uma grande quantidade de dados (ESCHMANN *et al.*, 2012). Outros aspectos a serem considerados no voo de *drones* incluem a autonomia da bateria – visto ser um recurso limitado –, as condições meteorológicas, a delimitação da área a ser imageada, a vegetação circundante, a resolução da imagem final em *cm/pixel*, o recobrimento transversal e longitudinal e, por fim, os regulamentos legais de espaços aéreos.

No âmbito do levantamento físico *in loco*, o plano de voo para a captura de imagens com *drone* deve considerar a finalidade do levantamento e o detalhamento da missão, incluindo o equipamento a ser utilizado, o nível de precisão das imagens e o tipo de processamento. Para o plano de voo devem ser considerados a implantação do edifício e sua tipologia, o tipo do sistema a ser inspecionado, as condições meteorológicas e

a melhor hora do dia para a realização da missão (LIMA; ZANONI, 2019).

Além disso, a definição das variáveis para a inspeção com *drone* em sistemas de cobertura envolve uma série de parâmetros (Quadro 7.1), entre eles, distância da câmera à cobertura, distância entre as tomadas fotográficas e sobreposição das imagens. As etapas mostradas na Figura 7.3 referem-se aos procedimentos para a coleta do banco de imagens que se processa em duas partes: (i) aquisição de dados e (ii) processamento digital. O banco de imagens gerado na coleta será utilizado para o processamento da ortomagem.

Figura 7.3 – Planejamento da coleta de imagens com *drone*



Destaca-se a importância de um *checklist* antes da saída da equipe para a missão, incluindo a conferência de todos os equipamentos do *drone*, tais como, baterias carregadas e acondicionadas adequadamente para o transporte, caixa com todos os acessórios e ferramentas. Um segundo *checklist* deve ser realizado antes de cada voo: comandos das aeronaves testados, tensão nas baterias checada, plano de voo gravado e a conferência do cartão de memória inserido na máquina.

7.3. Aquisição dos Dados e Parâmetros para Execução dos Voos

Um voo preliminar ao redor do edifício da BCE foi necessário para definir o plano de voo programado utilizando um *software* baseado na navegação por *waypoints*, definidos por coordenadas geográficas através do sistema GPS. Seguindo o protocolo de

inspeção proposto, o foco principal do uso do *drone* passa a ser a aquisição de dados do sistema a ser inspecionado. O **Quadro 7.1** apresenta os parâmetros necessários para o planejamento do voo, com base no objetivo da missão, no equipamento a ser utilizado, no sensor de imageamento e nos resultados esperados.

Quadro 7.1 – Parâmetros para o planejamento do voo

PARÂMETROS	VARIÁVEIS
Altura acima do nível da cobertura	10m – 33m
Tamanho da imagem	Igual ou superior a 5472x3648
Parâmetros fotográficos da câmera	Ajustados conforme as condições climáticas
Ângulo horizontal	90° graus (não se aplica a voos cruzados)
Autonomia da bateria (horas)	22 minutos – 27 minutos
Capacidade de armazenamento	A depender do equipamento
Tipo de voo	A depender do teste realizado em campo
Escolha do equipamento	DJI Mavic Pro
Condições climáticas:	
Tempo; Vento; Visibilidade	Céu limpo, sol a pino e direção do vento conforme a direção da linha do <i>drone</i> para a inspeção.
Empresa credenciada para liberação de uso do <i>drone</i>	Empresa ou piloto amador com licença da ANAC e registro do <i>drone</i>
Tipo de processamento da imagem	Ortoimagem (imagem retificada)
Quantidade e distância entre as linhas de voos	A depender das dimensões da cobertura, definição no teste em campo
Largura da área a imagear	A depender da edificação
Comprimento da área a imagear	A depender da edificação
Formato da fotografia (4/3 ou 3/2)	Conforme equipamento escolhido
Taxa de sobreposição lateral	70%
Taxa de sobreposição frontal	75% - 80%
Inspeção da área a ser imageada	Teste em campo e levantamento de equipamentos e vegetação para planejamento do voo
Resolução da imagem final em <i>cm/pixel</i>	A depender da altitude e do nível de detalhamento
Pontos de controle artificial (GCP) com alvo padronizado	Não se aplica a sistemas de coberturas.

Os parâmetros listados no **Quadro 7.1** só puderam ser definidos após o teste em campo. Como cada edificação possui uma volumetria e um sistema de cobertura próprios, a primeira simulação de voo no local faz-se necessária.

A escolha do modelo do *drone* utilizado baseou-se na capacidade de controlar com segurança o equipamento próximo ao sistema de cobertura. O DJI Mavic 2 Pro (**Figura 7.4**) possui um eficiente controle de estabilização, permitindo que o *drone* pairasse no lugar, mesmo com vento. Isso é uma característica de grande importância durante a inspeção no sistema de cobertura, tendo em vista o impacto na qualidade da imagem - caso o *drone* se mova erráticamente –, e o risco de o vento afetar a estabilidade do *drone* sobre o sistema. Além disso, o Mavic 2 Pro possui um sistema de detecção de obstáculos omnidirecionais, isto é, em todos os lados da aeronave.

A duração da bateria foi outro aspecto importante considerado na escolha do *drone*. A autonomia da bateria do DJI Mavic 2 Pro possui uma capacidade de 31 minutos sem vento. Os pontos de decolagem e pouso foram determinados para o voo automático, assim como a quantidade de linhas de voos necessários para a coleta de dados.

Figura 7.4 – Configuração do equipamento utilizado

DJI MAVIC 2 PRO

Configurações da câmera:

Tamanho da imagem: 5472 x 3648;

Tamanho do sensor: 36.0mm x 24.0mm;

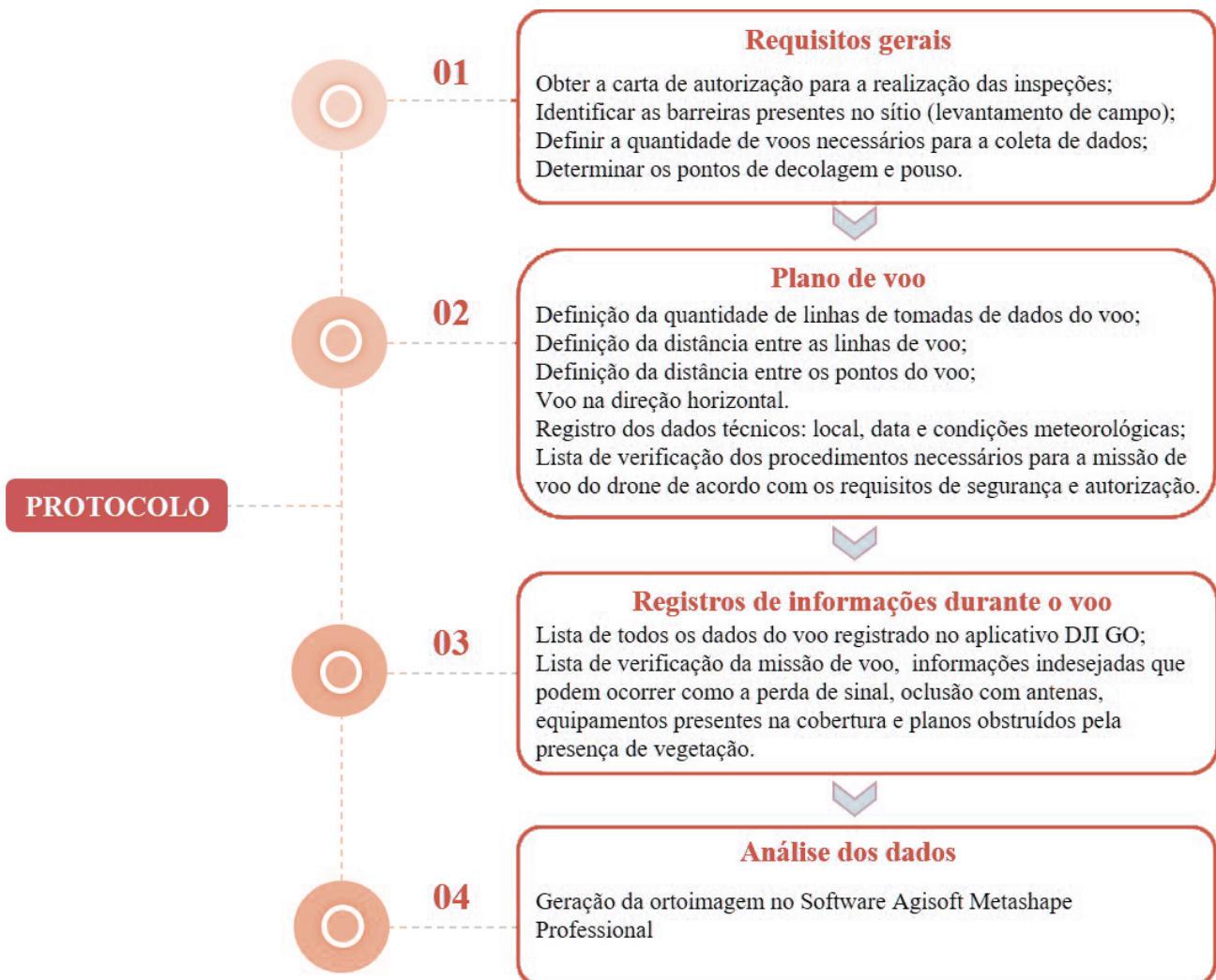
Comprimento focal: 35.0 mm.

