

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

MARIA EMANUELA CONCEIÇÃO BERNARDO

APLICAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (DRONE) EM
ENGENHARIA CIVIL
Levantamento Bibliográfico e Estudo de Caso

Manaus

2021

MARIA EMANUELA CONCEIÇÃO BERNARDO

APLICAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (DRONE) EM
ENGENHARIA CIVIL
Levantamento Bibliográfico e Estudo de Caso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, na Faculdade de Tecnologia, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a Obtenção do grau de Bacharel do curso.

Orientador: Elias Simão Assayag

Manaus

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B523a Bernardo, Maria Emanuela Conceição
Aplicação de Aeronave Remotamente Pilotada (Drone) em
Engenharia Civil : levantamento bibliográfico e estudo de caso /
Maria Emanuela Conceição Bernardo . 2021
69 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Elias Simão Assayag
TCC de Graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Tecnologia. 2. RPA - Remotely Piloted Aircraft. 3.
Levantamento Topográfico. 4. Informação. I. Assayag, Elias Simão.
II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

MARIA EMANUELA CONCEIÇÃO BERNARDO

APLICAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (DRONE) EM
ENGENHARIA CIVIL

Levantamento Bibliográfico e Estudo de Caso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, na Faculdade de Tecnologia, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a Obtenção do grau de Bacharel do curso.

Manaus, 16 de novembro de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Elias Simão Assayag
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Rafael da Rocha Ribeiro
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Me. Elias Santos Souza
Universidade Federal do Amazonas

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por não me abandonar.

Ao meu Orientador, Elias Assayag, por ter me guiado, por sempre estar disposto a me ajudar quando solicitei.

À Direcional Engenharia S/A por ter cedido material para Estudo, ao Rodrigo Rattes por me ensinar sobre os recursos, e ao meu Chefe preferido Paulo Raggi.

Aos meus colegas de graduação, Fábio Gusmão e Thaíse Karoline que estiveram comigo durante os períodos mais complicados, e aos meus companheiros Bruna Santos, Maysa Maia e Mateus Rego que caminharam até o fim comigo.

À Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade de concluir um curso tão carregado de informações, por me moldar como estudante, e por me conceder uma bolsa de Estudos no exterior que me proporcionou momentos incríveis.

Ao meu namorado, Giovani, que sempre esteve ao meu lado.

Agradeço especialmente à minha família.

RESUMO

A Aeronave Remotamente Pilotada – RPA (Remotely Piloted Aircraft), tem sido aplicada de forma cada vez mais expressiva nas áreas da Engenharia Civil. Apesar de ser um recurso tecnológico bastante relevante, por ser uma inovação relativamente recente, ainda é pouco referenciada bibliograficamente para fundamentar a sua utilização. Dessa forma, é importante difundir esta tecnologia que está em constante ascensão e será mais um importante aliado para se obter dados com resultados precisos e de qualidade, além de otimizar os processos na Engenharia.

Com isso, neste trabalho, primeiramente é apresentado um Referencial Teórico para que o profissional esteja ciente da funcionalidade e características desse equipamento, o seu modo de funcionamento, as diretrizes normativas e os diferentes modelos que possuem diversas aplicações, classificações e características. A partir disso também é apresentado o primeiro caso com aplicações da ferramenta para difundir esse artifício e evidenciar as suas variadas funções, de forma a registrar, comunicar sua utilização na Engenharia Civil/Construção Civil. No segundo caso é exibido o levantamento topográfico por RPA para mostrar seus resultados através do estudo de caso de forma paralela a um recurso convencional.

Sendo assim, este trabalho parte da hipótese que este recurso, em breve, será essencial e indispensável visto que há potencialidade para crescimento no mercado e no meio científico, como uma grande ferramenta de obtenção de informação.

Palavras-chave: Tecnologia; RPA - Remotely Piloted Aircraft; Levantamento Topográfico; Informação.

ABSTRACT

The Remotely Piloted Aircraft – RPA - has been increasingly applied in the areas of Civil Engineering. Despite being a very relevant technological resource, as it is a relatively recent innovation, it is still not much bibliographically referenced to support its use. It is important to disseminate this technology, which is constantly on the rise and will be another important ally to obtain data with accurate and quality results, in addition to optimizing processes in Engineering.

In this work, firstly, a Theoretical Framework is presented, the professional is aware of the functionality and characteristics of this equipment, its mode of operation, the normative guidelines and the different models that have different applications, classifications and characteristics. The first case with applications of the tool to spread this artifice and highlight its various functions is also presented, in order to register and communicate its use in Civil Engineering/Civil Construction. In the second case, the topographic survey by RPA is displayed to show its results through the case study in parallel with a conventional resource.

Therefore, this work starts from the hypothesis that this resource will soon be essential and indispensable since there is potential for growth in the market and in the scientific environment, as a great tool for obtaining information.

Keywords: Technology; RPA - The Remotely Piloted Aircraft, topographic survey, information.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Geometria entre foto e objeto	17
Figura 2 — Geometria entre a foto e a cena - terreno irregular.....	18
Figura 3 — Relação entre pixel e o terreno.....	19
Figura 4 — Rampas de Aproximação e Áreas de Ruído: Aeroportos Eduardo Gomes	27
Figura 5 — Tipos de drones multirotors	30
Figura 6 — Recurso de pouso com paraquedas para um drone de asa fixa	31
Figura 7 — Drones Muito Pequenos	32
Figura 8 — Pequeno RPA lançado manualmente.....	33
Figura 9 — Global Hawk Aircraft - RPA Grande.....	33
Figura 10 — Tipos de sensores embarcados em RPAs.....	37
Figura 11 — Componentes do Sistema	38
Figura 12 — MAVIC 2 PRO.....	40
Fluxograma 1 — Etapas de Projeto	41
Figura 13 — Terreno - Caso 1 – 25 de agosto de 2020	42
Figura 14 — Localização Terreno - Caso 1 – 25 de agosto de 2020	43
Figura 15 — Caso 2 – Condomínio 1	44
Figura 16 — Caso 2 – Terreno Geral com Projeção de Condomínios	45
Figura 17 — Localização Terreno - Caso 2.....	45
Figura 18 — Inventário Florístico	46
Figura 19 — Projeto Executivo de Terraplenagem – Obsoleto	47
Figura 20 — Volume de Terraplenagem - Topografia antiga de 2019	48
Figura 21 — Caso 2 após Supressão Vegetal	48
Figura 22 — Pontos para Ortomosaico - agosto/2021	49
Figura 23 — Modelo Digital de Terreno (MDT) - agosto/2021.....	50
Figura 24 — Curvas de Nível - agosto/2021	50
Figura 25 — Projeto Executivo de Terraplenagem - Atualizado.....	51
Figura 26 — Volume de Terraplenagem - Topografia Nova.....	52
Figura 27 — Curvas de Nível - agosto/2020 - Caso 1	53
Figura 28 — Curvas de Nível - junho/2021 - Caso 1	54
Figura 29 — Perfis de Elevação - agosto/2020 e setembro/2020 - Caso 1.....	55
Figura 30 — Acompanhamento da Obra: Caso 1 - agosto/2020 e junho/2021	56
Figura 31 — Vistoria Obra Caso 1 - agosto/2020.....	57
Figura 32 — Volume de Terraplenagem – Revisão jun/2020 e set/2021	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
RGB	Red, Green, Blue
RPA	Remotely Piloted Aircraft
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSD	Ground Sample Distance
SARPAS	Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
GPS	Sistema de Posicionamento Global

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	13
3.	CONCEITO E HISTÓRICO	14
4.	REVISÃO DE LITERATURA	16
4.1.	Aerotogrametria	16
4.2.	Plano de Voo	16
4.2.1.	Geometria da Fotografia	17
4.2.2.	Tamanho do Pixel	19
4.2.3.	Mosaicos	20
4.2.4.	Fototriangulação	21
4.2.5.	Ortofoto	21
4.2.6.	RPA e sua Precisão	22
5.	DIRETRIZES	24
5.1.	Orientações e Regras Gerais	26
5.2.	Sansões	27
6.	CLASSIFICAÇÃO	29
6.1.	Plataformas	29
6.1.1.	Rotor Único	29
6.1.2.	Multirotor	29
6.1.3.	Asa Fixa	31
6.1.4.	Híbridos	32
6.2.	Tamanho	32
6.3.	Alcance	34
6.3.1.	Tipos de Sensores	34
6.3.2.	Câmeras RGB	34
6.3.3.	Câmeras Infravermelhas	35
6.3.4.	Câmeras Multiespectrais	35
6.3.5.	Sensores Hiperespectrais	36
6.3.6.	Sensores Térmicos	36
6.3.7.	Sensores LASER	37
7.	MATERIAL E MÉTODOS	39
7.1.	Especificações da RPA Utilizada	39
7.2.	Aplicativos e Programas	40
7.3.1.	Área de Estudo	41
7.3.2.	Obtenção e análise de dados	43
7.4.1.	Área de Estudo	44
7.4.2.	Obtenção e análise de dados	46
7.5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
7.5.1.	CASO 1	52

7.5.1.3.	Acompanhamento de Obra	55
7.5.1.4.	Vistoria de Áreas de Difícil Acesso.....	56
7.5.2.	CASO 2	58
8.	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS	61
	ANEXO A — Características dos empreendimentos.....	66
	ANEXO B — Levantamento Topográfico 2019 - Caso 2.....	68
	ANEXO C — Levantamento Topográfico 2021 - Caso 2.....	69

1. INTRODUÇÃO

A Aeronave Remotamente Pilotada – do inglês *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) é a classe de aeronave não tripulada usada para outros fins que não a recreação, com alto grau de automatismo, para uso comercial, corporativo ou experimental (ANAC, 2017). A utilização de RPA tem crescido de forma significativa em diversas áreas, e se tornando uma importante ferramenta para obtenção de informações. Devido a sua praticidade, precisão e eficiência na sua aplicação, é capaz de realizar serviços de maneira segura e imediata. Com o foco na otimização dos processos e obtenção de dados técnicos para resultados mais eficientes, as técnicas utilizando Aeronaves Remotamente Pilotadas, mesmo sendo uma tecnologia recente, estão sendo inseridas no mundo da engenharia rapidamente.

Na engenharia, as RPAs têm sido utilizadas para diversos fins como, por exemplo, levantamento planialtimétrico, acompanhamento de obras e vistorias de difícil acesso. Sabendo disso, é importante entender o funcionamento, aplicações e possibilidades dessa tecnologia. O estudo da bibliografia disponível é fundamental para empregar essa tecnologia com eficiência, e entender formas seguras de manuseio, planejamento e implementação de voos, métodos de obtenção e análise de dados, e a correta interpretação dos resultados. Além disso, observar a Regulamentação de suas operações no âmbito nacional, disponibilizadas pelos órgãos reguladores, é fundamental para seu aproveitamento através do conhecimento sobre os parâmetros de utilização para realização do voo, coleta de material visual e seus limites, de forma que se obtenha resultados cabíveis na Engenharia Civil e explorá-los.

Sendo assim, correlacionando a tecnologia de RPAs com alguns Métodos Tradicionais ainda utilizados, que possuem a mesma finalidade, é possível evidenciar a sua funcionalidade através da comparação de seus recursos, apresentando as vantagens e desvantagens referentes ao custo de investimento.

De modo geral, com o objetivo difundir as funcionalidades referentes ao uso de RPAs na Engenharia Civil, neste trabalho é apresentado um levantamento bibliográfico e a análise de dois casos, na cidade de Manaus, onde se fez uso de RPA para produção dados nos projetos de engenharia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a utilização de aeronave remotamente pilotada (RPA) para obtenção de dados em projetos de engenharia civil através do estudo de caso da implementação de RPAs em dois empreendimentos de engenharia civil na cidade de Manaus, Amazonas.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudo de caso 1: Descrever a utilização de um RPA utilizado para obtenção de dados e informações no acompanhamento e desenvolvimento de um empreendimento subdividido em três condomínios na cidade de Manaus-Am, com aplicações em Levantamento Topográfico, Perfis de Elevação, Acompanhamento de Obra e Vistorias de Difícil Acesso.

- Estudo de caso 2: Descrever estudo de caso com utilização de RPAs e Método Convencional para obtenção de dados referentes ao Levantamento Topográfico na aplicação de estudos de Terraplenagem para empreendimento na cidade de Manaus.

- Observar funcionalidades e características com a aplicação de RPAs em diferentes situações.

3. CONCEITO E HISTÓRICO

Existem várias abordagens das terminologias usadas para os chamados “drones”, ou as aeronaves remotamente pilotadas, nesse meio de divergentes definições para nomenclaturas estão: RPA, ARP, VANT, UAV, aeromodelo. O termo “Drone”, do inglês Zangão, é referência ao ruído produzido pelo equipamento em voo, ou seja, é uma palavra utilizada no meio informal. Trata-se uma expressão abrangente e genérica, empregada originalmente nos Estados Unidos para caracterizar objeto voador não tripulado, em qualquer finalidade. (CAMARGO, 2018). Segundo a ICA 100-40/2020 (DECEA, p. 9,2020), o termo Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), nomenclatura oriunda do termo *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), é considerado obsoleto na comunidade aeronáutica internacional.

O Regulamento da Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC, 2017), seguindo as definições estabelecidas pela OACI - Organização de Aviação Civil Internacional, classificou as aeronaves não tripuladas em três categorias: 1. Autônomas, que possuem a característica de não permitir a intervenção humana uma vez iniciado o voo; 2. os Aeromodelos, que são utilizados para uso recreativo; e 3. as Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA - *Remotely Piloted Aircraft*), que são utilizados em operações comerciais, corporativas e experimentais, que seja controlada a partir de uma estação de pilotagem remota, capaz de interagir com o Controle de Tráfego Aéreo e outras aeronaves em tempo real (DECEA, p. 9, 2020). No presente estudo será utilizada a sigla em inglês RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) por constar nas regulamentações de referência, que traduzida ao português literal é denominada como Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP).

