Organizador:
Roberto Macedo Gamarra

DRONES

GUIA BÁSICO PARA MAPEAMENTO AÉREO

editora UFMS

Organizador:
Roberto Macedo Gamarra

DRONES

GUIA BÁSICO PARA MAPEAMENTO AÉREO

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MATO GROSSO DO SUL

Reitor
Marcelo Augusto Santos Turine

Vice-Reitora
Camila Celeste Brandão Ferreira Ítavo

Obra aprovada pelo
CONSELHO EDITORIAL DA UFMS
Deliberação Nº 10, DE 15 DE MAIO DE 2020

Conselho Editorial
Rose Mara Pinheiro (presidente)
Além-Mar Bernardes Gonçalves
Alessandra Borgo
Antonio Conceição Paranhos Filho
Antonio Hilario Aguilera Urquiza
Elisângela de Souza Loureiro
Elizabete Aparecida Marques
Marcelo Fernandes Pereira
Nalvo Franco de Almeida Jr
Rosana Cristina Zanelatto Santos
Ruy Caetano Correa Filho
Vladimir Oliveira da Silveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Divisão da Editora UFMS, Campo Grande, MS, Brasil)

Drones: guia básico para mapeamento aéreo [recurso eletrônico] / Roberto Macedo Gamarra, organizador. Campo Grande, MS : Ed. UFMS, 2020.
1 arquivo: 2.005 kb

Formato: digital
Disponível no Repositório Institucional (UFMS)
ISBN 978-65-86943-06-1

1. Drone. 2. Veículos remotamente pilotados 3. Veículos autônomos I. Gamarra, Roberto Macedo.

CDD (23) 629.1326

Elaborada pela Bibliotecária Lilian Aguilar Teixeira CRB 1/2448

Organizador:
Roberto Macedo Gamarra

DRONES

GUIA BÁSICO PARA MAPEAMENTO AÉREO

Campo Grande - MS
2020

editora UFMS

© dos autores:
Andrey Gaspar Sorrilha Rodrigues
Jéssica Rabito Chaves
Vinícius Gonçalves da Silva
Amanda Letícia Abegg da Silveira
Pedro Henrique Barrera de Moura Gomes
Roberto Macedo Gamarra
Antonio Conceição Paranhos Filho

1ª edição: 2020

Projeto Gráfico, Editoração Eletrônica
TIS Publicidade e Propaganda

Revisão
A revisão linguística e ortográfica
é de responsabilidade dos autores

A grafia desta obra foi atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa, de 1990, que entrou em vigor no Brasil em 1º de janeiro de 2009.

Direitos exclusivos
para esta edição

editora UFMS

Divisão da Editora UFMS - DIEDU/AGECOM/UFMS
Av. Costa e Silva, s/nº - Bairro Universitário, Campo Grande - MS, 79070-900
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Fone: (67) 3345-7203
e-mail: diedu.agecom@ufms.br

Editora associada à

Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

ISBN: 978-65-86943-06-1
Versão digital: maio de 2020.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a:

Ao CNPq, pelas Bolsas de Produtividade em Pesquisa concedidas a Antonio Conceição Paranhos Filho (processo 304 122/2015-7).

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do MS - FUNDECT pelo apoio com recursos do Edital Universal 10/2015 (Processo: 59/300.164/2016, TO 095/2016; TO 25849).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelas bolsas de mestrado concedidas a Amanda Letícia Abegg da Silveira, Andrey Gaspar Sorrilha Rodrigues e Jéssica Rabito Chaves.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

RESUMO

A coleta de informações é essencial para nortear estratégias de análise, planejamento e gestão, considerando as interações antrópicas e suas transformações ambientais. Logo, os Drones possibilitaram diferentes maneiras de coleta, processamento, análise e donativo de informações referenciadas geograficamente. Deve-se destacar que como qualquer ferramenta, está só se torna eficiente quando utilizada adequadamente ao processo de trabalho metodológico. Por se tratar de uma tecnologia que recentemente tornou-se mais acessível, o montante de informações ainda está em desenvolvimento, desse modo a literatura sobre o tema ainda não contempla diversos aspectos e situações atípicas. O objetivo deste Guia é orientar no processo de trabalho com os Drones, compreendendo as etapas e processos que envolvem a tecnologia. Desse modo, permite o esclarecimento do manuseio prático da ferramenta e coleta de dados para um público em geral, a fim de criar um roteiro operacional utilizando técnicas e testes de manuseabilidade e processamentos em softwares aplicados a essa finalidade, descrevendo etapas e experiências situacionais.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto; VANT; Drone; Multirrotor;