Peso de decolagem: 907g.



7.4 Protocolo de Inspeção

O protocolo proposto (**Figura 7.5**) consiste em uma sequência de etapas e atividades, considerando os requisitos de segurança e o uso adequado do equipamento.

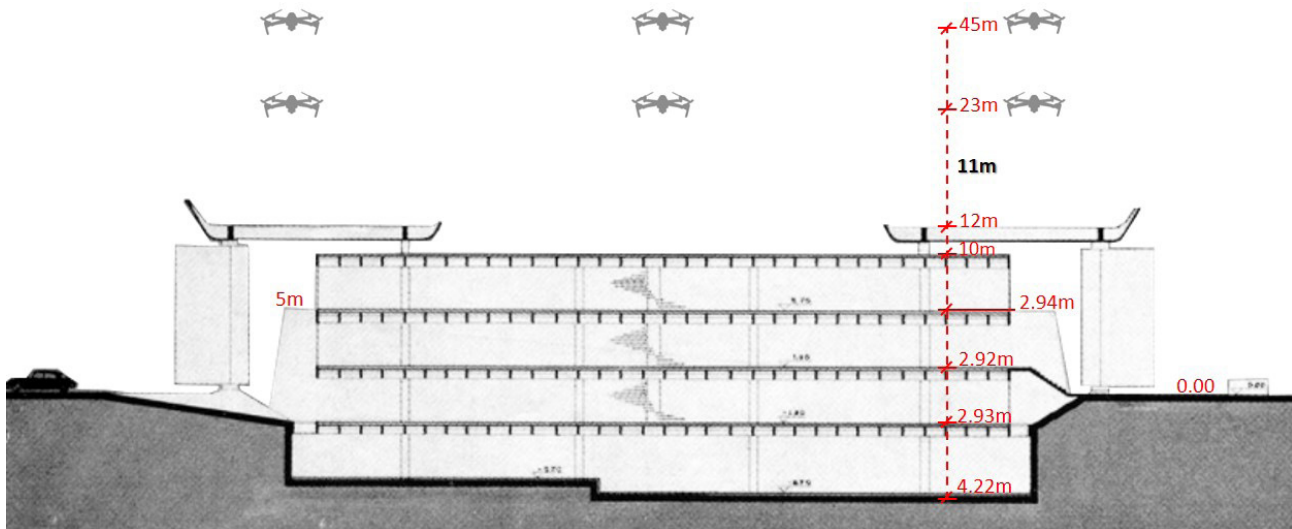
Figura 7.5 – Protocolo de inspeção com *drone* em sistemas de cobertura

7.5 Resultados da primeira etapa do experimento – aquisição de imagens

O experimento foi realizado no mês de maio e, para isso, tornou-se necessário o levantamento das condições meteorológicas, apresentando uma temperatura máxima de 28°C com céu limpo e uma velocidade de vento máximo de 14,8 km/h. O *software* utilizado para o planejamento do voo foi o DJI PILOT, sendo possível alterar a altura e a distância da margem da edificação para a execução do voo.

O *drone* não permitiu o modo automático na realização do voo em altitudes inferiores a 23 metros (**Figura 7.6**), devido à presença de uma árvore de 34 metros ao lado da edificação, sendo necessário considerar um imageamento inferior ao previsto, impactando no processamento de sobreposição das imagens.

Figura 7.6 – Corte longitudinal BCE-UnB



Fonte: Adaptado de Revista Acrópole, ano 31, número 369.

Para este estudo aplicado, foram realizados dois planos de voo, ambos planos de voo horizontal automático. Para isso, adotou-se os parâmetros descritos no **Quadro 7.2** definidos pela quantidade de linhas para as tomadas de dados, bem como as distâncias, os pontos e o tipo de direção (**Figura 7.7**).

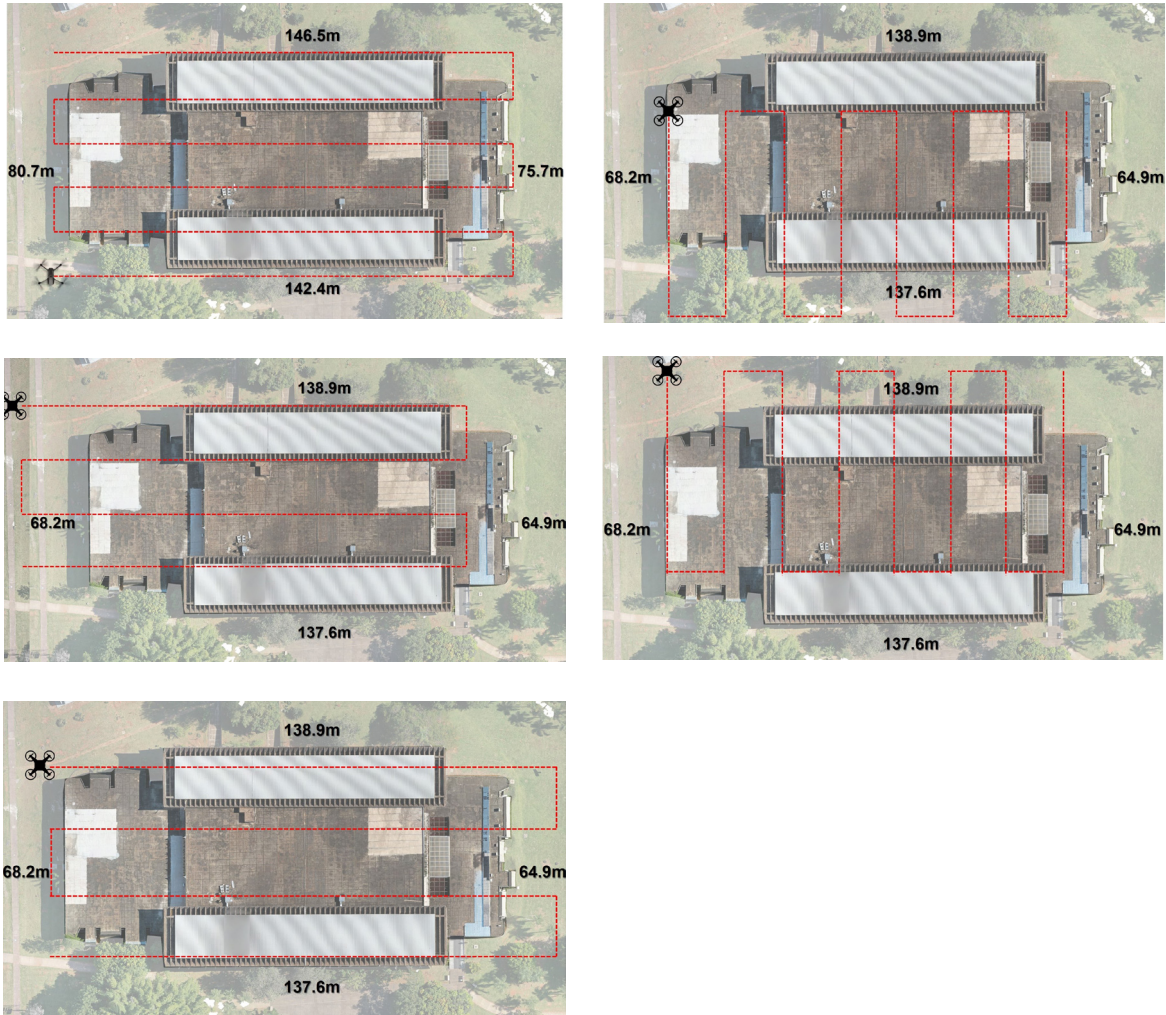
Quadro 7.2 – Roteiro de aquisição de dados