Primeiros registros do uso de veículos aéreos não tripulados remetem ao século XIX, sendo uma tecnologia bélica utilizada pela primeira vez em 1849, entre os países da Áustria e Itália. Os Austríacos encontravam dificuldades para posicionamento de tropa para atacar a cidade de Veneza, então o tenente do exército austríaco ordenou o deslocamento de 200 balões de ar quente carregados de explosivos em direção à Veneza de forma silenciosa. Os dispositivos possuíam acionamento automático sendo preparados para desprender as bombas anexadas, temporizadas em cerca de 30 minutos, pois era o tempo aproximado para que chegassem ao destino (REMOTE PILOTED AERIAL VEHICLES, 2003).

No Brasil, o emprego dessa inovação começou a ser implementada em 1982 através de um projeto em que um Veículo Aéreo não tripulado a jato foi desenvolvido pela parceria entre a Companhia Brasileira de Tratores (CBT) e o Centro Técnico Aeroespacial (CTA). O projeto não teve avanço, porém foi o marco inicial para que outros órgãos e a indústria comesçassem a se interessar pela tecnologia. A partir desse marco inicial nacional, o desenvolvimento foi seguido pelo interesse da marinha, do exército, e da aeronáutica do Brasil, onde as Aeronaves Remotamente Pilotadas passaram a servir como alvo em práticas de combates aéreos e para treinamento de tiros nas unidades antiaéreas. (CAMARGO, 2018). Desde então, o enfoque para a utilização de RPAs era somente aplicado para atividades militares devido ao custo alto de aquisição do equipamento, com aplicações voltadas para reconhecimento, apoio de campo, espionagem, avanços bélicos, entre outras. Porém, com o desenvolvimento da tecnologia, através do avanço do processamento de dados e a miniaturização de componentes eletrônicos, o uso de aeronaves remotamente pilotadas passou a ser mais difundido, sendo ainda considerada uma tecnologia recente e em ascensão, principalmente no meio científico. Dessa forma, logo foi percebida uma gama de oportunidades de aplicações na esfera civil, a partir de 1990, tais como: Infraestrutura, Mídia e Entretenimento, Telecomunicações, Agricultura, Segurança, Busca e Salvamento, Mineração, dentre outros (DECEA, 2020).

Os chamados drones, recentemente, foram disseminados para capturas de fotografias e filmes de forma recreativa ou não recreativa, de uso comercial, profissional e militar, sendo utilizado em diversos seguimentos, afinal é possível acoplar outros equipamentos além da câmera como os sensores, scanners e laser. São exemplos de aplicação civil para uso de pulverizadores, monitoramento situações de catástrofes, inspeção de linhas de transmissão e dutos, monitoramento e controle de tráfego, segurança pública, etc (CAMARGO, 2018). A sua utilização tem se expandindo para diversas áreas e aplicações diferenciadas, impactando num aumento de capacidades nas suas características como velocidade, altura, alcance, robustez, tempo de voo, entre outras. A sua aplicabilidade é tão expressiva que cada vez mais são descobertas novas soluções, com várias possibilidades refletidas nas suas particularidades através de constantes atualizações tecnológicas.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Aerofotogrametria

A Fotogrametria, segundo a *International Society for Photogrammetry and Remote Sensin* (ISPRS), é arte, ciência, assim como tecnologia de obtenção de informações seguras sobre os objetos físicos e o meio ambiente por meio de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética e outros fenômenos. O uso da fotogrametria tem sido cada vez mais difundido, pois além de ser uma técnica muito inovadora, os instrumentos empregados estão evoluindo constantemente (MENDONÇA, 2019).

O Mapeamento por aerofotogrametria é feito através de método de Triangulação Fotogramétrica ou Aerotriangulação, e a confecção da carta ou mapa utiliza métodos de restituição fotogramétrica (ANDRADE, 1998). Ainda segundo Andrade (1998), a geodésia e a cartografia, em conjunto com a aerofotogrametria são essenciais na elaboração de mapas juntamente com outras ciências, as imagens são o apoio para os pontos de mapeamento na superfície terrestre.

4.2. Plano de Voo

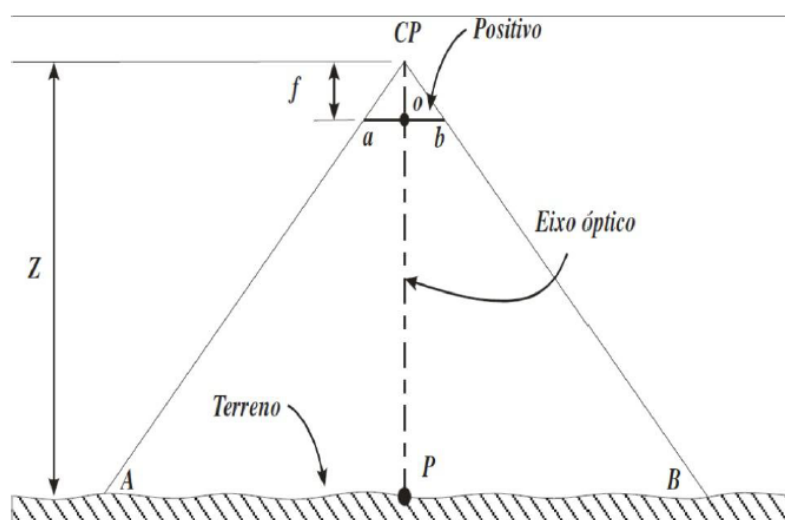
O piloto automático consiste em direcionar através de um trajeto preestabelecido. Com o mapa digital na memória é possível seguir os caminhos a serem percorridos obtidos com as aerofotogramétricas (ortofotos) através dos RPAs (MENDONÇA, 2019). Utilizando sistemas de orientação por satélites obtém-se um resultado otimizado, reduzindo insumos e agilizando o procedimento, diminuindo os custos do produto final de um serviço.

Os Mapas-base são obtidos por alguns meios, dentre eles o Sistema de Posicionamento Global por Satélite – do inglês *Global Navigation Satellite System* (GNSS) – tomando pontos para a geração do Mapa, que também é possível através da topografia convencional, tem-se, ainda, tecnologia mais viável, a aerofotogrametria por RPAs.

4.2.1. Geometria da Fotografia

De acordo com Wolf (1995), quando se captura uma imagem qualquer, a figura pode ser classificada segundo sua geometria, podendo ser alto oblíqua, baixo oblíqua, além da vertical que é quando o eixo óptico está perpendicular ao objeto. Com as fotografias verticais é possível a obtenção da relação geométrica entre a fotografia e o objeto a ser mapeado, como mostrado na figura 01 abaixo:

Figura 1 — Geometria entre foto e objeto



Fonte: REISS (2008)

Sendo:

f - Distância focal;

AB – Distância de um ponto a outro no terreno;

ab – distância medida na captura da foto;

Z – Altura do voo

Através da semelhança de triângulos, a distância medida na imagem (ab) está para a distância do terreno (AB), assim como a distância focal (f) está para a altura do voo (z):

$$\frac{f}{Z} = \frac{ab}{AB} \quad (1)$$

De outro modo, quando a superfície é irregular, determina-se outra expressão geométrica, visto que apesar da relação das distâncias na imagem e na cena, elas possuem sistemas de coordenadas diferentes:

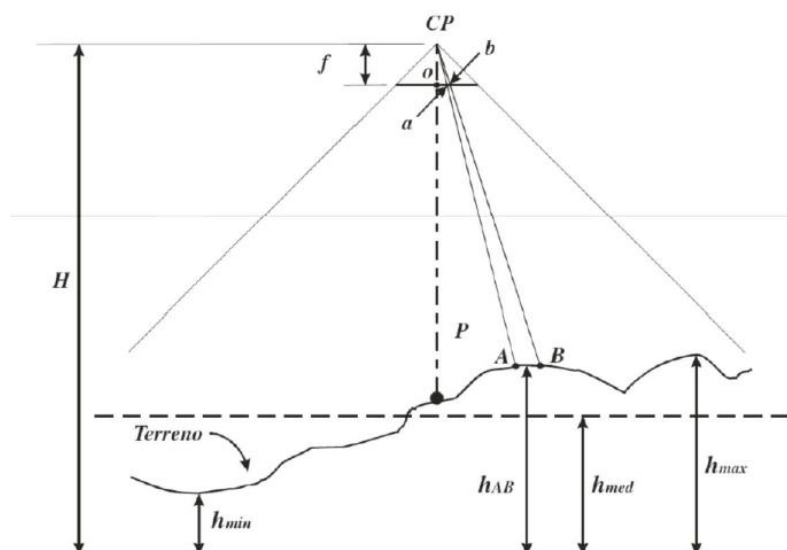
Sendo:

H – Altura da câmera (voo);

h_{AB} – Média da altitude dos pontos A e B.

$$\frac{f}{h - h_{AB}} = \frac{ab}{AB} \quad (2)$$

Figura 2 — Geometria entre a foto e a cena - terreno irregular



Fonte: REISS (2008)

Quando o eixo óptico não está perpendicular, as capturas de fotografias alto oblíquas e baixo oblíquas são vantajosas quanto à extensão da área e para caracterizar o relevo. No entanto, são limitadas geometricamente pois as distorções são excessivas, com isso não é vantajoso para mapeamento, segundo Ruy (2008).

As capturas, quanto à sua geometria, nos parágrafos anteriores foram explanadas de forma individual, como se fosse uma única fotografia. Porém, no caso de um voo aerofotogramétrico, para um mesmo objeto, mais de uma imagem é capturada em outros ângulos, de forma que as medidas tridimensionais possam ser obtidas (MENDONÇA, 2019).

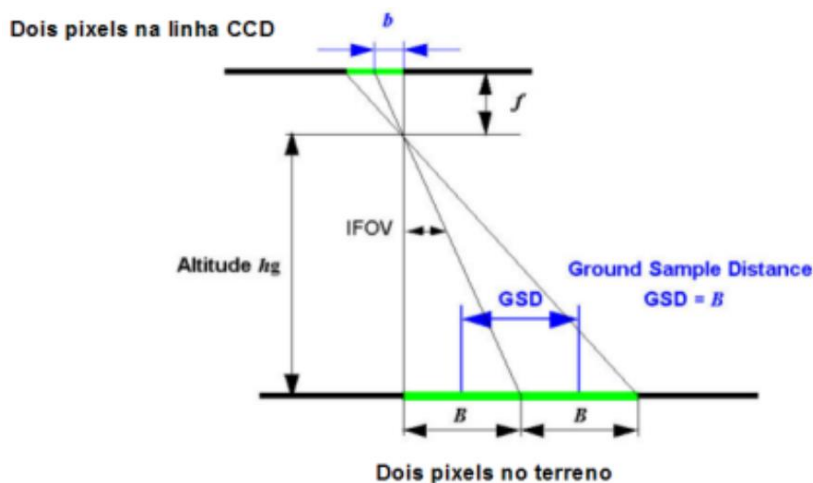
4.2.2. Tamanho do Pixel

O Pixel é um termo que deriva do inglês *Picture Element*, representa o tamanho mínimo dos objetos que podem ser identificados no produto gerado, sendo atribuído à resolução espacial de uma imagem, ou fotografia, obtida por sensoriamento remoto.

Segundo Cunha *et al.* (2016), a altura do voo é proporcional ao tamanho do pixel, dessa forma, quanto maior a altura, maior o tamanho do pixel e, com isso, é necessária uma quantidade menor de pixels para cobrir a área. Os resultados são analisados no volume de informações capturadas do voo e no tamanho final do arquivo das ortofotos.

Determina-se a resolução da imagem, quando é relacionada a escala do objeto capturado e o pixel, denominado GSD (*Ground Sample Distance*). A resolução é atribuída com a altura da captura da foto em relação ao objeto, com a distância focal da câmera e com o tamanho do pixel no sensor. (CUNHA *et al.*, 2016). Para determinar GSD, utiliza-se a seguinte equação, considerando que a altura (h_g) é diretamente proporcional à distância entre o centro de dois pixels vizinhos (GSD).

Figura 3 — Relação entre pixel e o terreno



Fonte: CUNHA *et al.*, 2016

$$GSD = \frac{b \times h_g}{f} \quad (3)$$

Para determinação do GSS, tem-se:

b – Tamanho físico do pixel registrado no sensor;

f – Distância focal da Lente utilizada;

hg – altura do voo;

GSD – *Ground Sample Distance* – Distância entre o centro de dois pixels vizinhos.

4.2.3. Mosaicos

Unindo as fotografias tomadas durante o voo tem-se o plano da área fotografada através do mosaico fotogramétrico, obtendo um resultado com imagem ampla e contínua. Para a formação dos mosaicos, o número de quadros capturados é maior, as imagens ficam sobrepostas no cobrimento da área, permitindo maior uso das fotos. Assim, tem-se o caso da sobreposição longitudinal e lateral que, para um bom resultado com muitas informações, deve ser maior que 60%. Os mosaicos são classificados de acordo com o processo de produção e controle. Segundo Wolf (1995) suas classes são divididas entre controlados, não controlados e semicontrolados.

Os mosaicos controlados são feitos baseados em fotografias ajustadas na mesma escala, dessa forma, as fotografias retificadas são imagens que modificam o ângulo relacionado à altitude e a distância focal da câmera, como resultado de projeção para um plano horizontal, de acordo com seu feixe perspectivo, através do auxílio de pontos de controle (ANDRADE, 1998). Assim, as distorções causadas pelo relevo da área analisada são extinguidas com a ortorretificação, pois há uma alteração da perspectiva cônica para a ortogonal. Os mosaicos não-controlados são elaborados rapidamente pois são feitos por justaposição das imagens e pela análise de seus detalhes, dessa forma não apresentam muita precisão. Com isso, é possível elaborar outro produto com mistura de mosaicos controlados e não-controlados, sendo chamados de semicontrolados, pois são a junção de características de dois tipos de classes, sendo formado com capturas retificadas ou não, com ou sem ponto de controle, são utilizados para recursos limitados, porém com precisão.