PREFÁCIO

A coleta de informações é essencial para nortear estratégias de análise, planejamento e gestão, considerando as interações antrópicas e suas transformações ambientais. Assim, o desenvolvimento de tecnologias mostrou-se necessário para resolução de demandas atuais. Logo, novas maneiras de coleta, processamento, análise e donativo de informações referenciadas geograficamente, ocorrem como um arranjo de mecanismos que condiz ao termo geotecnologia (Mendonça, 2011).

Conhecido como a utilização de um conjunto de ferramentas, o campo das geotecnologias permite a integração e aplicação de dados de forma rápida e segura (sem contato direto com o meio), para fins de monitoramento, planejamento e tomada de decisões relativas ao espaço geográfico. A associação de softwares através da tecnologia de sensoriamento remoto (SR) torna possível a coleta de informações, seja por uma plataforma orbital, satélites, sub-orbital ou até mesmo por meio de aeronaves.

O termo aeronave naturalmente remete à uma ideia de veículo aéreo de transporte de passageiros. Porém, tal conceito referente ao conceito "tripulado" começou a se transformar a partir do século XIX (Hardgrave, 2005).

A caracterização do conceito VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado surgiu em um cenário militar para fins de investida militar ou guerrilha, ocorridas na Itália no decorrer de um ataque austríaco sobre a cidade de Veneza. Em 1849, balões repletos de explosivos foram lançados por domínio austríaco para fins de atacar a cidade italiana. Também sob contexto militar, porém com uma temática diferente a de um ataque, no século seguinte durante a Guerra da Coréia e do Vietnã, as forças armadas dos Estados Unidos das Américas (EUA) integraram a utilização de VANT para diagnóstico aéreo, com a finalidade de

organização de propósitos estratégicos e averiguação de comunicação inimiga (Hardgrave, 2005).

Devido às características de baixo risco para o operador do equipamento, de flexibilidade da capacitação móvel, de agilidade e facilidade de obtenção de dados em comparação com os demais instrumentos disponíveis, o uso de VANTs tem sido explorado em levantamentos para diagnóstico de diversas áreas e estudos, demonstrando um interesse crescente da utilização dessa tecnologia no campo da publicidade, monitoramento de agricultura e pecuária, controle de ocorrências emergenciais naturais, no ramo da engenharia e construção civil (Morgenthal; Hallermann, 2014; Kim; Irizarry, 2015).

Dentre as aeronaves que operam sem vínculo de piloto embarcado, os Drones têm sua representatividade como aeronaves que não possuem asas fixas e sim hélices rotativas, envolvendo sincronização com hardware e software, conforme Paranhos Filho et al (2016), denominados de multirrotores. A popularização dessa tecnologia atraiu atenção do meio científico e abriu um leque de oportunidades no campo da pesquisa e aplicabilidade técnica.

Deve-se destacar que como qualquer ferramenta, está só se torna eficiente quando utilizada adequadamente ao processo de trabalho metodológico. Por se tratar de uma tecnologia que recentemente mostrou-se mais acessível (Brum, 2019), o montante de informações ainda está em desenvolvimento, desse modo a literatura sobre o tema ainda não contempla diversos aspectos e situações advindas do uso dessa tecnologia.

O objetivo deste Guia é orientar no processo de trabalho com os aparelhos multirrotores, compreendendo as etapas e processos que envolvem a tecnologia. O guia também tem por finalidade evitar incidentes que podem ocorrer por alguma negligência com o equipamento, seja na etapa de planejamento, controle ou manutenção. Assim, este manual

de introdução ao mapeamento aéreo com uso de Drones permite o esclarecimento do manuseio prático da ferramenta e coleta de dados para um público geral. Organizado em 4 capítulos, a primeira sessão envolve expor os aspectos sobre Regulamentações e Legislação Vigente, com enfoque no Brasil. Os capítulos 2 e 3 mostram como configurar e operacionalizar o equipamento. Por fim, no capítulo 4, encontram-se orientações de como realizar o processamento dos dados coletados.