Voo	Data da inspeção	Nº fotos coletadas	Nº de voos	Drone	Duração do voo	Altitude	Tipo de voo
A	07/05/2021	493	5	Mavic 2 Pro	15m 25s	45 m	Automático (3D - cruzado)
B	07/05/2021	477	1	Mavic 2 Pro	20m 41s	23 m	Automático

O primeiro voo (**Figura 7.7a**) com a altura de 45m do solo, manuseio no modo automático, com o plano de voo cruzado em 5 direções e ângulo da câmera a 90°, possibilitou a criação de uma nuvem de pontos em *software* 3D. O segundo voo (**Figura 7.7b**) considerou um imageamento menor, devido à limitação da altura de voo decorrente da árvore presente no local. Portanto, adotou-se a altitude de 23 metros por motivo de segurança do *drone* e da altura limite autorizada pelo *software* para seu manuseio automático.

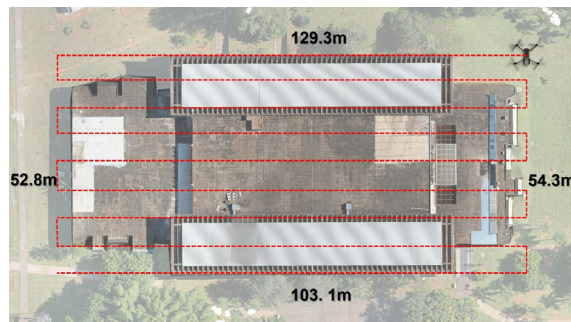
Figura 7.7 – Plano horizontal adotado e linhas de voo automático.

(a) 45 metros de altitude - voo cruzado



Fonte: os autores

(b) 23 metros de altitude



Fonte: os autores

7.6 Resultados da segunda etapa do experimento – processamento das imagens (pós-voos)

Após o levantamento aéreo, a segunda etapa foi o processamento dos dados digitais das imagens selecionadas utilizando o *software* Agisoft Metashape 1.5.0 build 7492 para a construção do ortomosaico, a partir de técnicas de reconhecimento de padrões que analisam os *pixels* semelhante entre as imagens. Este processo é realizado por algoritmos computacionais que reposicionam cada *pixel* da imagem de acordo com a projeção ortogonal de cada um destes, gerando a ortoimagem digital, ajustada geometricamente. O **Quadro 7.3** detalha os dados de processamentos realizados nos dois planos de voos executados.

Quadro 7.3 – Dados de processamento

PARÂMETROS ADOTADOS	TIPO DE VOO	
	A	B
Data da inspeção	07/05/2021	
Horário	12h 33min	13h 11min
Número de voos	5	1
Número de fotos coletadas	493	477
Altitude de voo (m)	45 m	23 m
Área coberta	9231 m ²	7576 m ²
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG:4326)	
Duração total do voo (min)	15m 25s	20m 41s
Velocidade de voo (km/h)	10 m/s	6,1 m/s
Taxa de sobreposição lateral (%)	70%	70%
Taxa de sobreposição frontal (%)	80%	80%
Taxa de sobreposição lateral (obliquo) (%)	60%	-
Distância entre linhas de voo (DLV)	Aproximadamente 11m – 17m – 17m – 17m – 17m	Aproximadamente 6m
Distância do voo	877m - 780m - 666m - 777m - 666m	1416 m
Waypoints (quantidades)	12 – 16 – 8 – 16 - 8	22
Longitude	-	-47,8672008
Latitude	-	-15,7608388
DEM – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO		
Tamanho do <i>pixel</i> (GSD)	14,6cm/ <i>pixel</i>	9,86mm/ <i>pixel</i>
Densidade de pontos	46,9 pontos/cm ²	1,03 pontos/cm ²
ORTOMOSAICO		
GSD	0,85cm/ <i>pixel</i>	0,43cm/ <i>pixel</i>

O fluxo de trabalho do processamento das imagens capturadas e introduzidas no *software* Agisoft Metashape inicia-se no carregamento das imagens até a geração dos modelos de superfície, da nuvem de pontos e do ortomosaico. Nesse processamento, as ações executadas foram: carregamento das imagens; alinhamento das imagens e construção do modelo de nuvens de pontos esparsas; construção da nuvem densa de pontos; construção da malha; aplicação da textura; DEM; e ortomosaico.

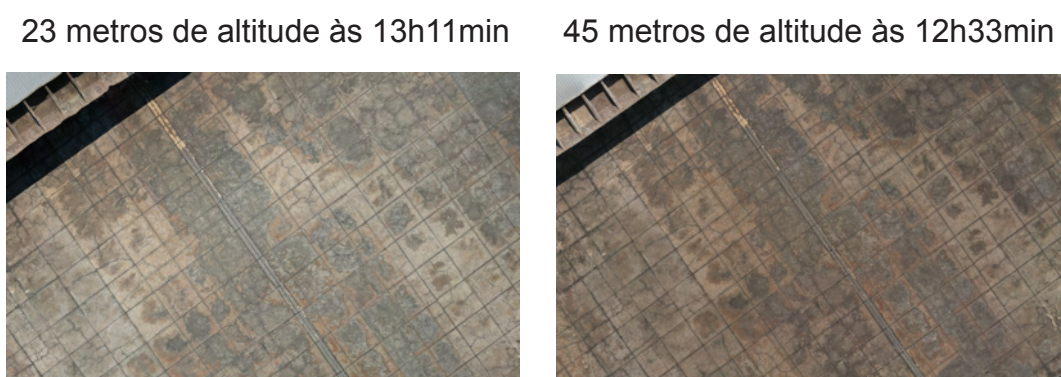
O sistema de coordenada utilizado para o processamento do ortomosaico foi o WGS 84 (EPSG:4326) e ao final de cada processamento foram gerados relatórios para cada voo, no qual foi possível observar o tamanho do *pixel*, quantidade de sobreposição de imagens em cada parte do modelo, a área total imageada e a altura do voo.

7.7 Análise do Experimento – Inspeção com Drone no Sistema de Cobertura

Quando comparados o voo de 45 metros com o voo de 23 metros de altitude em relação ao nível do solo, a altura de voo em relação ao plano da cobertura foi o ponto determinante para a resolução das imagens coletadas, uma vez que quanto mais longe da superfície mapeada, menor foi a quantidade de detalhes capturados. Por outro lado, quanto mais perto o voo esteve da superfície de interesse, menor foi a área capturada das imagens, o que implicou em um número maior de imagens para uma mesma área, em um tempo maior de levantamento.