4.2.4. Fototriangulação

Para se obter a fototriangulação é preciso ter conhecimento de relação geométrica entre as capturas adjacentes, alguns pontos de apoio para o controle da área, além de um conjunto de valores de parâmetros aproximados para orientar a foto. A restituição ou a preparação de ortofotos só é possível definindo coordenadas de pontos precisos e suficientes, com o objetivo de obter coordenadas para orientar modelos fotogramétricos na área de interesse (ANDRADE, 1998). Os pontos de apoio terrestre ou pontos de ligação (*tie points*) e os pontos de apoio terrestre estão localizados nas junções entre as faixas e nas extremidades, o planejamento do projeto define a variação para quantidade de pontos de apoio.

O conhecimento do número de pontos de campo é necessário para se obter um resultado confiável através do planejamento, da efetivação de voo de apoio e para considerar as variáveis que eventualmente podem causar mudanças no procedimento futuro. Os pontos executados na fototriangulação são os pontos de apoio terrestre e os pontos fotogramétricos, sabendo que os pontos de apoio são obtidos através de um referencial geodésico, de forma que as informações que são resultado do processo permitam a troca de informação de várias fontes.

De acordo com Brito e Coelho (2007), a fototriangulação feita por feixe de raio é uma resseção espacial simultânea à execução da interseção espacial para um conjunto de imagens digitais de terreno. A resseção espacial trata-se do método que possibilita parâmetros para orientação exterior de interseção espacial, assim, a foto é analisada como um feixe de retas, em colinearidade de três pontos. Na fototriangulação por feixe de raios, os parâmetros são obtidos através de um único ajuste de orientação exterior das imagens.

4.2.5. Ortofoto

A tecnologia possibilitou a origem da ortofotocarta, sendo a captura da foto caracterizando o próprio mapa através da Fotogrametria Digital quando é tratada e com o conjunto de informações necessárias. A fotografia unicamente não substitui os mapas topográficos, visto que a foto está representando uma projeção cônica central,

enquanto o mapa topográfico é constituído por projeção ortogonal à superfície. (MENDONÇA, 2019).

Para uma captura de foto aérea apresentar-se como uma carta topográfica, de forma quantitativa, o terreno deveria ser plano e horizontal, com o eixo ótico da câmara com verticalidade precisa, e a linha do voo horizontalmente alinhada, não podendo apresentar variações de altitude para as capturas de imagens (LIMA; LOCH, 1998). Em razão da impossibilidade de ocorrer, a ortorretificação das fotografias é o método utilizado. Dessa forma, a técnica utiliza as informações da inclinação, posicionamento e distorções da câmara aérea no momento da captura, assim como as informações do terreno por meio de modelo digital. Com isso, através da ortorretificação é possível eliminar distorções em relação à altitude da câmara nas três dimensões (X, Y e Z), eliminando também as distorções de relevo da área fotografada além de transformar a perspectiva de cônica para ortogonal (LIMA; LOCH, 1998).

4.2.6. RPA e sua Precisão

O desenvolvimento das chamadas Aeronave Remotamente Pilotada – do inglês *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), foi devido aos avanços da engenharia e da ciência dos materiais com as tecnologias atuais. Esses veículos aéreos não tripulados podem ser equipados com sensores e câmeras podendo ser úteis para diversas aplicações, porém, dependendo da sua utilização, nem sempre são precisas.

Sabe-se que a obtenção de informações para mapeamento com os voos fotogramétricos tem um custo elevado, principalmente quando o objetivo é a obtenção de dados com qualidade e precisão e, dessa forma, podem inviabilizar projetos de pequeno porte. Segundo Pérez, Agüera e Carvajal (2011), para a calibração de câmeras é preciso determinar parâmetros da orientação interior do equipamento com precisão, sendo necessário a captura das imagens nas condições semelhantes ao campo para melhores resultados, com as condições de trabalho como deverá ser encontrada nos projetos fotogramétricos de RPA.

Além disso, tem as dimensões de sensores que caracterizam a área no terreno capturado pela câmara, de tal forma que a distância focal determinará a altura de voo da aeronave em razão da escala fotográfica desejada. Por isso, ter conhecimento do sensor de imagem e distância focal equivalente da lente da câmara digital é essencial

para determinar parâmetros do mapeamento fotogramétrico (DISPERATI; AMARAL; SCHULER, 2007).

Também de acordo com Pérez, Agüera e Carvajal (2011), geralmente as variáveis envolvidas no processo de calibração de câmera são a distância computada principal ou focal (f) da lente, os eixos que expressam as coordenadas do centro de projeção da imagem como ponto principal (x_0, y_0), além dos coeficientes de distorção da lente, sendo os coeficientes de distorção radial da lente (k_1, k_2, k_3), e os coeficientes de distorção de descentramento causados pela descentralização dos elementos de lente (P_1 e P_2). Segundo Fryer (1996), as distorções radiais e pela falta de centralização são os fatores que podem afetar a localização das imagens.

Sendo assim, a vantagem de um RPA sobre os outros métodos para levantamento é a flexibilidade que possibilita a captura de fotografias a partir de pontos de vista não convencionais (IRSCHARA *et al.*, 2010).

5. DIRETRIZES

A expansão da tecnologia de Drones para diversas finalidades passou a ser pauta de discussões devido aos impactos que poderiam causar às atividades aeronáuticas, e gerou preocupação entre os órgãos competentes, sendo um problema relevante para a segurança devido aos conflitos eminentes entre RPAs aeronaves tripuladas. O uso desses equipamentos tem se tornado uma ferramenta importante pela sua versatilidade e conveniência, tanto na sua forma profissional quanto recreativa, tornando-se indispensável uma legislação precisa que torne esse recurso aliado da sociedade.

Dessa forma, as restrições passaram a ter um caráter mais urgente. Até pouco tempo, não havia disposição em regulamentação específica para solicitar operação de tais equipamentos do espaço aéreo brasileiro. A legislação brasileira, desde então, vem sendo constantemente atualizada, no que diz respeito à utilização de aeronaves remotamente pilotadas para uso civil, passando por normatização e restrições operacionais, com a finalidade de promover o desenvolvimento sustentável e seguro para o setor.

É importante compreender as diretrizes básicas de voo, de forma a proporcionar segurança pessoal e das pessoas ao redor, além de seguir a legislação que rege os padrões de utilização. Segundo a publicação da ICA 100-12 – Regras do Ar (DECEA, 2016), as regulamentações sobre aeronaves remotamente pilotadas estão contidas em publicações específicas sobre o assunto, editadas pela Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

Ainda no quesito de diretrizes pelos órgãos regulamentadores, o RBAC-E nº 94 – Requisitos Gerais Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil (BRASIL, 2017, p.3) estabelece:

“Devem ser observadas as regulamentações de outros entes da administração pública direta e indireta, como a Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL, e o Ministério da Defesa, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA, da mesma forma como as legislações referentes às responsabilizações nas esferas civil, administrativa e penal que podem incidir sobre o uso de aeronave não tripulada, com destaque àquelas disposições referentes à inviolabilidade da intimidade, da vida privada, da honra e da imagem das pessoas.”

Subentende-se que uma RPA é uma aeronave e, dessa forma, deve seguir a regulamentação existente na aviação, sendo um requisito possuir a documentação específica adequada à sua categoria ou ao propósito de uso. O Código Brasileiro de Aeronáutica prevê na seção II, artigo 114, que:

“Nenhuma aeronave poderá ser autorizada para o voo sem a prévia expedição do correspondente certificado de aeronavegabilidade que só será válido durante o prazo estipulado e enquanto observadas as condições obrigatórias nele mencionadas”.

Ainda segundo o Código Brasileiro de Aeronáutica, no artigo 20, que “Salvo permissão especial, nenhuma aeronave poderá voar no espaço aéreo brasileiro, aterrissar no território subjacente ou dele decolar, a não ser que tenha marcas de nacionalidade e matrícula [...] (BRASIL, 1986)”.

Dessa forma, para cumprimento das exigências, cabe à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) a emissão de um Certificado de Aeronavegabilidade (C.A.), assim como emitir o Certificado de Matrícula (C.M.) e administrar o Registro Aeronáutico Brasileiro (R.A.B) com as funções de efetuar o registro de aeronaves, de acordo com a Lei Nº 11.182, de 27 de setembro de 2005. O cadastro no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT) é obrigatório para aeronaves não tripuladas, de uso recreativo (aeromodelo) ou não recreativo (RPA), de peso máximo de decolagem até 25kg e que não voará além da linha de visada (BVLOS) ou acima de 400 pés (120 metros) acima do nível do solo, de acordo com o documento da ANAC para Orientações para Usuários de Drones (BRASIL, 2017, P.13).

Além disso, uma Aeronave Remotamente Tripulada só poderá ter acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro com a emissão de autorização especial por parte do Órgão Regional do DECEA. Utilizando o Sistema de Autorização para Acesso ao Espaço Aéreo por Aeronaves não Tripuladas (SARPAS), para que possa ser efetuada a solicitação de voo pelo requerente, depois de cumpridas as etapas de certificação e habilitação pelas autoridades reguladoras para navegação aérea (DECEA, 2020).

A publicação da ICA 100-40 – Aeronaves não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro (DECEA, 2020) regulamenta os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso seguro ao Espaço Aéreo Brasileiro por RPA, em conformidade com as diretrizes da OACI - Organização de Aviação Civil Internacional, assim como atender às demandas do segmento aeronáutico para a segurança dos

usuários do espaço aéreo com a regulamentação dos procedimentos e responsabilidades do uso de aeronaves não tripuladas.

5.1. Orientações e Regras Gerais

De acordo com as Orientações para Usuários de Drones da ANAC, as RPAs são divididas em três classes: Classe 3 com peso máximo até 25kg, Classe 2 com variação entre 25kg a 150kg, e Classe 1 com peso acima de 150kg. As classes levam em consideração o peso máximo de decolagem, o peso próprio do equipamento e da possível carga transportada, além dos pesos de bateria ou combustível.

Os tipos de voo são classificados em: BVLOS (*Beyond Visual Line-Of-Sight*) que é a operação na qual o piloto não consegue manter o drone dentro do seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador; VLOS (*Visual Line of Sight*) - Operação na qual o piloto mantém o contato visual direto com o drone (sem o auxílio de lentes ou outros equipamentos); EVLOS (*Extended Visual Line-Of-Sight*) - Operação na qual o piloto remoto só é capaz de manter contato visual direto com o drone com o auxílio de lentes ou de outros equipamentos e precisa de auxílio de observadores de drones.

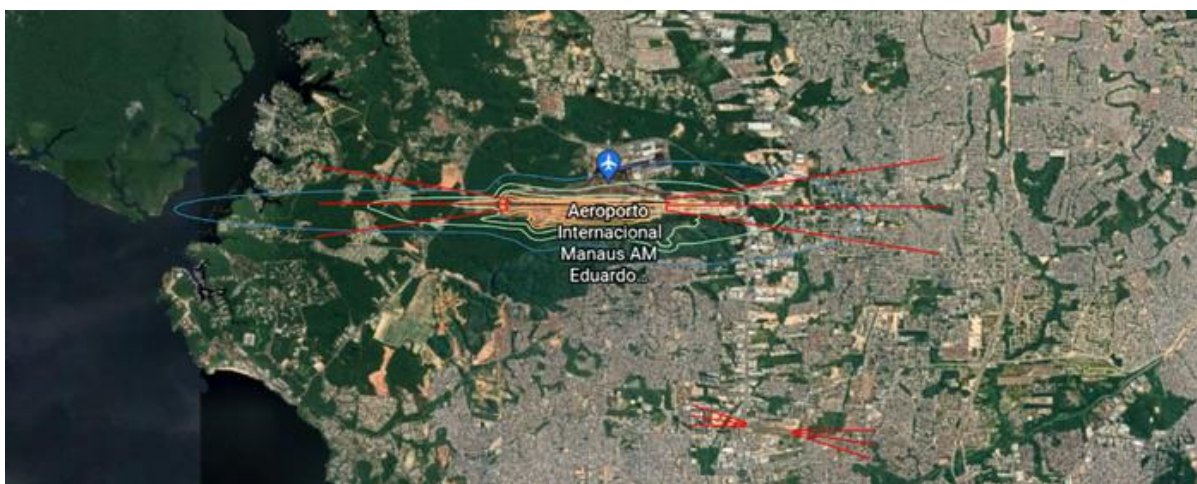
Segundo a ICA 100-40/2020 (DECEA, 2020, p.), as Aeronaves Não Tripuladas com Peso Máximo de Decolagem (PMD) acima de 250g e até 25kg, operando em Linha de Visada Visual (VLOS) até 120 metros de altura Acima do Nível do Solo (AGL), independentemente da classe do espaço aéreo sobrevoado são dispensadas do uso do *transponder*, que são detectores de helicópteros e aviões, salvo determinação contrária. O Órgão Regional responsável pelo espaço aéreo pode solicitar a apresentação do plano de voo para as Aeronaves Não Tripuladas com Peso Máximo de Decolagem igual ou inferior a 25kg, quando julgar necessário.

É obrigatório possuir seguro com cobertura de danos a terceiros (RETA) para pilotar aeronaves com peso máximo de decolagem superior a 250g. Além de fazer uma avaliação de risco operacional para operações com aeronaves com peso máximo de decolagem superior a 250g (documento IS Nº E94-003). É necessário, também, portar a certidão de cadastro junto a ANAC, o seguro, a avaliação de risco e o manual de voo do equipamento nas operações com aeronaves com peso máximo de decolagem acima de 250g.

As operações só poderão ser iniciadas se houver autonomia suficiente da aeronave para realizar o voo e para pousar em segurança no local previsto, levando-se em conta as condições meteorológicas conhecidas. Não é permitido operar drones sob efeito de substâncias psicoativas e todos os operadores estão sujeitos às regras quanto ao uso de álcool e de drogas constantes do item 91.17 do Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica RBHA 91.

A ICA-40/2020 também especifica que só será permitida a operação de RPA quando se obtém a anuência pelo órgão responsável pelo Serviço de Tráfego Aéreo local, a partir de aeródromos em que operem aeronaves tripuladas ou a uma distância menor que 9km quando operando na Zona de Aproximação ou de Decolagem e 2 km quando operando fora dela, ficando sujeito à paralisação de voos tripulados no solo e no circuito de tráfego.