Considerando a altitude de 23 metros em relação ao nível do solo (11 metros em relação ao plano de cobertura), a qualidade da imagem foi alta quando comparada ao voo de 45m, fato justificado pela quantidade *cm/pixel* resultantes. Nos dois voos realizados foi possível visualizar as manifestações patológicas no sistema de impermeabilização, porém sem precisão necessária para a sua mensuração. No voo de 23 metros do solo (11 metros da superfície de cobertura), realizado às 13h11min, obteve-se boa luminosidade e visibilidade das imagens (**Figura 7.8**).

Figura 7.8 – Diferença de luminosidade detectada em diferentes altitudes



Fonte: os autores

Quando o voo possui uma menor altitude, deve ser considerada a existência de obstáculos na rota do voo para evitar colisões. Neste caso, por questões de segurança do equipamento no voo automático, a presença de uma árvore no local tornou-se uma limitação para o imageamento da área da borda, resultando em problemas na sobreposição da imagem para a geração da ortoimagem.

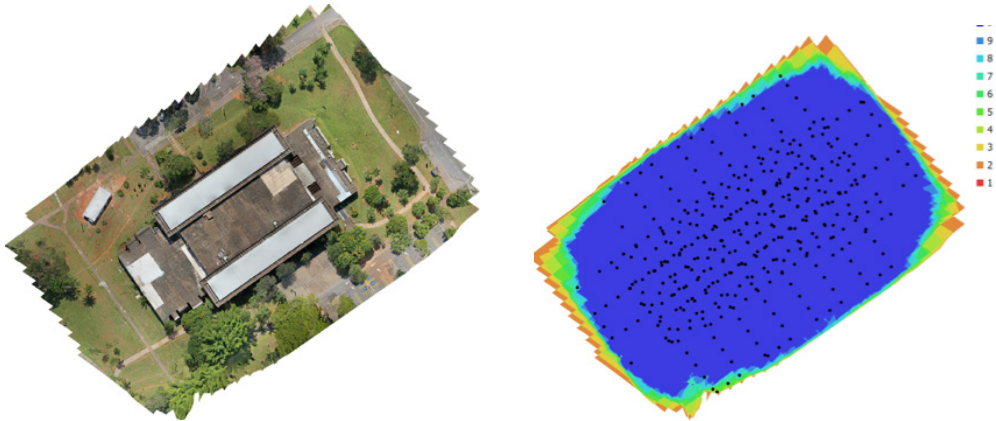
No voo cruzado de 45 metros para a criação da nuvem de pontos em 3D, as bordas curvas presentes no elemento de cobertura apresentaram um defeito de esgarçamento. Neste caso, foi necessário a realização de testes em diferentes ângulos da câmera em um voo manual para a verificação do problema apresentado pelo voo automático, possibilitando uma nova configuração de processamento. Outro fator que influenciou esta ocorrência foi a produção de sombreamento ocasionados pela vegetação. Recomenda-se nessa situação a programação de um plano de voo manual, determinando os ângulos de câmeras necessários para a captura e o processamento adequado das bordas e do sombreamento da vegetação presente.

Ao observar as imagens da localização das câmeras e à ortoimagem gerada em formato TIFF, foi possível identificar, por meio da paleta de cores, os problemas ocorridos no processamento (Figura 7.9). As zonas em azul significam que nessa região a quantidade de sobreposição de imagem foi suficiente para o reconhecimento e junção dos *pixels* para a formação da ortoimagem. As áreas em branco presentes nas extremidades da ortoimagem representam que, nestes pontos, a quantidade de fotografias não foi suficiente para o processamento e sobreposição. Além da presença de vegetação, a ação do vento nessas localidades acarreta esse tipo de imprecisão no processamento.

A variação de cor do vermelho para o azul representa a quantidade de imagens usadas que varia em uma escala de 1 a 9 ou mais, utilizadas no processamento da ortoimagem. Observa-se que as regiões das bordas apresentam uma menor quantidade de imagens, variando de 1 a 6. Isso acontece por causa da distância entre as linhas de voo, bem como a quantidade adotada no plano de voo, o que acarreta uma menor quantidade de imagens capturadas nas regiões extremas da área imageada.

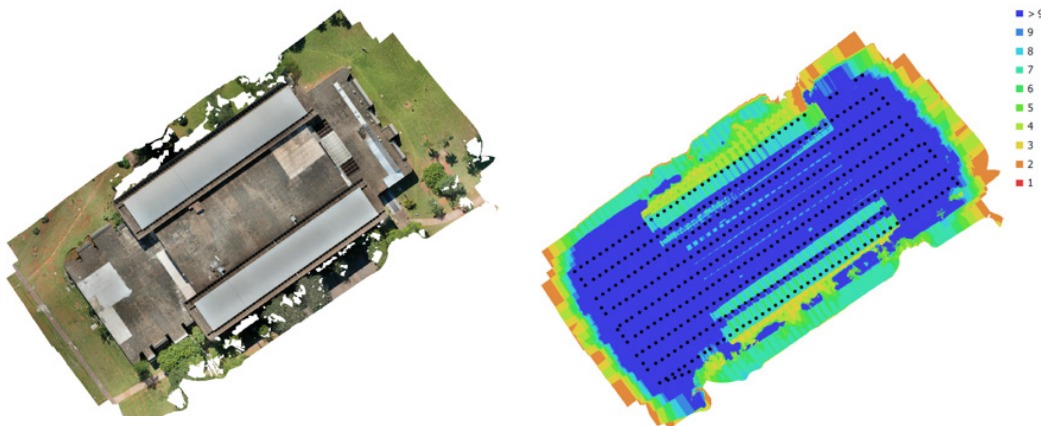
Figura 7.9 – Ortoimagem, localização das câmeras e sobreposição de imagens

Voo 3D – 45 metros



Fonte: os autores

Voo – 23 metros



Fonte: os autores

As limitações identificadas nas diferentes altitudes utilizadas mostraram a necessidade da realização de voos inferiores a 23 metros do solo, ou seja, voos com uma altura inferior a 11 metros, considerando a superfície da cobertura, por causa da resolução dos *pixels* obtidos e a qualidade da imagem. Considerando as altitudes definidas como ideais no referencial teórico deste trabalho, não foi possível a realização do plano de voo automático inferior aos 11 metros, por causa do obstáculo presente no local e a limitação definida pela segurança do *drone*. Salienta-se a importância da escolha da hora do dia para a melhor visualização das fissurações. Tratando-se do sistema de laje impermeabilizada, o tipo de manifestação patológica encontrada em superfícies cimentícias deve considerar a resolução de *pixel* em milímetros.

7.8 Considerações sobre o estudo aplicado na cobertura da Biblioteca Central da UnB

O protocolo proposto neste estudo aplicado mostrou que os parâmetros definidos quanto ao planejamento de voo para a inspeção predial foram eficazes. O planejamento para a determinação dos pontos de decolagem e pouso, a quantidade de voos necessários para a coleta de dados e a identificação prevista de obstáculos no sítio foram parâmetros essenciais no sucesso da missão. As limitações encontradas referem-se, principalmente, aos obstáculos (árvores presentes no local) que impediram o voo automático em diferentes alturas, inferiores a 11 metros.

A inspeção visual com o auxílio de *drone* mostra-se um processo promissor quando associado às tecnologias de *softwares* que favorecem o fluxo de informações na comunicação e avaliação das ações de manutenção dos sistemas de cobertura. A coleta de imagens em alta definição e o seu processamento possibilitam a identificação e medição das manifestações patológicas, sua forma e dimensão. O tempo necessário para o processamento das imagens e geração das ortoimagens dependem da capacidade do sistema de computador para a obtenção de resultados rápidos e de excelente visualização.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16747: Inspeção Predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020, 20 p.

AERONAVES, H. Aerofotogrametria com Drones: conceitos básicos. CONCEITOS BÁSICOS. Disponível em: <https://horusaeronaves.com/ebook/ebook-aerofotogrametria-com-drones-horus.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2021.

BANASZEK, A; BANASZEK, S.; CELLMER, A. Possibilities of Use of UAVS for Technical Inspection of Buildings and Constructions. Iop Conference Series: Earth and Environmental Science, [S.L.], v. 95, p. 032001, dez. 2017. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/95/3/032001>.

BOWN, M.; MILLER, K. 2018. “The Use of Unmanned Aerial Vehicles for Sloped Roof Inspections – Considerations and Constraints”. Journal of Facility Management Education and Research, Vol. 2, No. 1, pp. 12-18.

ESCHMANN, C.; KUO, C.-M.; KUO, C.-H.; BOLLER, C. Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring'. In: Proceedings of the 6th European Workshop on Structural Health Monitoring, July 3–6, 2012, Dresden, Germany, 2, pp. 1–8.

HEZAVEH, M.M.; KANAN, C.; SALVAGGIO, C. Roof Damage Assessment using Deep Learning. 2017 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR), [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-6, out. 2017. IEEE. pp. 6403-6408, doi: 10.1109/AIPR.2017.8457946 <http://dx.doi.org/10.1109/aipr.2017.8457946>.

LIMA, B. B.; ZANONI, V. A. G. Método de Análise do Estado de Conservação para Sistemas de Revestimento de Fachada em Mármore: o caso do Congresso Nacional. 13º Seminário Docomomo, Salvador, v. 1, n. 1, p. 1-16, jul. 2019. Anais. Salvador, 2019.

NEX, F.; REMONDINO, F. Preface: latest developments, methodologies, and applications based on uav platforms. Drones, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 26, 14 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/drones3010026>.

RAKHA, T.; GORODETSKY, A. Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: towards automated building inspection procedures using drones. Automation In Construction, [S.L.], v. 93, p. 252-264, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>.

REVISTA ACRÓPOLE. São Paulo: Fauusp, v. 369, 1970. Disponível em: <http://www.acropole.fau.usp.br/edicao/369>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SILVEIRA, B.; MELO, R.; COSTA, D. B. Using UAS for Roofs Structure Inspections at Post-occupational Residential Buildings. Lecture Notes in Civil Engineering, p. 1055-1068, 14 jul. 2020. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_73.

STAFFA, L. B. Jr; SÁ, L. S. V; LIMA, M. I. S. C; COSTA, D. B. Uso de técnicas de processamento de imagem para inspeção de estruturas de telhados de edificações para fins de assistência técnica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18, 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

YUDIN, D; NAUMOV, A; DOLZHENKO, A; PATRAKOVA, E. Software for roof defects recognition on aerial photographs. Journal Of Physics: Conference Series, [S.L.], v. 1015, p. 032152, maio 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032152>.

PARTE III

**INSPEÇÃO COM *DRONE*
EM SISTEMAS DE FACHADA
DE EDIFÍCIO ALTO**

8. Estudo aplicado na fachada-cortina do Edifício Sede dos Correios

Quando se trata de levantamentos físicos e inspeções prediais de fachadas em edifícios altos, pelos métodos tradicionais, a questão da segurança é um ponto chave na análise de risco do serviço. O profissional que realiza a vistoria exerce atividades em altura que exigem equipamentos de descida e de proteção adequados, além de treinamento da equipe envolvida. No levantamento tradicional, leva-se muito tempo para a realização da coleta de dados com auxílio de anotações manuais e registro fotográfico dos trechos com problemas identificados, principalmente quando se faz necessária a mudança de posição dos dispositivos de descida (balancim, andaimes, cadeirinhas, etc.). Em se tratando de fachada-cortina, a altura e a extensão dos panos verticais aumentam o risco de causar danos nos vidros, ou mesmo ferir os inspetores.

Nos casos de inspeções de edifícios altos é relevante o uso de métodos e técnicas que reduzam custos operacionais com a mobilização dos equipamentos e dispositivos, diminuindo as chances de acidentes com os profissionais que irão realizar a vistoria, e que tragam rapidez na coleta de dados. Assim, observa-se uma tendência entre os especialistas em inspeção predial quanto ao uso de *drones* para a captura de imagens de fachadas como apoio às etapas de diagnóstico e avaliação da conservação (FALORCA; LANZINHA, 2021; BALLESTEROS; LORDSLEEM JR, 2021; LIMA *et al.*, 2020; LIMA; ZANONI, 2019).

A fotogrametria digital de alta resolução apresenta-se como uma opção para a geração de modelo 3D em relação ao levantamento manual para documentar e verificar as condições *as built* dos elementos construídos. Os produtos fotogramétricos apresentam vantagens potenciais em relação ao levantamento manual, em especial, menos tempo e mão de obra gastos no local; maior acessibilidade à geometria do edifício e suas características, superando os limites dos dispositivos tradicionais de medição; e a geração simultânea de dimensões 2D e dados espaciais digitais 3D. Apesar das limitações ainda encontradas quanto à acurácia e precisão, os modelos e desenhos *as built* têm relevância na etapa de operação e manutenção dos edifícios e devem se manter atualizados como documentos para incorporar as mudanças realizadas durante a etapa de uso (KLEIN; LI; BECERIK-GERBER, 2012).

As tecnologias digitais para aquisição de imagens demandam controle e eficiência dos métodos e das técnicas para a coleta de dados, visto que influenciam a qualidade dos resultados. Para tanto, as diretrizes para qualidade do levantamento fotográfico abrangem desde o posicionamento correto da câmera em função da forma do

edifício; a quantidade de fotografias que sugere três ou mais imagens do mesmo ponto; e os cuidados com a sobreposição das imagens para maior fidelidade do produto gerado ao objeto real (MELO JUNIOR, 2016). Quanto maior a quantidade de imagens, menor a probabilidade de erros na identificação dos pontos.

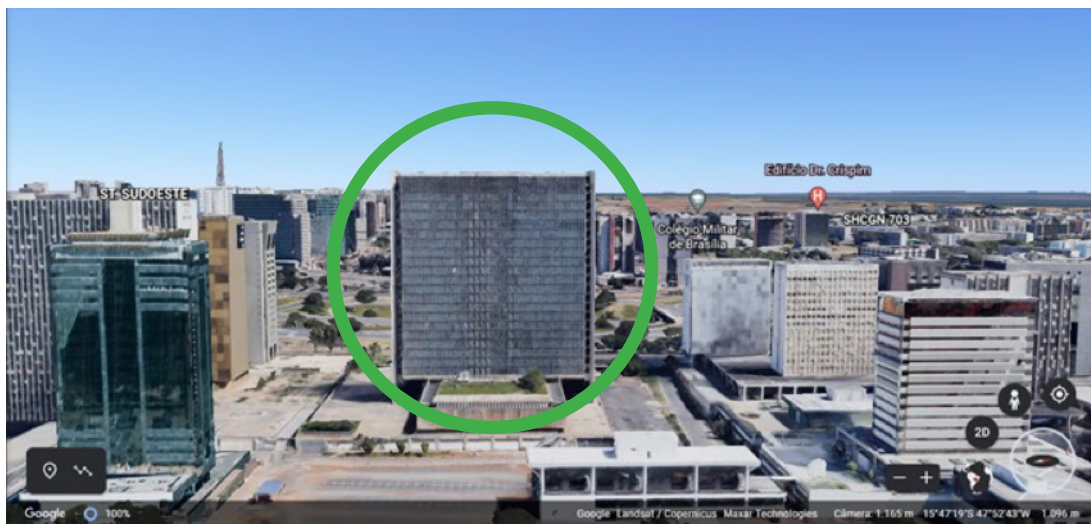
A distância entre a aeronave e o edifício são definidas em razão das restrições oferecidas ao acesso do *drone* no espaço construído. Utilizando um equipamento Phantom 4 Pro V 2.0, Lima e Zanoni (2019) conseguiram uma aproximação de cinco metros no levantamento fotográfico realizado ao longo dos 28 pavimentos das torres do Congresso Nacional em Brasília, com sobreposição estabelecida para as fotografias de 60% lateralmente e de 80% no sentido longitudinal. Devido à proximidade entre as duas torres do Congresso Nacional, por aspectos de segurança, as bordas das empenas foram registradas a um ângulo de 45°, para que o *drone* não adentrasse no espaço confinado entre as duas torres. No pós-processamento digital por DSM (*dense stereo machine*) e vetorização dos dados contidos nas ortoimagens, foi possível identificar e registrar aspectos técnicos, construtivos e do estado de conservação do sistema, embora as autoras tenham tido dificuldade quanto à identificação de fissuras com aberturas entre 0,5 mm e 1 mm.