Figura 4 —Rampas de Aproximação e Áreas de Ruído: Aeroportos Eduardo Gomes



Fonte: Google (2021)

5.2. Sansões

As penalidades revistas pela ANAC são relacionadas às irregularidades do cumprimento da Norma da Agência e são passíveis de sanções que estão previstas no Código Brasileiro de Aeronáutica pela Lei Nº 7.565/86, com o artigo 289, Inciso II, para os casos que venham a ferir a Segurança de Voo ou atrapalhar a rotina operacional do Regional com descumprimento das diretrizes, é prevista a cassação das licenças e cadastros, caso julgado necessário pelas autoridades competentes.

No Art. 132 do Código Penal (Decreto-Lei Nº 2848), “expor a vida ou a saúde de outrem a perigo direto e iminente” pode ser enquadrada a pena com detenção de três meses a um ano, se o fato não constitui crime mais grave. Ainda no Código Penal, em seu Art. 261, prevista pena com reclusão de dois a cinco anos ao “expor a perigo embarcação ou aeronave, própria ou alheia, ou praticar qualquer ato tendente a impedir ou dificultar navegação marítima, fluvial ou aérea [...] (BRASIL, 1940)”.

No Decreto-Lei Nº 3688 das Contravenções Penais, Art. 33: “dirigir aeronave sem estar devidamente licenciado” tipifica a pena de prisão simples, de quinze dias a três meses, e pagamento de multa (BRASIL, 1941).

Além disso, sobre a responsabilidade Civil por danos Morais, de acordo com a Constituição Federal de 1988, art. 5º, inciso X, da Lei Maior: “São invioláveis a intimidade, a vida privada, a honra e a imagem das pessoas, assegurado o direito à indenização pelo dano material ou moral decorrente de sua violação.” Segue ainda no art. 5º, inciso XI da Constituição: “XI – a casa é asilo inviolável, ninguém nela podendo penetrar sem o consentimento do morador, salvo em caso de flagrante delito ou desastre, ou para prestar socorro, ou, durante o dia, por determinação judicial.”

Além disso, existem as sanções que podem ser aplicadas de acordo com outros órgãos públicos, com os aspectos relacionados às suas competências, como a ANATEL para radiofrequência, DECEA para utilização do espaço aéreo, e o Ministério de Defesa.

6. CLASSIFICAÇÃO

Atualmente, é expressiva a diversidade de modelos de RPAs no mercado, possuindo aplicações e características diferenciadas, dessa forma, é necessário considerar a sua utilidade e entender onde cada modelo se encaixa para especificar em que tipo de mercado essa tecnologia pode ser usada. Existe a classificação de Aeronaves Remotamente Pilotadas conforme o tipo de asa, pelo tamanho de seus modelos e o Alcance de seus voos. Além disso, dependendo de sua especificação, podem ser movidos por bateria ou combustão de gases como nitrometano, gasolina, metanol, ou até mesmo o gás hélio, geralmente utilizado por dirigíveis (MILITARY.COM, 2017).

6.1. Plataformas

6.1.1. Rotor Único

O rotor único, como o nome sugere, possui apenas um rotor para sustentá-lo e um rotor de cauda para controlar a direção, semelhante a um helicóptero, esse equipamento possui maior autonomia de voo e geralmente pode voar mais alto pois geram empuxo de forma mais eficaz, contudo apresentam custo mais elevado e necessidade de manutenção regular, além de serem mais instáveis para a segurança devido às pás giratórias, e mais complexos quanto à pilotagem (GTA, 2019).

6.1.2. Multirotor

Um multirotor é o RPA que possui mais de um rotor para manter a posição, são os mais comuns em aeronaves não tripuladas do tipo rotativo, e mais corriqueiros para venda no mercado devido à facilidade de pilotagem e ao custo. Este tipo de aeronave tem a capacidade de permanecer em uma posição estável por um período regular, sendo os mais buscados por profissionais para a captura de fotografias e filmagens para diversos fins.

É importante salientar que, quanto maior o número de rotores, menor será a autonomia de voo. De modo geral, a autonomia é uma desvantagem quanto às

características desta classe, conseguindo permanecer no ar por cerca de 20 a 30 minutos (GTA, 2019). Com base no número de rotores que possuem em sua plataforma os multirotores podem ser classificados em:

Tricópteros (três rotores) – possuindo três controladores, quatro giroscópios e um servo, cada rotor é posto nas extremidades dos braços do RPA juntamente a um sensor de localização.

Quadricópteros (quatro rotores) – É um multirotor que possui quatro pás, sendo dois motores no sentido horário e dois no anti-horário, que estão dispostos em pontas opostas transversalmente, para manter a estabilidade da estrutura.

Hexacópteros (seis rotores) – É um equipamento que, de forma similar ao quadricóptero, possui suas pás igualmente divididas, sendo três no sentido horário e três no sentido anti-horário, com essa configuração, podem apresentar uma força de elevação maior do que os quadricópteros, e grande estabilidade de pouso.

Octocópteros (oito rotores) – É um aparelho estável com alta capacidade de voo, e possibilita filmagens de forma regular em elevadas altitudes.

Figura 5 — Tipos de drones multirotores



Fonte: Controler Craft (2017)

6.1.3. Asa Fixa

Possui asas como um avião tripulado para fornecer sua sustentação. É o tipo de aeronave que utiliza sua energia para alavancar mas não planar no ar, pois suas asas geram sustentação vertical à medida que avançam. Por possuir essa característica, é o tipo de aeronave capaz de percorrer longas distâncias, mapeando grandes áreas e por longos períodos. Alguns modelos são movidos a gás, podendo permanecer no ar por até 16 horas em apenas um voo.

A maior desvantagem desse equipamento deve-se ao seu lançamento, já que é feito manualmente ou por meio de instrumento de impulsão em locais amplos e abertos, além do seu pouso, pois alguns modelos utilizam sistema de paraquedas para amenizar os impactos. Esse tipo de RPA não é utilizado para fotos ou vídeos aéreos, mas são qualificados para mapeamento aéreo (GTA, 2019).

Figura 6 — Recurso de pouso com paraquedas para um drone de asa fixa



Fonte: Duffy *et al.*

6.1.4. Híbridos

Contam com asas fixas e rotores, combinando vantagens de ambos tipos, como a capacidade de decolagem e aterrissagem vertical e a possibilidade de percorrer longas distâncias em voo. Além disso, por estarem em constante desenvolvimento, ainda não são precisos em alguns pontos como manter-se parados no ar (GALARRAGA, 2018).

6.2. Tamanho

Em relação ao critério de tamanho, podem ser classificados como muito pequenos, pequenos, médios e grandes.

Muito pequenos - é a classe que se aplica a RPAs com dimensões que variam do tamanho de 30 a 50cm de comprimento, nesta categoria estão incluídos os mini drones e os micro drones.

Figura 7 — Drones Muito Pequenos



Fonte: HalfChrome (2021)

Pequenos: Esta categoria engloba desde meio metro até os 2m de envergadura de RPA. A maioria dos aparatos que incluem esta classificação contam com uma hélice na parte dianteira, com asas fixas e sua decolagem é geralmente através de lançamento manual ao ar (GALARRAGA, 2018). Como mostrado na imagem a seguir:

Figura 8 — Pequeno RPA lançado manualmente



Fonte: GEO 892 - Abdullah

Médios: Estão incluídos nesta categoria os RPAs que são muito pesados para que uma só pessoa possa carregá-lo, mas são considerados pequenos perto de um avião tripulado de porte pequeno. Possuem envergadura entre 5 a 10m e podem ser tanto de asas fixas como hélices rotativas (similar a um helicóptero pequeno).

Grandes: São principalmente os RPAs militares para operações de combate e por cientistas para obtenção de dados, estão incluídos nesta categoria o US General Atomics Predator A e B, e o US Northrop Grumman Global Hawk.

Figura 9 — Global Hawk Aircraft - RPA Grande



Fonte: NASA (2017)

6.3. Alcance

O alcance da aeronave remotamente pilotada é a distância que ele é capaz de voar antes que o sinal remoto seja interrompido, de forma geral, quanto mais longe mais eficiente, partindo do conceito que quando se perde o sinal também é perdido o controle do mesmo (GTA, 2019). Os alcances estão divididos em quatro tipos:

Muito próximo – aeromodelos que alcançam até 5km (20 a 45 minutos);

Muito curto – até 50km de distância do usuário, trabalho por períodos mais longos e cobrindo grandes áreas, autonomia de 1 a 6 horas, uso frequente militar para missões de reconhecimento e vigilância (Abdullah, 2017).

Curto – alcance de 150 km, permanência de voo por e tempo de resistência de 8 até 12 horas, usado principalmente para função militar de vigilância.

Médio – Alcance superior a 650 km, podem empregar alta velocidade, são usados não só para ações militares como para coleta de dados científicos relacionados a clima e geologia de regiões afastadas (Abdullah, 2017).

6.3.1. Tipos de Sensores

Existe uma ampla gama de sensores disponíveis no mercado. Os sensores passivos registram energia eletromagnética refletida pelos alvos: câmeras RGB (*Red/ Green/ Blue*), NIR (*Near Infraed Reflectance*) conhecido como Infravermelho Próximo, multiespectrais e hiperespectrais, e câmeras térmicas (TANG e SHAO, 2015). O sensor ativo é chamado LASER baseado na transmissão de pulsos na superfície com elevada taxa de repetição.

6.3.2. Câmeras RGB

As câmeras RGB Operam na faixa de luz visível, no comprimento de onda compreendido entre 400 e 700nm. Normalmente de pequeno porte e podem oferecer imagens de alta resolução espacial (COLOMINA e MOLINA, 2014). Uma imagem é uma matriz de pixels, em que cada elemento possui um nível de cinza para imagens monocromáticas, ou nível de RGB (*Red/ Green/ Blue*– Vermelho/ Verde/ Azul) (ESTEIO, 2008).

Com o processamento são obtidos os ortomosaicos através do bloco de imagens tomadas e os Modelos Digitais de Superfície (DSM) para reconstruir espaço tridimensional (LUCIEER *et al*, 2012; TURNER *et al*, 2012). Assim como DTM (Modelo Digital de Terreno) que é a representação gráfica dos dados de elevação da superfície terrestre que considera apenas dados altimétricos do terreno, ou seja, elimina todas as interferências de vegetação e estruturas antropomórficas.

6.3.3. Câmeras Infravermelhas

Podem operar na região do NIR, SWIR (infravermelho de ondas curtas) e TIR (infravermelho Termal). Possuem potencial para uso em florestas, pois a região do infravermelho ocorre alta reflectância da vegetação pela estrutura de espalhamento dentro das folhas, dosséis e conteúdo de água (JENSEN, 2011). Existe a possibilidade de transformar uma câmera RGB em NIR com a remoção do filtro e o substituindo por um filtro de faixas da região do visível, com a união de imagens RGB e NIR é possível a obtenção de composições coloridas falsa-cor, usadas para auxiliar na interpretação de áreas florestadas, porém o principal problema existente é a mistura dos diferentes comprimentos de onda em cada banda da imagem, o que é chamado de “contaminação espectral”.

6.3.4. Câmeras Multiespectrais

São compostas por múltiplos sensores, cada um com um filtro de qualidade alta e específico para captar diferentes bandas com intervalos de comprimento de onda, fazendo medições mais precisas em comparação com câmeras convertidas. São muito usados em agricultura para avaliar danos por ataques de pragas e doenças, estresse nutricional, estimativas de biomassa, detecção de infestação de ervas daninhas, etc (SENAR, 2018). As câmeras multiespectrais conseguem individualizar cada umas das cores captadas, além de captar todas as cores não-visíveis como o infravermelho de borda (*RedEdge*) e infravermelho próximo (*Near Infra-Red – NIR*).

6.3.5. Sensores Hiperespectrais

Os Sensores hiperespectrais medem espectros como imagens, isto é, adquirem dados em um grande número de bandas estreitas e “contínuas”. O objetivo do sensoriamento remoto hiperespectral (Espectroscopia de Imageamento) é caracterizar a composição dos materiais com base na interação da radiação eletromagnética com a matéria (Green *et al.*,1998).

Diferente dos multiespectrais, sensores hiperespectrais podem registrar centenas de bandas estreitas contínuas através de várias dimensões do espectro eletromagnético. A imagem hiperespectral ilustra a composição química por meio de imagens feitas a partir de informações espectrais coletadas por um espectrômetro. Geralmente são utilizadas no estudo detalhado dos padrões espectrais de espécies e coberturas vegetais, nos quais estão associados a variadas propriedades fisiológicas e estruturais da planta (SHIBATA, 2019). Podem detectar e fazer mapeamento de manchas no solo, além de testar e avaliar índices de vegetação capazes de identificar anomalias nas folhas.

A imagem hiperespectral pode ser feita por meio das espectroscopias: HS, PFD, SCMOS, ENIR, CMOS, NIR, SWIR, MWIR, LWIR. É uma ferramenta de alto potencial para inúmeras aplicações para indústrias, pesquisas e agricultura, por meio de análises não-invasivas (ASTRO 34, 2020)

6.3.6. Sensores Térmicos

Operam nos comprimentos de onda entre 5000 a 14.000mm e registram calor na superfície dos objetos. A intensidade de radiação micro-ondas registrada em cada pixel pode ser transformada em medição de temperatura permitindo a produção de mapas de calor (SHENG *et al*, 2010). Os sensores termais são mais onerosos quando comparado com as câmeras convencionais, além de possuírem resolução espacial menor ao fornecer estimativas de temperatura da superfície. Esses sensores tem potencial para serem utilizados em várias aplicações, incluindo interferências sobre teor de umidade do solo e a eficiência de sistemas de irrigação, além de que podem ser utilizados para avaliar o estresse hídrico (SENAR, 2018).