O levantamento realizado por Ballesteros e Lordsleem Jr (2021) em um edifício de 16 andares (48 m de altura) com revestimento cerâmico, utilizando um *drone* do tipo Phantom 4 Pro V 2.0, adotou uma distância de 8 m entre o *drone* e a fachada e, entre as estações, 1,8 m no sentido vertical e de 3,2 m no sentido horizontal. Embora os ortomosaicos gerados tenham representado fielmente a vista ortogonal verdadeira da fachada, facilitando a localização das manifestações patológicas no plano geral da fachada, as fotografias digitais originais, sem retificações, apresentaram o melhor desempenho na identificação das manifestações patológicas, proporcionando maior confiabilidade para a inspeção visual.

Em um edifício alto (cerca de 120 m de altura) com revestimento cerâmico aderido, Lima *et al.* (2020) realizaram uma inspeção das manifestações patológicas das fachadas com o emprego de um Phantom 4 Pro V 2.0, em curto espaço de tempo associado a uma maior eficiência na obtenção das imagens, se comparado a uma inspeção tradicional. Foi adotado 8 m de distância câmera-fachada para captura de imagens e as dimensões cobertas por cada fotografia foram iguais a 7,30 m para a altura e 12,97 m para a largura, com ampliação de margens para captura de imagens com sobre altura e sobre largura iguais a 1 m cada. A identificação das manifestações patológicas – eflorescências, trincas, mofo e destacamento cerâmico – deveu-se, principalmente, pela qualidade de resolução da câmera do equipamento e do processamento das imagens com os recursos disponíveis no *software Agisoft*.

Nesse contexto da inspeção predial utilizando o *drone* como ferramenta de captura de imagem, apresenta-se um estudo aplicado da fachada-cortina oeste do Edifício Sede dos Correios localizado no Setor Comercial Norte em Brasília/DF (Figura 8.1). O edifício selecionado, inaugurado em 1978 com características tipológicas modernistas, é composto por 20 pavimentos-tipo usados para atividades administrativas e dois pavimentos de subsolo, onde se localizam as garagens, mais o pavimento térreo onde ficam as praças e os acessos. Assim, a inspeção da fachada buscou identificar os aspectos que influenciam o uso do *drone* como ferramenta para captura de imagens do sistema de vedação vertical em fachada-cortina de um edifício alto.

Figura 8.1 – Localização do Edifício Sede dos Correios e a fachada-cortina a ser estudada



Fonte: Google Earth Fonte: Google Earth

Em contraponto aos procedimentos tradicionais – ostensivamente manuais – usualmente empregados no setor de AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação), investiga-se o uso do *drone* como ferramenta de captura de imagens, com o intuito de auxiliar nos levantamentos e diagnóstico dos danos identificados para que medidas preventivas ou corretivas sejam adotadas pela equipe de manutenção. A técnica de inspeção de fachada-cortina em edifícios altos com o auxílio do *drone* ainda é pouco explorada na literatura e muitos aspectos relacionados à segurança, qualidade e precisão dos dados coletados precisam ser equacionados.

8.1 Delineamento metodológico

A inspeção predial realizada na fachada-cortina com orientação oeste do Edifício Sede dos Correios nas condições ambientais da cidade de Brasília/DF seguiu as diretrizes recomendadas pela NBR 16747 (ABNT, 2020). Os documentos técnicos, projetos e memoriais descritivos existentes foram consultados pela equipe de campo para embasar as decisões quanto ao plano de voo e outros aspectos de segurança necessários para a realização da missão.

A etapa de aquisição e processamento das imagens coletadas pelo segue os procedimentos recomendados pela literatura técnica e constitui-se de caráter exploratório para este estudo aplicado. A identificação dos aspectos que influenciam o uso do *drone* como ferramenta que auxilie na inspeção predial está balizada na qualidade e precisão das imagens para compor um banco de dados para os procedimentos automatizados de mapeamento das manifestações patológicas presentes no sistema de fachada-cortina.

8.2 Planejamento da inspeção com *drone*

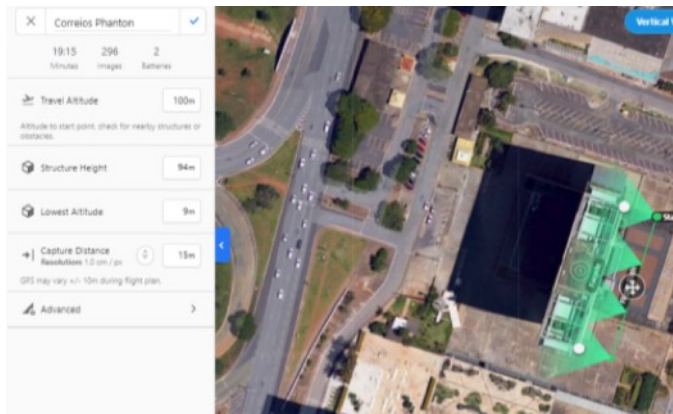
Na etapa de planejamento obtém-se dados relevantes como identificação das características do edifício – altura e componentes – e existência de obstáculos que possam limitar ou impossibilitar a captura de imagens, como jardins, fiações elétricas, ou qualquer outro elemento que exponha o *drone* ao risco de colisão. Para identificação do local, acessos e prováveis obstáculos, pode-se obter informações do *Google Earth* que, por vezes, fornece imagens desatualizadas. Por isso, ressalta-se a necessidade da confirmação de dados em uma inspeção preliminar *in loco*. A inspeção preliminar consiste em um voo pré-teste para verificação da capacidade do *drone* de adquirir as imagens com qualidade suficiente para serem reconstituídas e na qual se identifiquem os componentes construtivos de interesse.

Como ponto de partida para este estudo exploratório, foi adotado o planejamento feito pelo *software Drone Deploy*, com os parâmetros de localização cartesiana do edifício e suas características de altura. Foram adotados distância focal de 15 m e taxa de sobreposição requerida para as imagens de 70% frontal e 80% lateral, prevendo cerca de 300 fotos no total.

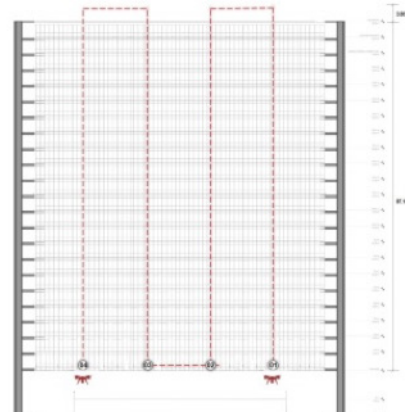
A **Figura 2a** apresenta os parâmetros de entrada no *Drone Deploy* e a projeção do plano de voo traçado. Na **Figura 8.2b** é apresentado o percurso vertical do plano de voo que servirá como parâmetro para a captura das imagens com o Phantom 4 Pro V 2 com câmera digital integrada e estabilizador de câmera.