Figura 10 — Tipos de sensores embarcados em RPAs



Fonte: Shibata (2019)

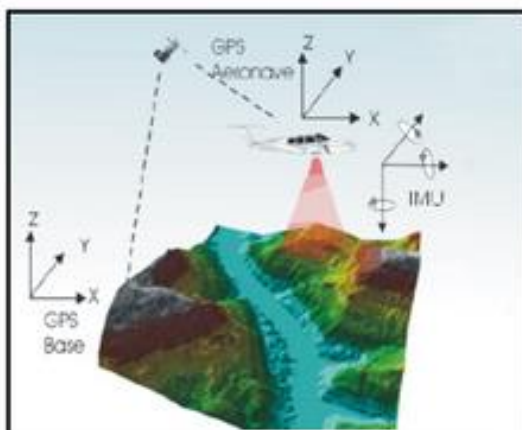
6.3.7. Sensores LASER

São dispositivos de medição que fornecem dados geométricos tridimensionais com a tecnologia LIDAR (*Light Detection and Ranging*) que geralmente utilizam o princípio de medição de tempo de percurso do sinal (*time-of-flight*). Os pulsos LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission os Radiation*) são emitidos, o tempo que leva para ser refletido pelo objeto na superfície e retornar é utilizado para determinar a distância entre o sensor e o objeto (JAKKOLA, 2015).

A nuvem de pontos 3D que é gerada pelos pulsos LASER possui uma vantagem quando comparadas com as fotogramétricas, pois os pulsos LASER possuem a capacidade de penetrar nos espaços da vegetação, entre as folhagens e chegar até o solo, ou encontram vegetação em estratos inferiores. Este conjunto irregular e disperso de pontos correspondentes ao terreno, são utilizados, com métodos apropriados de interpolação, para derivar os modelos digitais de terreno de alta precisão. Dessa forma, possibilitam a obtenção de Modelos Digitais de Terreno (DMT) e Modelos Digitais de Elevação (DEM), com precisão de sistema de 15cm na altimetria e 50cm na planimetria. Também é possível a extração métrica de parcela e de árvores individuais, por exemplo, sendo possível fazer aferições para extração de parâmetros como diâmetro e altura do peito, biomassa, densidade e volume de árvores (LIM *et al.* 2003; MORSDORF *et al.*, 2009; WALLACE *et al.*, 2011).

Utilizando ferramentas de medições auxiliares, como o GPS (*Global Position System*) e o IMU (*Inertial Measure Unit*) para registrar a posição e a altitude da aeronave durante o voo, é possível determinar a posição tridimensional em fase de pós-processamento. O sistema tem a habilidade de obter as informações do primeiro retorno de pulso LASER (topo do objeto) e do último retorno (superfície do terreno) com intensidade do pulso refletida para cada ponto mapeado (ZANDONÁ, 2015).

Figura 11 — Componentes do Sistema



Fonte: Zandoná et al. (2015)

7. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho são abordados dois casos independentes, onde um RPA foi utilizado para produção de dados para projetos de engenharia. A documentação dos casos foi gentilmente cedida pela empresa Direcional Engenharia S/A. O primeiro caso trata-se de um acompanhamento de obra e aplicações diversas como levantamento topográfico, perfil de elevação e vistoria de áreas de difícil acesso. Enquanto que segundo caso foi feita uma comparação entre levantamentos topográficos pelo método tradicional antes da supressão vegetal, e com RPA após supressão vegetal, e que ambas topografias foram utilizadas para estudo de Terraplenagem de um mesmo empreendimento. Tais casos foram selecionados por apresentarem características distintas de resultados através do recurso de RPAs.

7.1. Especificações da RPA Utilizada

Para obtenção das imagens foi utilizado um RPA fabricado pela DJI, modelo MAVIC 2 PRO, dotado de sensor RGB de Sistema omnidirecionais de Visão e Detecção Infravermelho, e uma câmera digital de 3 eixos estabilizada com sensor CMOS de 1" que faz vídeos em 4K e captura imagens de 20 megapixels, com quadros de 5472 por 3648 pixels medindo e com lente angular de 28mm equivalente e abertura variável entre f/2.8 e f/11. (DJI, 2018).

De acordo com o fabricante DJI, a aeronave possui peso de 907g, e tem capacidade de voar a até 6000m de teto máximo de serviço acima do nível do mar, também alcança uma velocidade máxima de 72km/h, e um tempo de voo máximo de 31 minutos, com velocidade constante de 25km/h. Além disso o drone possui Sistema Global de Posicionamento por Satélite – GNSS (GPS e Glonass) para sua orientação (CAMARGO, 2018).

Figura 12 — MAVIC 2 PRO



Fonte: DJI, 2021

O MAVIC 2 PRO é capaz de realizar fotogrametria e gerar mapas ortomosaicos 2D e modelos 3D com qualidade de excelência, possuindo câmera GPS embarcada, os softwares de planejamento de voo para obter as imagens e os softwares responsáveis pelo processamento das imagens ficam disponíveis na nuvem para acesso. Para obter uma precisão maior dos mapas é necessário a qualidade da câmera, sendo assim, o tamanho do sensor, a sua resolução, além do comprimento focal e o tipo de obturador influenciam absolutamente na resolução do mapa.

7.2. Aplicativos e Programas

Para os resultados foram utilizados programas e aplicativos tanto para Desktop quanto para Mobile. No uso em campo para execução dos voos foram utilizados os aplicativos móveis (Mobile). Já para os programas em desktop foram utilizados para processar imagens capturadas para gerar a ortofoto.

Os dados utilizados neste trabalho estão disponíveis na plataforma *SiteScan*. SiteScan for ArcGIS - é o software de mapeamento de drones baseado na nuvem, projetado para coleta de dados, processamento e análise de imagens 2D e 3D. Podendo armazenar histórico de voos com gerenciamento automático de frota. É possível planejar o caminho de voo ideal, importando camadas e modelos 3D de voos anteriores ou do ArcGIS Online, com segurança e precisão de planejamento para executar um voo autônomo planejado, mantendo-se atualizado com imagens de planos de voo repetíveis. Os dados podem ser publicados na organização ArcGIS para análises avançadas, com detecção de objetos e aplicação de inteligência artificial (AI).

Google Earth – sendo um programa desenvolvido pela Google, uma empresa estadunidense, que possui a função de mostrar um modelo tridimensional do globo terrestre, constituído através de mosaicos de imagens obtidas de diversas fontes.

Receptor GPS – Sistema de Posicionamento Global, que é utilizado para obtenção das coordenadas dos pontos de apoio para controle vertical e horizontal.

DJI GS PRO – Disponível apenas para iOS, possibilita a identificação do drone que será utilizado e a prévia calibração de acordo com os parâmetros da câmera e é utilizado no local do voo (aplicativo móvel).

Fluxograma 1 — Etapas de Projeto



Fonte: Acervo Direcional (2021)

7.3. CASO 1

7.3.1. Área de Estudo

A área utilizada para o estudo de caso 1 é um terreno com área total de 60.413,78m² localizado na Zona Norte de Manaus. Foi utilizado para exemplificar diferentes aplicações para uso de um único RPA na engenharia, nas etapas de construção de um empreendimento imobiliário. O empreendimento possui interesse social da faixa 1,5 do programa Casa Verde e Amarela e é subdividido em três condomínios constituídos por torres de 5 (cinco) pavimentos, com 8 (oito) ou 12 (doze) unidades por andar.

A primeira etapa, já concluída, possui área de 19.063,28m² e é composta por 10 (dez) blocos residenciais com 400 (quatrocentas) unidades. A segunda parcela, atualmente em processo de finalização, possui área de 18.594,00m² com 7 (sete) blocos e também com 400 (quatrocentas) unidades, e será o foco do caso 1. Enquanto a terceira etapa, que está sendo construída, possui área de 22.756,50m² com 8 (oito) blocos e 440 (quatrocentas e quarenta) unidades residenciais. No ANEXO A estão todas as implantações dos três condomínios.

Quanto à infraestrutura, será atendido pela Estação de tratamento de Esgoto da concessionária, as redes coletoras de esgoto sanitário esgotam por gravidade para os coletores projetados no viário interno ao empreendimento e são encaminhados para estação elevatória de esgoto externa ao empreendimento, esta será ligada à rede de esgoto por meio da rede coletora até o ponto de interligação na ETE, projetada e executada pela concessionária Águas de Manaus. O empreendimento é servido de abastecimento de água através de 2 poços artesianos e possui abastecimento de energia elétrica pela Amazonas Energia.

Os dados foram levantados no período de agosto/2020 e junho/2021 e foram processados e estão disponíveis na plataforma *SiteScan*.

Figura 13 — Terreno - Caso 1 – 25 de agosto de 2020



Fonte: SiteScan (2021)

7.3.2. Obtenção e análise de dados

Para obtenção das imagens o plano de voo chamado *Survey Mission* (Missão de Pesquisa) foi executado no dia 25 de agosto de 2020, gerando um conjunto de 327 imagens através do sensor RGB. Esses dados foram processados pelo programa SiteScan, os resultados são obtidos por MDT (Modelo Digital de Terreno). As imagens obtidas foram utilizadas para a caracterização da topografia, definir perfil de elevação, realizar o acompanhamento da obra e fazer a vistoria de áreas de difícil acesso. Na imagem abaixo é possível observar o caminho do RPA para captura de fotos e a sobreposição para elaboração de ortofoto com mosaicos.

Figura 14 — Localização Terreno - Caso 1 – 25 de agosto de 2020



Fonte: SiteScan (2021)

Para a topografia, através das fotos, foram geradas as curvas de nível para os três condomínios do empreendimento do Caso 1, em diferentes etapas: o Condomínio 1 já construído; o Condomínio 2 após supressão vegetal mostrando detalhe da erosão; e o Condomínio 3 ainda com cobertura vegetal.

Para definir o perfil de elevação, foi utilizada a ferramenta *Elevation Profile* (Perfil de Elevação) para obter o corte da seção transversal.

Quanto ao acompanhamento de obra, utilizou-se a função *timeline* (linha do tempo) da plataforma SiteScan para realizar a comparação entre períodos distintos do Condomínio 2.

Finalmente, para fazer a vistoria de áreas de difícil acesso e observar detalhes na vistoria após finalização dos blocos, foram capturadas 35 imagens em de voo panorâmico, no modo em modo *Panorama Mission*, em 25 de agosto de 2020.

7.4. CASO 2

7.4.1. Área de Estudo

A área utilizada para o estudo de caso 2 é referente a um empreendimento (condomínio) residencial multifamiliar, implantado em um terreno com área de 29.050,37m², localizado no bairro Ponta Negra, Manaus-AM, sendo um empreendimento que se enquadra em interesse social, no âmbito do Programa Casa Verde e Amarela Faixa 2. Foi escolhido por apresentar uma situação específica sobre levantamento topográfico pelo método convencional e por RPA.

O condomínio é composto por 11 (onze) blocos residenciais, cada torre residencial é composta por 05 (cinco) pavimentos, sendo cada pavimento composto por 08 (oito) unidades, totalizando 40 (quarenta) unidades por bloco e 440 (quatrocentos e quarenta) unidades no empreendimento.

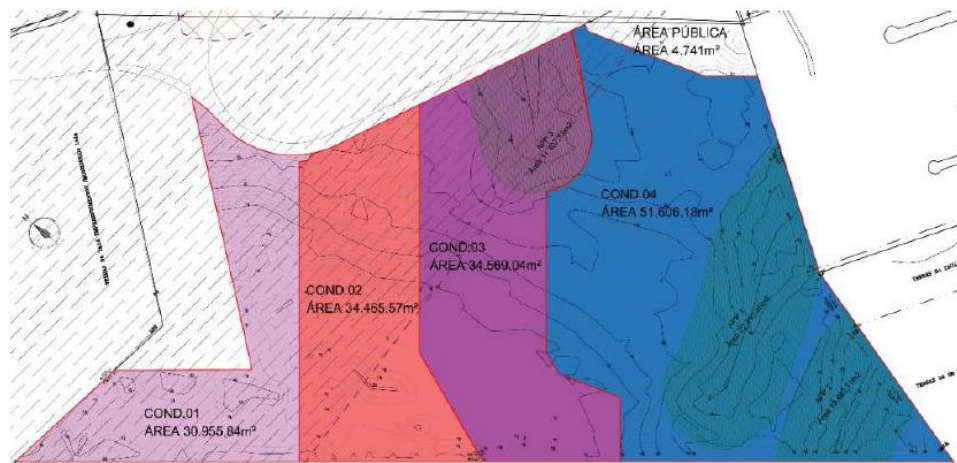
Figura 15 — Caso 2 – Condomínio 1



Fonte: Acervo Direcional (2021)

Essa é a primeira etapa de 4 (quatro) condomínios que estão em desenvolvimento em área total de 190.906,71m².

Figura 16 — Caso 2 – Terreno Geral com Projeção de Condomínios



Fonte: Acervo Direcional (2019)

Referente à infraestrutura para o condomínio 1 do Caso 2 conta com uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), e é abastecido por dois poços artesianos, ETA e compartimentos destinados ao armazenamento de água para reserva e consumo do condomínio. O projeto, ainda, inclui a previsão de terraplanagem de todo o terreno, totalizando 29.050,37 m² de movimentação de terra. A área de pavimentação prevista no projeto, por sua vez, corresponde a 15.549,54 m².

O local adquirido estava inicialmente coberto com vegetação densa, como é possível observar na Figura abaixo.

Figura 17 — Localização Terreno - Caso 2



Fonte: Google (2021)

Em março de 2021, foi desenvolvido o inventário florestal para a área estudada, através da empresa Amazônia Consultoria Ambiental, sendo levantadas 1285 árvores no local.

Figura 18 — Inventário Florístico



Fonte: Amazônia Consultoria Ambiental (2021)

7.4.2. Obtenção e análise de dados

Tendo em vista o cenário descrito acima, foi feito um levantamento topográfico Planialtimétrico Cadastral Georreferenciado pelo método convencional, em Novembro de 2019, e foi considerada toda a área adquirida com um total de 190.906,71m², presente no ANEXO B.