Figura 8.2 – Plano de voo

a) Dados de entrada no *Drone Deploy* e projeção em planta do plano de voo



b) Percurso vertical do plano de voo



Fonte: os autores

O controle do voo do *drone* durante a coleta das imagens foi realizado de forma manual e, por isso, foram traçados pontos de referência para que a distância focal fosse mantida próxima da estabelecida no plano de voo. Com o *drone* em voo e o piloto tomando as decisões, um observador especialista manteve-se atento às manobras para o seguro afastamento da fachada e obstáculos do ambiente exterior, respeitando os princípios de linha de visão do operador (*Line of Sight – VLOS*), de acordo com as recomendações de Liu, Cai e Zhu (2020).

Na ocasião, a decisão da equipe técnica pelo voo em modo manual foi tomada por questões de segurança, em função da proximidade com os outros edifícios do Setor Comercial Sul de Brasília. Ainda que o *software Drone Deploy* tenha traçado quatro linhas de percurso para a captura de imagens, o piloto preferiu inserir manualmente mais linhas de rota, tendo em vista a alta reflexão dos vidros da fachada-cortina – fator limitante para a reconstituição das imagens – conforme orienta o manual do *Agisoft Metashape* (2019).

8.3 Aquisição e Processamento das Imagens

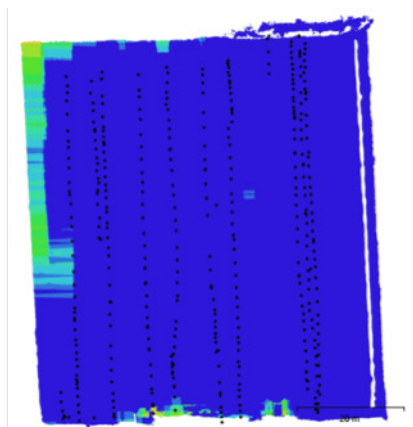
A aquisição das imagens com o *drone* foi realizada em abril de 2021, cujos parâmetro definidos visavam a imagens englobando os vidros, montantes e travessas em alumínio, além das vinculações com os elementos de acabamento na parte inferior e superior da fachada. Conforme indicado no manual do *software*, são necessárias seis imagens, no mínimo, para que o modelo seja o mais próximo da realidade. Sendo assim, a quantidade de imagens coletadas atendeu ao parâmetro técnico, exceto o canto superior esquerdo que apresentou cerca de quatro fotos. Das 500 imagens adquiridas na coleta de dados, foram usadas 498 no processamento.

Na **Figura 3a** está ilustrada a locação das câmeras no momento da captura das imagens e a legenda de cores indica a quantidade de imagens que o *Agisoft Metashape* achou na sobreposição. O problema na reconstituição da borda esquerda do edifício (área verde da **Figura 8.3a**), provavelmente é explicado pela quantidade insuficiente de imagens coletadas no mesmo ponto, prejudicando a qualidade do modelo.

Na **Figura 8.3b** é apresentada uma ortomosaico gerada após processamento dos dados no *Agisoft Metashape*. Nela é possível notar que a qualidade da imagem retificada ficou comprometida, não apenas pela perda de alinhamento, mas também pela resolução do *pixel* – 1,56 cm/*pix* – e cujo erro de reprojeção foi de 1,21 *pix* (**Figura 8.3a**). Embora a quantidade de fotos usadas no modelo tenha sido suficiente para uma boa sobreposição, o resultado da imagem retificada não foi suficiente para a reconstituição desejada.

Figura 8.3 – Locação das câmeras, ortomosaico e erros aplicáveis

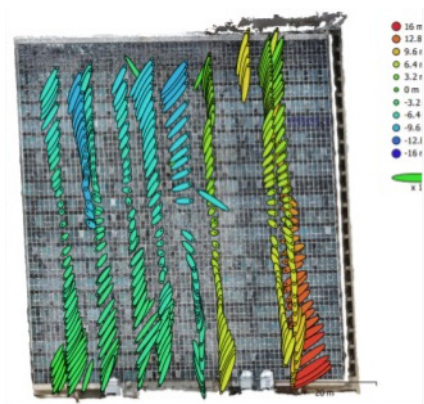
a) locação das câmeras



b) ortomosaico



c) locação das câmeras e erros



Fonte: os autores

Em parte, as falhas se devem aos erros aplicáveis quando da tomada das imagens, indicados na **Figura 8.3c**, em que o erro em Z é representado pela cor da elipse e os erros em X e Y são representados pela forma da elipse. Os pontos pretos são os locais estimados da posição da câmera. Esses erros que ocorrem na aquisição das imagens são explicados pela ação de arrasto dada pela pressão de vento no equipamento, mas também está relacionado ao fato de ser um voo manual e, portanto, menos preciso que o automático.

8.4 Análise do experimento – inspeção com drone no sistema de fachada-cortina

Quando se amplia a ortoimagem (Figura 8.4), é possível identificar diversos quadros de vidros trincados, embora se possa notar que a imagem retificada apresenta falhas de continuidade dos componentes naqueles locais em que as esquadrias estavam abertas. É provável que a falha ocorra porque, ao alinhar as diversas imagens de fotos diferentes, o programa interpola os dados e, por razões de perspectiva, a folha basculante aberta é menor na parte superior e maior na base, resultando em um modelo reconstituído distorcido nesses locais.

Figura 8.4 – Identificação de vidros quebrados na ortoimagem



Fonte: os autores

Figura 8.5 – Danos identificados



Fonte: os autores

Um fator importante na inspeção com *drone* em fachada-cortina é a questão da reflexão do vidro, observado na ortoimagem da Figura 8.5. As reflexões dificultam a identificação de danos, mas não inviabiliza o uso da técnica. Além do que, nos casos de dúvida do profissional especialista quanto ao fato de haver ou não manifestação patológica, é possível recorrer à imagem original de alta resolução – de melhor

qualidade que a reconstituída – e examiná-la com esmero.

Uma forma de reduzir a reflexão dos vidros é planejar os voos em dias nublados ou ao entardecer, por exemplo. Outra situação verificada é a necessidade de fechar as cortinas dos ambientes de trabalho para reduzir a reflexão, além de aumentar a capacidade de aplicação de textura no modelo e, conseqüentemente, melhorar a geração da ortoimagem. Uma opção para melhorar a precisão do ortomosaico nos modelos gerados nesta pesquisa é a mudança dos parâmetros de processamento das imagens.

8.5 Considerações sobre o estudo aplicado na fachada-cortina do Edifício Sede dos Correios

Desde o começo do século XX, a fachada-cortina foi elemento central para a concepção e desenvolvimento do arranha-céu da arquitetura moderna (KELLEY, 2008). Há um número considerável de edifícios construídos com essas características ao redor do mundo. Em especial, Brasília reúne vários exemplares dessa tipologia arquitetônica do edifício alto com fachada-cortina, que compõem a paisagem cultural da cidade modernista – patrimônio mundial. Passados 60 anos da sua inauguração, o centro comercial de Brasília sofre as pressões impostas pelos ciclos de renovação tecnológica para *retrofit*, o que expõe a necessidade de verificar como esses edifícios altos e suas fachadas-cortinas estão atendendo ao desempenho requerido.

Ocorre que o envelhecimento de seus elementos e sistemas demandam manutenções preventivas e corretivas para que possam manter seu desempenho adequado às funções para as quais foram construídos. Ao falhar em sua função, os componentes perdem a estanqueidade e ocorrem infiltrações que provocam umidade e danos no interior da edificação. As deformações e os deslocamentos da fachada-cortina associados ao sistema estrutural em concreto armado também geram anomalias que precisam ser monitoradas, pois induzem à deslocamentos e deformações dos componentes do tipo perfis e quebra dos vidros.

O modelo 2D gerado para o Edifício Sede dos Correios em Brasília se mostrou capaz de representar as manifestações patológicas como vidros quebrados, sujidade, falta de componente de acabamento e falhas existentes nos acabamentos. No entanto, o modelo gerado não foi capaz de ilustrar os problemas de deformações ou empenamentos. Provavelmente, tal detecção seria possível somente com escaneamento a *laser*, e não seria possível com a inspeção visual, quer seja por descida com cadeirinha ou em andaimes.

Mesmo que a quantidade de imagens usadas tenha sido superior à previamente

planejada no aplicativo *Drone Deploy*, o modelo apresentou um erro de reconstituição de imagem superior a 1,0, o que limita a qualidade do modelo reconstituído. Isso indica que, embora o aplicativo possua efetividade em fachadas, necessita de ajustes para a captura de imagens, em função da tipologia.

Outro aspecto que afetou o modelo gerado é o fato de que em edifícios altos ocorre o arrasto ocasionado pela pressão de vento que afeta a captura das imagens. A reflexão dos vidros também se apresenta como dificultador da avaliação do modelo, mas não é impeditivo de identificar os danos ocorridos.

REFERÊNCIAS

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

AGISOFT LLC. Agisoft Metashape User Manual. Agisoft Metashape, n. September, p. 160, 2019.

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 119-137, jan./mar. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100497>.

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

KELLEY, S. J. 20th century curtain walls - Loss of redundancy and increase in complexity. *Structural Analysis of Historic Construction: Preserving Safety and Significance - Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction*, SAHC08, v. 1, p. 25–31, 2008.

KLEIN, L.; LI, N.; BECERIK-GERBER, B. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. *Automation in Construction*, v. 21, p. 161-171, jan. 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.023>.

LIMA, B. B.; ZANONI, V. A. G. Método de análise do estado de conservação para sistemas de revestimento de fachada em mármore: o caso do Congresso Nacional. 13º DOCOMOMO - Teorias e práticas de intervenção no moderno. Salvador – BA, outubro de 2019.

LIMA, M. B.; JUNIOR, A. C. L.; RUIZ, R. D. B.; FERNANDES, B. J. T.; OLIVEIRA, S. C.; DOS SANTOS, O. J. Inspeção de manifestações patológicas de fachadas. Mix Sustentável, Florianópolis. V. 6, N. 2, maio de 2020, p.111-122. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n2.111-122>.

LIU, Z.; CAI, K.; ZHU, Y. Civil unmanned aircraft system operation in national airspace: A survey from Air Navigation Service Provider perspective. Chinese Journal of Aeronautics, v. 34, n. 3, p.200-224, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.08.033>.

MELO JÚNIOR, C. M. Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aéreo não tripulado e processamento digital de imagens. 2016. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2016.

RUIZ, R. D. B.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; ROCHA, J. H. A. Inspeção de fachadas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT): estudo exploratório. Revista ALCONPAT, 2021. 11 (1), pp. 88 – 104, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>.

SOBRE OS AUTORES E AUTORAS

Lenildo Santos da Silva

Professor adjunto da Universidade de Brasília – UnB. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso (1994), Mestrado em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (1997) e Doutorado em Geotecnia pela Universidade de Brasília (2003). É professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em projeto de estruturas em Concreto Armado e Metálicas. Coordena o projeto Micro Veículo Aéreo Não tripulado (microVANT), aplicado ao monitoramento de uso de áreas urbanas.

Vanda Alice Garcia Zanoni

Professora Adjunta do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB. Engenheira Civil (UFMS, 1982), Mestre em Arquitetura com ênfase em Economia e Habitabilidade da Arquitetura (UFRGS, 2001). Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (UnB, 2015) com ênfase na área de Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade. Atua nas linhas de pesquisa: “Tecnologia de Produção do Ambiente Construído” e “Patrimônio e Preservação”. É membro dos grupos de pesquisa cadastrados no CNPq: 1) Simulação Computacional no Ambiente Construído - SiCAC; 2) Documentação, modelagem e conservação do patrimônio. Temas de interesse: conservação e manutenção do patrimônio moderno, HBIM, simulações computacionais do desempenho higrotérmico, necessidades habitacionais, condições de exposição, durabilidade e degradação das edificações, estado de conservação das edificações, inspeções prediais com tecnologias inovadoras, visão computacional. Possui experiência no setor da construção civil em execução de obras, elaboração de projetos arquitetônicos e consultorias na área da qualidade construtiva.

Valmor Cerqueira Pazos

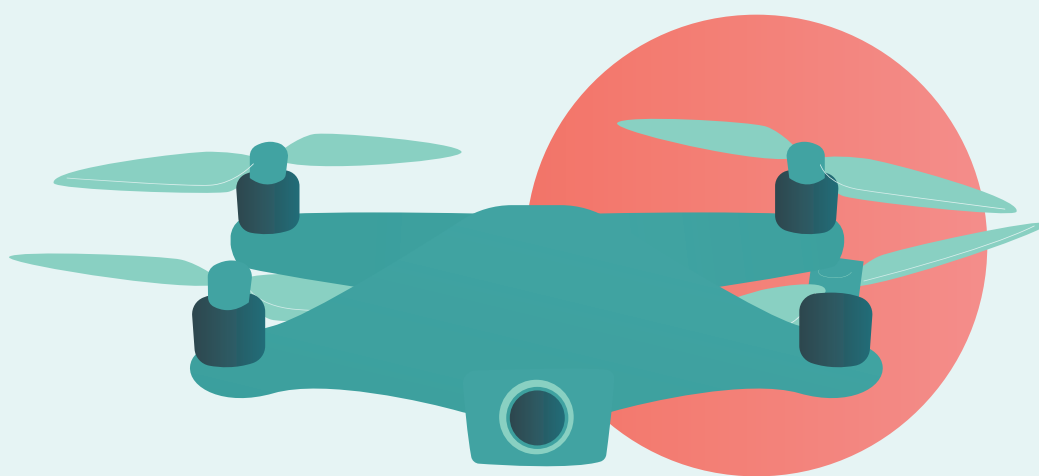
Mestrando em Desenvolvimento Profissional e Educação pela UnB, Especialista em Informática em Educação pela Universidade Federal de Lavras (2006), Licenciado em Informática pelo Centro Universitário de Brasília (2004) e bacharel em Ciência da Computação - Faculdades Integradas do Planalto Central (2001). Atualmente é Técnico de Laboratório da Universidade de Brasília, Professor da Escola Técnica de Brasília. Coordenador Técnico do Curso de pós-graduação a distância em Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística da Universidade de Brasília. Ocupou a função de Coordenador de Inovações Tecnológicas da Escola Técnica de Brasília e faz parte do Grupo de Pesquisa do LaSUS FAU UnB.

Lara Monalisa Alves dos Santos

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Católica de Brasília (2011/2015), possui Especialização em Arquitetura de Sistemas de Saúde pela Universidade Católica de Brasília (2016/2017), Mestrado no programa de Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (2017/2019) com ênfase em Desempenho Térmico e Acústico de coberturas de edificações, e atualmente cursa Doutorado em Arquitetura e Urbanismo na linha de pesquisa de Tecnologia de Produção do Ambiente Construído pela Universidade de Brasília (2020/2024) desenvolvendo pesquisas na área de inteligência artificial com o uso do *drone*.

Tatiana Renata Pereira Jucá

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (2000) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás (2002). É doutoranda do Programa de pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (2020 - em andamento). Atualmente é professora assistente I da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, e nos cursos de pós-graduação em disciplinas que envolvem o estudo da durabilidade, vida útil e degradação dos sistemas construtivos. É diretora da Central de Desempenho Consultoria e Treinamento LTDA, Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Materiais e Componentes de Construção, atuando principalmente nos seguintes temas: manifestações patológicas, norma de desempenho e estudos de durabilidade.



ISBN: 978-65-84854-00-0

CSL



9 786584 854000