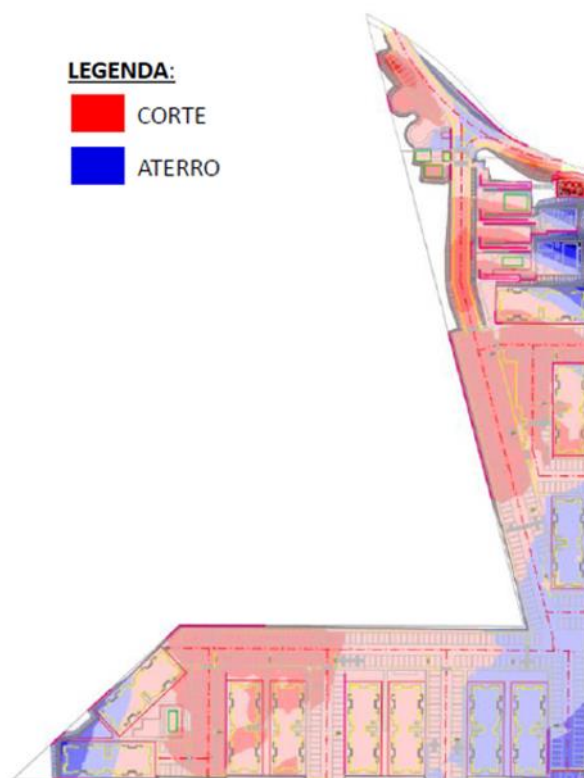
A partir de dois pontos GPS de apoio, foram desenvolvidos vértices secundários de tal forma que fosse possível colher o maior número de dados topográficos com definição exata dos pontos de detalhes. Os pontos notáveis foram colhidos através do método de irradiação polar com medidas angulares e lineares eletrônicas. Foram determinados planialtimetricamente os pontos de detalhes visíveis ao nível e acima do solo e de interesse à finalidade, tais como: alinhamentos prediais,

guias, cercas, edificações, benfeitorias, posteamentos, barrancos, árvores isoladas, limites de vegetação, drenagem natural e artificial, etc., enfim, todos os aspectos topográficos julgados importantes.

O levantamento topográfico foi complementado com medidas cadastrais à trena, nos detalhes de difíceis acessos.

Com base nos resultados do estudo, foram desenvolvidas todas as etapas para elaboração do projeto do empreendimento, incluindo os projetos executivos de terraplenagem para corte e aterro, que é um dos principais itens para a análise de custo considerando a topografia do terreno e projeto arquitetônico em questão. O Relatório Técnico de Projeto de Terraplenagem com a Primeira Revisão foi feito em 11 de junho de 2020 através da empresa Hydraulic Engenharia, foi obtido o seguinte resultado:

Figura 19 — Projeto Executivo de Terraplenagem – Obsoleto



Fonte: Hydraulic Engenharia (2020)

Os volumes de movimentação de terra apurados considerando o primeiro levantamento topográfico de 2019 foram:

Figura 20 — Volume de Terraplenagem - Topografia antiga de 2019

VOLUME DE TERRAPLENAGEM		
VOLUME	CORTE (M3)	ATERRO (M3)
GEOMÉTRICO	18.095,13	4.724,12
LIMPEZA*	-3.660,82	+1.716,34
VOLUME ÚTIL	14.434,31	6.440,46
COMPACTAÇÃO**	-	+1.610,12
TOTAIS	14.434,31	8.050,58
RESULTADO	6.383,73m ³ - BOTA-FORA	
ÁREA TOTAL DA TERRAPLENAGEM	26.885,80 m ²	

* ESTIMADA EM 20cm.

** ESTIMADA EM 25%.

Fonte: Hydraulic Engenharia (2020)

Com as licenças para legalização obtidas, foi feita a supressão vegetal, porém na limpeza do terreno foi constatado que a topografia usada para desenvolvimento do Projeto Legal não condizia com o estado real em campo. Foi necessário realizar um novo levantamento topográfico:

Figura 21 — Caso 2 após Supressão Vegetal



Fonte: SiteScan (2021)

O novo levantamento foi realizado com o RPA modelo MAVIC 2 PRO, e com terreno em situação de supressão vegetal finalizada. O voo precisou da licença pois trata-se área próxima ao Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, com a liberação do DECEA através da SARPAS e a anuência da DJI para realizar voos em zonas aeroportuárias.

O voo foi executado no dia 17 de agosto de 2021 no modo *Survey Mission* e gerou um conjunto de 96 imagens para formulação da ortofoto com sensor RGB.

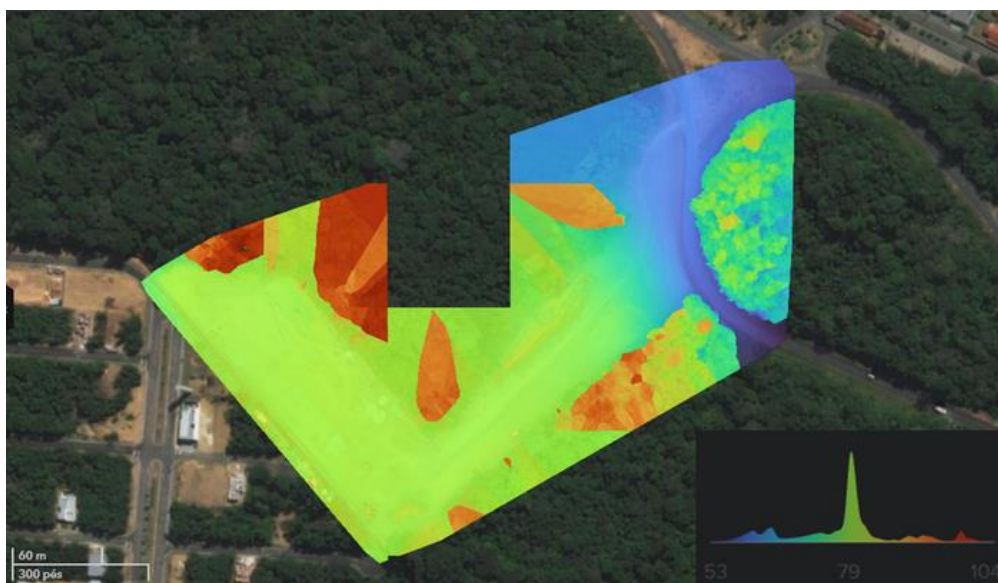
Figura 22 — Pontos para Ortomosaico - agosto/2021



Fonte: SiteScan (2021)

A partir das imagens coletadas pelo RPA, os dados foram processados e foram geradas as informações obtendo um resultado por MDT (Modelo Digital do Terreno) da área em questão. A representação da escala de cores é dada pelo modo Turbo, indicando tons frios (azul) para a parte mais baixa, verde para elevação mediana e tons quentes (vermelho) para a mais alta, sendo a elevação aproximada de 52,99m até 104,33m, como é possível observar na legenda de Altitude, em metros, na figura abaixo.

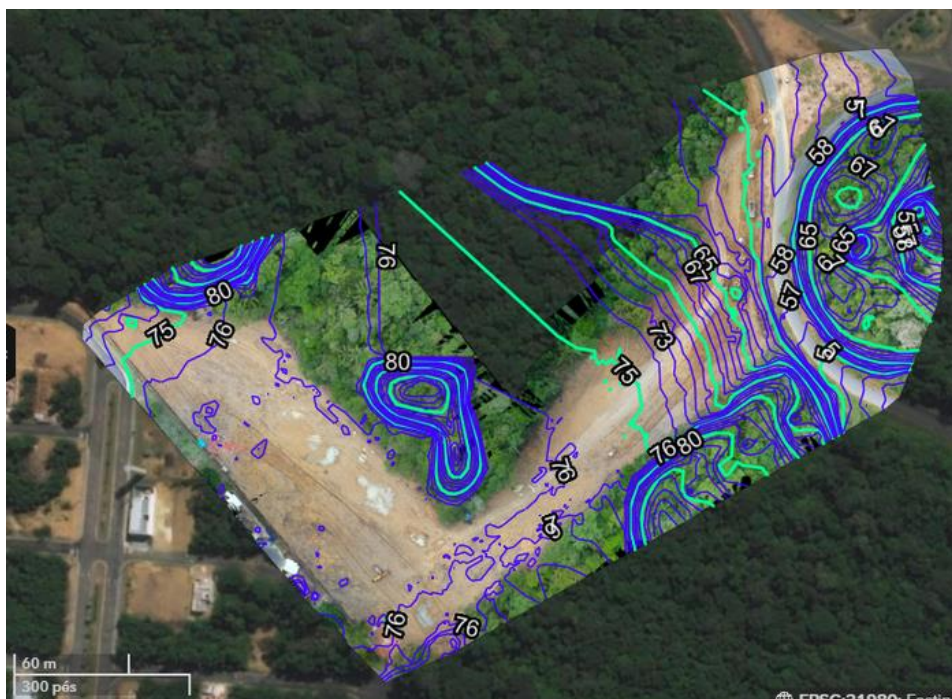
Figura 23 — Modelo Digital de Terreno (MDT) - agosto/2021



Fonte: SiteScan (2021)

O sistema é capaz de traçar curvas de nível com os parâmetros indicados pelo usuário, a figura abaixo mostra as curvas de nível imediatas obtidas pelo *SiteScan* com equidistância de 1 metros para linhas azuis e 5m para linhas verdes, em anexo está topografia processada.

Figura 24 — Curvas de Nível - agosto/2021

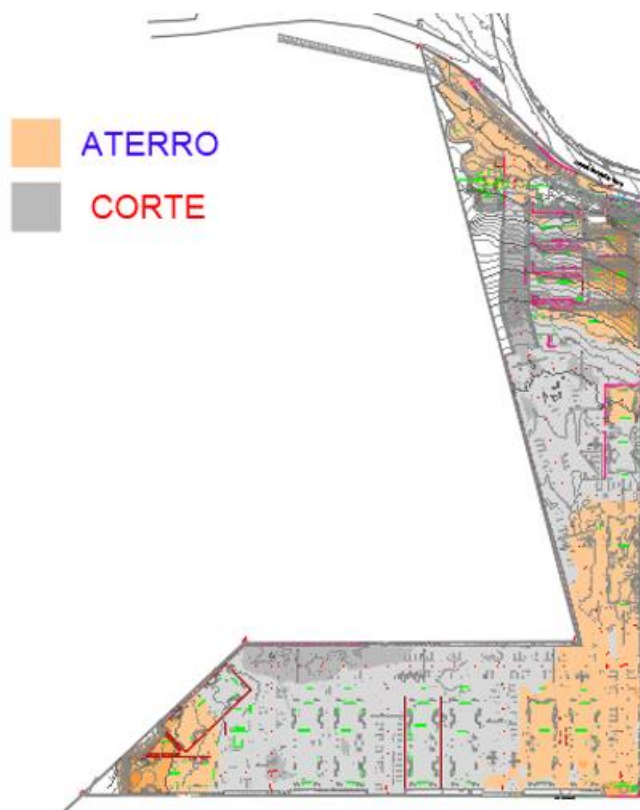


Fonte: SiteScan (2021)

Além desse levantamento de identificação e acompanhamento das divergências encontradas após a limpeza do terreno, foi feito um Levantamento Planialtimétrico de urgência também por RPA, com profissional especialista, também em agosto de 2021, elaborado pela empresa ALMEIDA TOPOGRAFIA & PROJETOS, cuja topografia está no ANEXO C.

Com os resultados obtidos desta última topografia, foi feita a atualização e compatibilização dos projetos complementares executivos do empreendimento, em consonância com o projeto arquitetônico, através de nova análise de Relatório Técnico de Projeto de Terraplenagem - Revisão 2 - feita pela Hydraulic Engenharia, em 10 de setembro 2021.

Figura 25 — Projeto Executivo de Terraplenagem - Atualizado



Fonte: Hydraulic Engenharia (2021)

Os volumes de movimentação de terra apurados com relatório da Revisão 2 através de nova topografia de 2021 para terraplenagem foram:

Figura 26 — Volume de Terraplenagem - Topografia Nova

VOLUME DE TERRAPLENAGEM		
VOLUME	CORTE (m³)	ATERRO (m³)
GEOMÉTRICO	10.272,03	6.156,28
LIMPEZA*	-	-
VOLUME ÚTIL	10.272,03	6.156,28
COMPACTAÇÃO**	-	+1.539,07
TOTAIS	10.272,03	7.695,35
RESULTADO	2.576,68 m³ - BOTA-FORA	
ÁREA TOTAL DA TERRAPLENAGEM	26.600,51 m³	

* ESTIMADA EM 20cm.

** ESTIMADA EM 25%.

Fonte: Hydraulic Engenharia (2021)

7.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

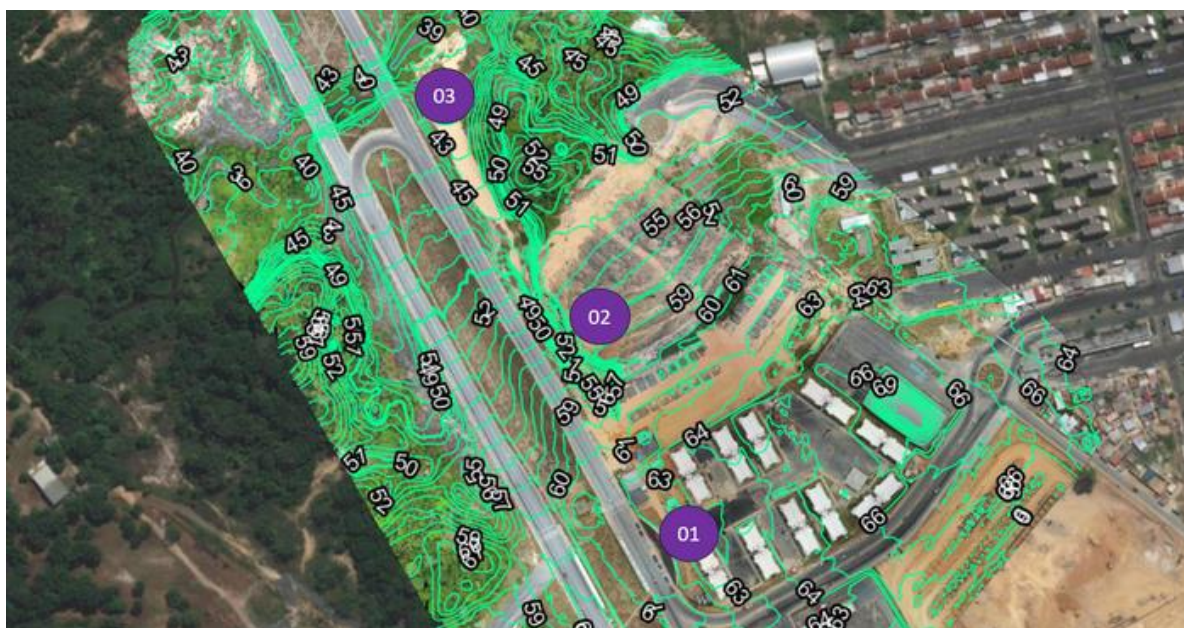
7.5.1. CASO 1

7.5.1.1. Topografia

No voo executado em 25 de agosto de 2020 foi obtido o levantamento topográfico com foco nos condomínios 02 e 03 conforme mostrado na figura abaixo, nela é possível perceber uma grande fenda na parte da frente do lote a partir das curvas de nível devido à Erosão no Condomínio 2 que segue até o Condomínio 3 através do levantamento após supressão vegetal para iniciar as obras.

O *SiteScan* faz processamento automático dos levantamentos topográficos, com isso nota-se, na figura a seguir, que os traços das curvas não são refinados, e por isso apresentam resultados, por vezes, ilegíveis devido à falta de sensibilidade do processador.

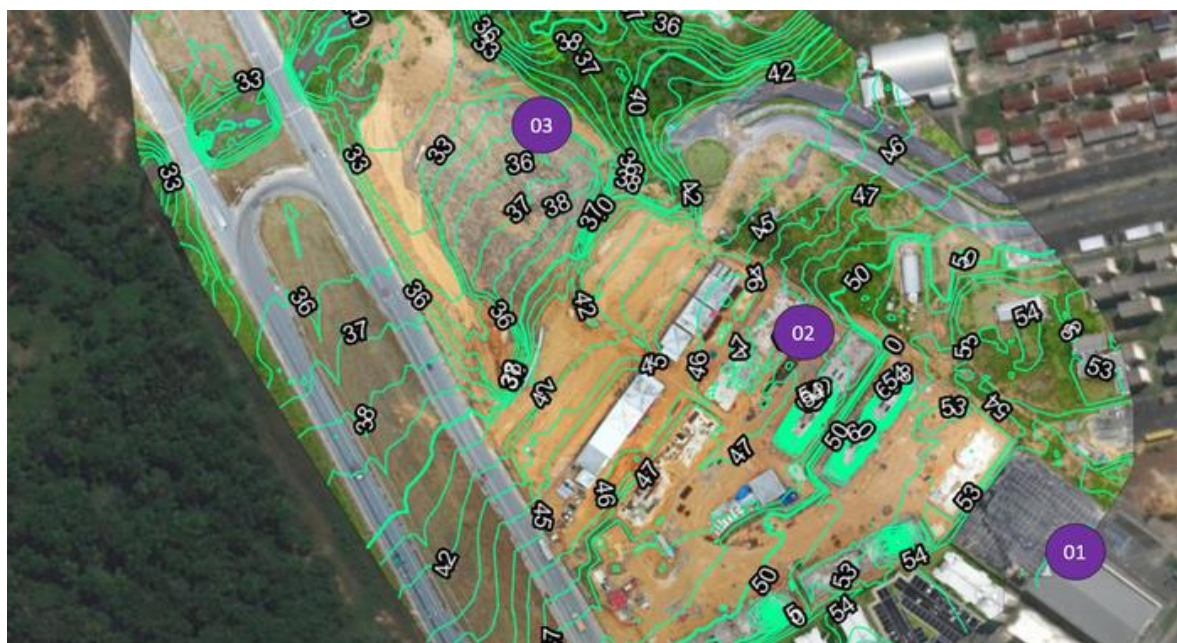
Figura 27 — Curvas de Nível - agosto/2020 - Caso 1



Fonte: SiteScan (2021)

Com o levantamento através de RPA, fez-se o acompanhamento das mudanças no relevo através das curvas de nível em períodos distintos. Em 17 de junho de 2021, foi feito um novo levantamento com a captura de 74 fotos considerando uma área menor, focando na construção da segunda etapa do empreendimento. Na ortofoto a seguir é possível perceber que o condomínio 2, como indicado na foto, já apresenta o levantamento de algumas torres e já foi feito o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD para a Erosão no local. Também se nota que o terreno adjacente (condomínio 3) já foi limpo com supressão vegetal e já possui curvas de nível suavizadas por terraplenagem.

Figura 28 — Curvas de Nível - junho/2021 - Caso 1



Fonte: SiteScan (2021)

7.5.1.2. Perfil de Elevação

O plano de voo foi executado no dia 25 de agosto de 2020 com um conjunto de 327 imagens através do sensor RGB. Esses dados foram processados pelo programa SiteScan, os resultados são obtidos por MDT (Modelo Digital de Terreno). A ferramenta *Elevation Profile* (Perfil de Elevação) foi utilizada para obter o corte da seção transversal, e através do Perfil de Elevação com levantamento de RPA, foi identificando um aumento significativo da erosão existente no terreno do Condomínio 2. Um mês após a recuperação da área, em 29 de setembro de 2020, foi feito outro voo com um conjunto de 238 imagens para acompanhamento. Abaixo é possível observar o antes e o depois do PRAD através dos perfis levantados com precisão.

Figura 29 — Perfis de Elevação - agosto/2020 e setembro/2020 - Caso 1



Fonte: SiteScan (2021)

Os dados levantados por RPA são obtidos de forma muito prática, segura e precisa comparadas ao levantamento convencional, pois possui um número bem maior de pontos processados. Por exemplo, quando é feito um estudo de uma grande erosão, para o levantamento tradicional são necessários profissionais muito qualificados para se obter os resultados confiáveis, além do difícil acesso ao local e tempo excessivo para finalizar esse tipo de serviço.

7.5.1.3. Acompanhamento de Obra

Utilizou-se a função *timeline* (linha do tempo) da plataforma SiteScan para realizar a comparação entre períodos distintos do Condomínio 2.

Uma função importante função da aplicação de RPA na construção civil é o acompanhamento do desenvolvimento da obra, fazer o levantamento em períodos constantes é uma ferramenta muito útil para saber a evolução da obra, seguindo as etapas programadas e se está de acordo com o calendário estipulado.

Abaixo, com a função *timeline* (linha do tempo) é possível fazer a comparação entre dois períodos distintos do Condomínio 2. Os pontos de apoio, nesse caso, são importantes para manter o mosaico na localização correta para efeitos comparativos da ortofoto. No caso 1 - Condomínio 2, os levantamentos foram feitos em 25 de agosto de 2020 (com total de 327 fotos) e 17 de junho de 2021 (com total de 74 fotos). Nas imagens é possível constatar a evolução da obra com o levantamento dos blocos:

Figura 30 — Acompanhamento da Obra: Caso 1 - agosto/2020 e junho/2021



Fonte: SiteScan (2021)

7.5.1.4. Vistoria de Áreas de Difícil Acesso

A obtenção de fotos em modo *Panorama Mission* mostra a eficiência dentro da inspeção, manutenção e vistoria de obras, reduzindo os custos de operação e riscos possíveis para colaboradores, mantendo um alto nível de detalhes nos dados coletados, em uma relação inversamente proporcional com tempo e quantidade de trabalho exigido. Sendo possível avaliar patologias, erros construtivos e inconformidades de materiais utilizados, além de identificar necessidades de manutenção na cobertura.

Com a utilização de RPA para Obra do Caso 1 - Condomínio 1, foram obtidas fotos de qualidade para observar detalhes na vistoria após finalização dos blocos, ocorrida em 25 de agosto de 2020 com a captura de 35 imagens através de voo panorâmico, identificando que a telha instalada era diferente da telha específica pedida por questões de acústica, o almoxarifado não conferiu a divergência de materiais e foi colocada uma telha comum, sendo necessária a troca após constatação.

Figura 31 — Vistoria Obra Caso 1 - agosto/2020



Fonte: SiteScan (2021)

No Caso 1 foi possível observar que, para um mesmo empreendimento, é possível fazer variadas aplicações em etapas diferentes do desenvolvimento da obra, obtendo informações importantes para acompanhamento utilizando apenas um RPA.

É notável que a escolha do equipamento influencia diretamente nos resultados obtidos, pois existem especificações diretas dependendo do modelo empregado. Além disso, as aplicações devem ser feitas de forma criteriosa pelo profissional, sabendo que os dados são processados por softwares através dos parâmetros indicados pelo usuário, como mostrada nas diferentes situações do Caso1.

De maneira geral, os Drones estão se tornando uma ferramenta cada vez mais viáveis, tanto do ponto de vista econômico como técnico, sendo uma alternativa várias demandas da Engenharia/Construção Civil, de acordo com o que foi visto no Caso 1. Não somente isso, a produção de informações por RPAs tem ampliado cada vez mais as possibilidades de aplicações para os profissionais da área.

O caso 1, por se tratar de um grande empreendimento, possui capital para investimento em recursos com esse tipo de tecnologia. Sabe-se que ainda é um equipamento bastante oneroso para muitos profissionais da área, porém, com o avanço tecnológico, logo será indispensável para a obtenção de dados. Essa técnica reduz custos de operação, riscos para colaboradores e tempo, mantendo qualidade e grande nível de detalhe nos resultados obtidos.

7.5.2. CASO 2

O caso 2 possui uma particularidade considerando que foram feitos dois levantamentos topográficos com métodos distintos em estados e etapas diferentes, sendo o primeiro na aquisição do lote e o segundo no início das obras. Na primeira situação, o terreno estava completamente tomado por vegetação densa, em que foi feito um levantamento pelo método convencional, enquanto que na segunda situação foi feito o levantamento do lote após a supressão vegetal através de RPA.

O primeiro levantamento, a topografia não cumpriu com as expectativas devido à situação do terreno com vegetação bastante densa, apesar disso foi um importante estudo pois revelou Áreas de Preservação Permanente e Nascentes dentro do Lote adquirido. Notavelmente, por se tratar de uma área de cobertura vegetal densa e com difícil acesso, tanto levantamento convencional como o levantamento com RPA com câmera RGB não seriam precisos ou bem aproveitados.

Após a limpeza do terreno, constatadas as divergências topográficas, foi feito um levantamento planialtimétrico através de RPA com câmera RGB (Mavic Pro 2) de forma emergencial, com resultado satisfatório e rápido para continuação e validação do estudo.

Com isso, os resultados indicaram uma disparidade na Movimentação de Terra de acordo com os Relatórios de Terraplenagem feitos nas duas situações. O estudo de terraplenagem considerando o primeiro levantamento apresentou um resultado de bota-fora de $6.383,73\text{m}^3$, enquanto que o estudo considerando o segundo levantamento obteve resultado de bota-fora de $2.576,68\text{m}^3$. Totalizando uma divergência de $3.807,05\text{m}^3$ na movimentação de terra entre os dois relatórios a partir das topografias disponibilizadas em conjunto com Projeto Arquitetônico.

Figura 32 — Volume de Terraplenagem – Revisão jun/2020 e set/2021

VOLUME DE TERRAPLENAGEM			VOLUME DE TERRAPLENAGEM		
VOLUME	CORTE (M3)	ATERRO (M3)	VOLUME	CORTE (m³)	ATERRO (m³)
GEOMÉTRICO	18.095,13	4.724,12	GEOMÉTRICO	10.272,03	6.156,28
LIMPEZA*	-3.660,82	+1.716,34	LIMPEZA*	-	-
VOLUME ÚTIL	14.434,31	6.440,46	VOLUME ÚTIL	10.272,03	6.156,28
COMPACTAÇÃO**	-	+1.610,12	COMPACTAÇÃO**	-	+1.539,07
TOTAIS	14.434,31	8.050,58	TOTAIS	10.272,03	7.695,35
RESULTADO	6.383,73m³ - BOTA-FORA		RESULTADO	2.576,68 m³ - BOTA-FORA	
ÁREA TOTAL DA TERRAPLENAGEM	26.885,80 m²		ÁREA TOTAL DA TERRAPLENAGEM	26.600,51 m²	

* ESTIMADA EM 20cm.

** ESTIMADA EM 25%.

* ESTIMADA EM 20cm.

** ESTIMADA EM 25%.

Fonte: Hydraulic Engenharia (2021)

O empreendimento em questão prevê a construção de mais de 2000 unidades familiares, porém, assim como aconteceu com a primeira etapa, as outras três fases do empreendimento possuem carência de precisão no levantamento topográfico para desenvolvimento do projeto. O que se repete em outros projetos de empreendimentos da cidade de Manaus, que está em constante crescimento, em que grande parte dos Terrenos adquiridos possuem vegetação densa.

Dessa forma, com o advento das novas tecnologias, através do avanço do processamento de dados e a miniaturização de componentes eletrônicos, o uso de aeronaves remotamente pilotadas será cada vez mais necessário para trazer soluções com novos sensores, pois trata-se de uma tecnologia recente e em constante ascensão com potencial para solucionar necessidades tão corriqueiras.

Apesar da RPA ser ainda uma tecnologia bastante onerosa, nesse caso, por se tratar de um condomínio residencial multifamiliar de grande porte com mais três condomínios a serem construídos, o investimento traria resultados com precisão, e evitaria retrabalho e mais gastos com projetos complementares, pois as RPAs possuem configurações distintas, pois possuem vários modelos e aplicações específicas para sua utilização.

A vantagem de um RPA sobre os outros métodos para levantamento é a flexibilidade que possibilita a captura de dados a partir de pontos de vista não convencionais. O método tradicional, mesmo nesse caso, não deixa de ser um importante aliado na engenharia, porém, para todos os métodos e aplicações devem haver profissionais qualificados para um retorno satisfatório.

8. CONCLUSÃO

Os RPAs têm um potencial incrível de crescimento para utilização científica e profissional na engenharia, porém é um recurso que deve ser empregado de forma consciente, aliado ao conhecimento do profissional que o utiliza. Sabendo que o RPA é diferente de aeromodelo, e deve ser utilizado seguindo as diretrizes normativas, exigindo um nível de conhecimento sobre o mesmo para execução de vôos com segurança.

Dessa forma, ao se utilizar esse artifício, é necessário ter noção sobre a ciência por trás das informações obtidas conhecida como Fotogrametria, além de outros recursos e sensores que podem ser atrelados a esse instrumento. Outro importante fator é a escolha específica do modelo de RPA designado para a atividade que será desempenhada, visto que os exemplares possuem diversas características de forma exclusiva e particulares, e cada estudo possui diferentes necessidades e, como consequência, requer diferentes tipos de soluções e funcionalidades equipadas nos drones.

O bom resultado para a obtenção de dados é feito através junção de equipamento, profissional e situação. Nem sempre, a melhor opção é a utilização dessa tecnologia, visto que podem ocorrer casos que pedem os métodos tradicionais para obtenção de resultados, assim como a situação reversa em que o RPA é a solução mais adequada.

Sendo assim, um profissional da engenharia civil que utiliza esse equipamento deve estar apto a ter o senso crítico, através de constante preparo com investimento e atualização dos recursos dessa tecnologia, para saber quando é aplicável ou não o aparelho de RPA.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, Qassim A. **Aplicações geoespaciais de sistemas aéreos não tripulados (UAS)**. GEOG 892 - Pennstate University. Disponível em: <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5>. Acesso em: 12 out. 2021.
- ABIB, O. A. **Aerofotogrametria**. Presidente Prudente: Instituto de Planejamento e Estudos Ambientais, UNESP, 1983.
- ACERVO DIRECIONAL. **Marinas**. 2021.
- AMAZÔNIA CONSULTORIA AMBIENTAL. **INVENTÁRIO FLORÍSTICO**. 2021.
- ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. RBAC-E nº94. [On Line]. Disponível em: <https://www.defesa.gov.br/arquivos/cartografia/dica/legislacao/rbac_e_94_anac_02_05_2017.pdf>. Acesso em: 26 set. 2021.
- ANAC. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Portaria DAC 207 - Estabelece as Regras para a Operação do Aeromodelismo no Brasil. 1997. [On Line]. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/port207ste.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2021.
- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Constituição. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 de outubro de 1998, ano [On Line]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 26 set. 2021.
- BRASIL. **Decreto Lei nº2848**: 07 de dezembro de 1940. Brasília, DF, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del2848compilado.htm. Acesso em: 26 set. 2021.
- BRITO, J. L. N; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria digital**. UERJ, f. 98, 2007. 196 p.
- CAMARGO, D. C. S.. **APLICABILIDADE DO USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS NO MONITORAMENTO E GESTÃO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO TAIM – RS**.

Porto Alegre, 2018. 132 p Dissertação (Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

Coleção SENAR: Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Agricultura de precisão: drones**. Brasília, 2018.

COLOMINA, I., Molina, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79–97.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs>. Acesso em: 14 out. 2021.

Controler Craft. **Beginner Drone Guide: Types, Quality, & Applications**. 2017. Disponível em: <https://findmefpv.wordpress.com/2017/01/25/beginner-drone-guide-types-quality-applications/>. Acesso em: 13 out. 2021.

CUNHA, A. A. *et al.* Controle de qualidade posicionamento de ortofoto gerada pelo RPA (Remotely Piloted Aircraft) Phantom 3 com receptor GNSS embarcado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, COBRAC. 2016, Florianópolis: Anais. Disponível em: <http://ocs.cobrac.ufsc.br/index.php/cobrac/cobrac2016/paper/viewFile/221/3>. Acesso em: 27 set. 2021.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. DECEA. ICA 100-40: AERONAVES NÃO TRIPULADAS E O ACESSO AO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO: Rio de Janeiro/RJ. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/api//storage/uploads/files/75a09bfd-5e5d-4f9a-b4485ccd3fd4627a.pdf>. Acesso em: 26 set. 2021.

DISPERATI, Attilio Antonio *et al.* **Fotografias aéreas de pequeno formato**: aplicações ambientais, f. 130. 2006. 260 p.

DISPERATI, Attilio Antonio. **Fotografias aéreas inclinadas**, f. 57. 1994. 113 p.

DJI. **MAVIC 2 PRO**. Disponível em: <https://store.dji.com/product/mavic-2?vid=45291>. Acesso em: 14 out. 2021.

DUFFY, P. *et al.* **Tecnologias de Drones para Conservação, Série de Tecnologia para Conservação** : WWF 1(5). WWF. (Ed. Português). .

GALARRAGA, Jaime Sánchez . **ODOMETRÍA VISUAL ESTEREOSCÓPICA FUSIONADA CON INFORMACIÓN INERCIAL**. 2018 Trabalho de Conclusão de Curso (Ingeniería en Tecnologías Industriales) - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (upm).

GOOGLE. **Rampas de Aproximação e Áreas de Ruído**: Aeroportos Eduardo Gomes e Flores. Google Earth. Manaus, 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-3.0471291,-60.04254855,67.43822717a,16809.77458642d,35y,0h,0t,0r>. Acesso em: 12 out. 2021.

Grupo Transitar & Associados. **Tipos de Drones**. GTA Levantamentos. Disponível em: <https://www.gtalevantamentos.com.br/tipos-de-drones/>. Acesso em: 4 out. 2021.

HALFCHROME. 2021. Disponível em: <https://www.halfchrome.com/drones-by-size/>. Acesso em: 13 out. 2021.

HEADWALL PHOTONICS. **NANO-HYPERSPEC specifications**. 2017. Disponível em: <http://www.headwallphotonics.com/spectral-imaging/hyperspectral/nano-hyperspec>. Acesso em: 13 out. 2021.

Hydraulic Engenharia. **Relatório de Terraplenagem**. 2020.

Hydraulic Engenharia. **Relatório de Terraplenagem**. 2021.

ICAO. Air Navigation Commission. Guide to the Drafting of SARPS and PANS. Ed. Montreal: ICAO, 2015a. 59p.

IRSCHARA, A. *et al.* Towards fully automatic photogrammetric reconstruction using digital images taken from uavs. *In*: WAGNER W.; SZÉKELY, B. (EDS.). ISPRS TC VII SYMPOSIUM: 100 YEARS ISPRS, Vienna, Austria: IAORS. Disponível em: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part7/a/pdf/65_XXXVIII-part7A.pdf. Acesso em: 26 set. 2021.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Parêntese. 2011.

LIMA, O. P; LOCH, C. O . O uso de Câmeras Fotográficas de Pequeno Porte nos Levantamentos Cartográficos Destinados ao Cadastro Técnico Multifinalitário. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITARIO, COBRAC. 1998, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: UFSC, 1998.

LOPES, Tássia Scorzello. Responsabilidade civil por danos causados pelo uso de drones e balões no espaço aéreo brasileiro. *In*: REVISTA JUS NAVIGANDI, Teresina, 2000. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/79097>. Acesso em: 6 out. 2021.

LUCIEER, A., Robinson, S., Turner, D., Harwin,, S., Kelcey,. **Using a micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of antarctic moss beds**.

ISPRS: Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci., XXXIX-B1, pp. 429-433. 2012.

MENDONÇA, F. N. **DETECÇÃO DE LINHAS DE PLANTIO DA CANA DE AÇÚCAR POR MEIO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**. 2019. 63 p Dissertação (Curso de Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2019.

MORSDORF, F., Nichol, C., Malthus, T., Woodhouse, I.H.. **Assessing forest structural and physiological information content of multi-spectral LiDAR waveforms by radiative transfer modelling**. *Remote Sensing of Environment*, **113**, **10**, 2152-2163,. 2009.

NASA. **Aeronave Global Hawk**. 2017. Disponível em: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_2362.html. Acesso em: 12 out. 2021.

PÉREZ, M; AGÜERA, F; CARVAJAL, F. Digital camera calibration using images taken from na unmanned aerial vehicle. *In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL, INFORMATION SCIENCES*. 2011, Zurich, Switzerland: V. XXXVIII-1-C22-167-2011..

REMOTE Piloted Aerial Vehicles: An Anthology. Disponível em: http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html#Beginnings. Acesso em: 28 set. 2021.

RUY, R da S. **Desenvolvimento e validação geométrica de um sistema para mapeamento com câmeras digitais de médio formato**, f. 246. 2008 Tese (Ciências Cartográficas - Faculdade de Ciências e Tecnologia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

SHENG,, H., Chao, H., Coopmans, C., Han, J., McKee, M., Chen. **Low-cost UAV-based thermal infrared remote sensing: Platform, calibration and applications.**: In Proceedings of 2010 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (pp. 38-43). IEEE,. 2010.

SHIBATA, Henrique Yanaguibashi . **DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO DE BAIXO CUSTO E INTEGRAÇÃO COM FERRAMENTA EDUCACIONAL PARA TREINAMENTO DE VOO**. 2019 Tese (Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

SiteScan. **485 - Marinas**. 2021.

TANG, L., Shao. G. Drone remote sensing for forestry research and practices. Journal of Forestry Research, 2015.

VIEIRA, P. G; BUENO, L. S. ARPS E SUAS APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL. **Ignis | Caçador**, Blumenau, v. 8, n. 3, set 2019.

WOLF, P. R. **Elements of photogrammetry**. New York: Mc Graw-Hill, 1995.

ZANDONÁ, Daniele Felix *et al.* Avaliação da precisão altimétrica do mapeamento digital a laser em áreas de cobertura vegetal densa. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 757-762. Universidade Federal do Paraná - - LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2015.

ANEXO A — Características dos empreendimentos.

Caso 1 - Implantação - Subcondomínio 1



Caso 1 - Implantação - Subcondomínio 2



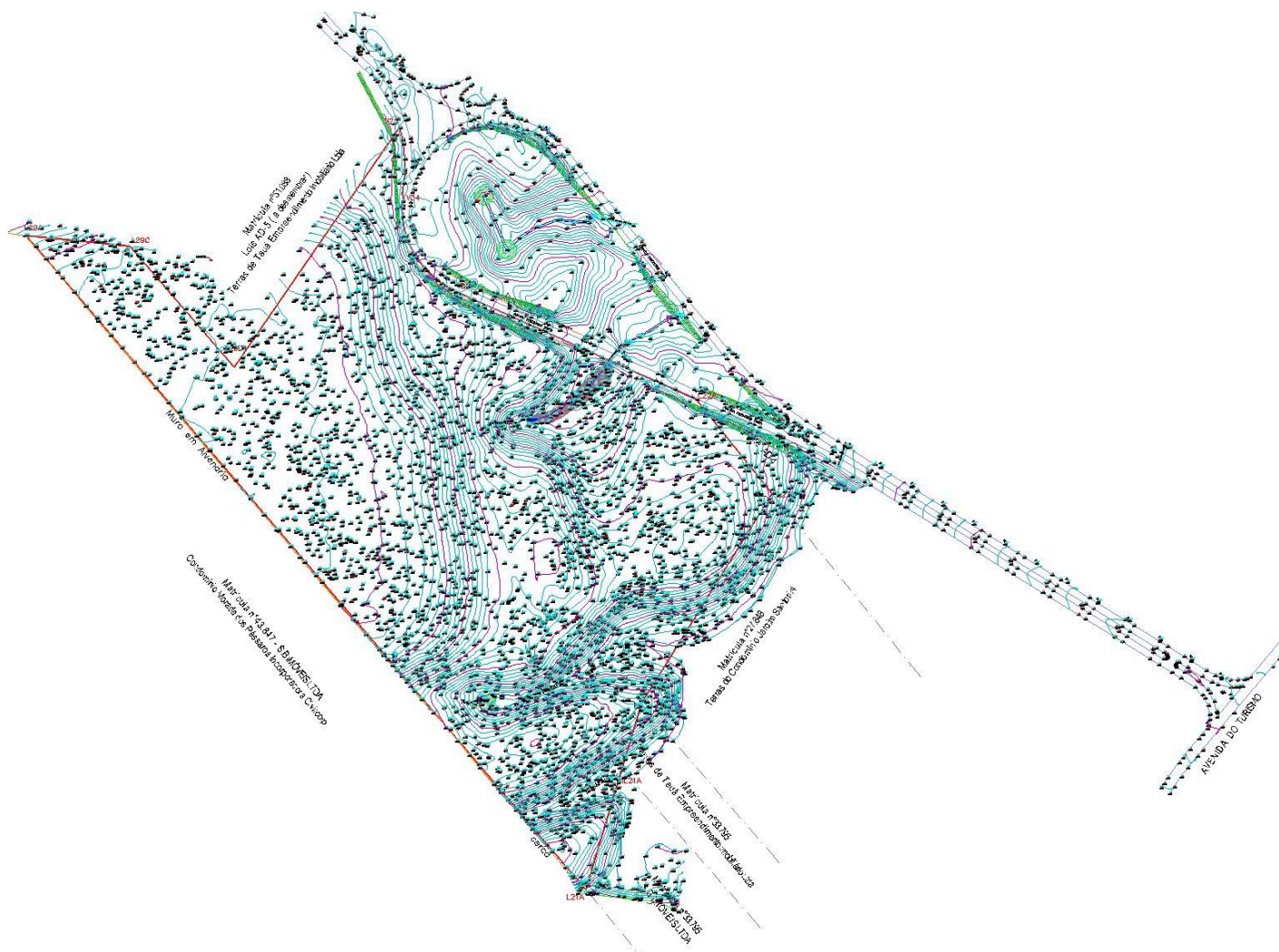
Caso 1 - Implantação - Subcondomínio 3



Caso 2 – Implantação



ANEXO B — Levantamento Topográfico 2019 - Caso 2.



ANEXO C — Levantamento Topográfico 2021 - Caso 2.