LISTA DE SIGLAS

AGL - Above Ground Level

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações

DEM - Digital Elevation Model

GNSS - Global Navigation Satellite System

GPS - Global Positioning System

GSD - Ground Sample Distance

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDS - Modelo Digital de Superfície

MDT - Modelo Digital de Terreno

PMD - Peso máximo de decolagem

PPP - Posicionamento por Ponto Preciso

RPA - Remotely Piloted Aircraft System

RPS - Remote Pilot Station

RTK - Real-Time Kinematic

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

SR - Sensoriamento remoto

SUMÁRIO

1. LEGISLAÇÃO VIGENTE 11
1.1 Classificações de RPAs e tipos de Operações 12
1.2 Regras Específicas 14
1.2.1 Requisitos para piloto remoto e observador: 14
1.2.2 Uso de substâncias psicoativas 15
1.2.3 Porte de documentos 15
1.3 Regras gerais para a operação de aeronaves não tripuladas 15
1.3.1 Decolagem 16

2. PREPARAÇÃO DO MULTIRROTOR 18
2.1 Configurações iniciais do aparelho 18
2.2 Configurações do Rádio Controle (Controle Remoto) 19

3. OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO 23
3.1 Planejamento de voo 23
3.2 Planejamento de Pontos de Controle 28
3.3 Configuração de Câmera 31
3.4 Execução de voo 34
3.5 Cronograma de voo em um teste de voo 35
3.6 Dicas de operações: experiências com mapeamento em área urbana 37

4. PROCESSAMENTO DE DADOS 41

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 53

6. REFERÊNCIAS 55

1 LEGISLAÇÃO VIGENTE

O setor de aviação civil é regido por Leis Nacionais, Tratados, Convenções e Atos Internacionais e Normas de agências responsáveis pelo tráfego aéreo dos respectivos países de atuação. No Brasil, o órgão de maior relevância é o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Este órgão legisla e regulamenta os procedimentos para o acesso ao Espaço Aéreo, entretanto, cabe aos demais Órgãos Reguladores a abordagem sobre o assunto das respectivas áreas de atuação. É o caso de órgãos como ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), que também participam das regulamentações que envolvem aeronaves e seus componentes.

Sabendo que existem regulamentações para aeronaves, pergunta-se sobre a classificação dos Drones. Afinal, Drone é uma aeronave? Segundo o ICA 100-40 (DECEA), qualquer aparelho que possa permanecer na atmosfera a partir de reações do ar que não sejam as reações do ar contra a superfície da terra é considerado como aeronave. Dessa forma, presume-se que os Drones também seguem recomendações, normas e regulamentações em vigor pelos DECEA, ANATEL E ANAC.

Especificamente o DECEA elaborou uma instrução, ICA 100-40, de observância obrigatória e aplicável a todos os envolvidos com a operação das aeronaves não tripuladas (exploradores, requerentes e equipes dos Drones) que utilizem o espaço aéreo sob jurisdição do Brasil. Já a ANAC, elaborou o regulamento brasileiro da aviação civil especial (RBAC-E nº 94). Para este capítulo, apenas o RBAC-E nº 94 será abordado, por conta das informações mais relevantes ao objetivo do livro. Uma lista de normas, leis e regras serão listadas a seguir:

- RBAC-E nº 94 - Regulamento brasileiro da aviação civil especial.

- RBAC nº 175 - Transporte de Artigos Perigosos em Aeronaves Civis.
- RBHA nº 91 - Regras Gerais para Operação de Aeronaves Civis.
- Lei nº 7.565 - Código Brasileiro de Aeronáutica.
- Lei nº 11.182 - Criação da Agencia Nacional de Aviação Civil.
- ICA 100-11 - Plano de Voo.
- MCA 100-11 - Preenchimento dos Formulários de Plano de Voo.
- ICA 100-12 - Regras do Ar.
- ICA 100-37 - Serviços de Tráfego Aéreo.
- NSCA 351-1 - Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro.
- Doc 7300 - Convention on International Civil Aviation.

Para compreender melhor como DECEA, ANAC e ANATEL atuam, é importante abordar as atividades comuns desses três órgãos. O DECEA planeja, gerencia e controla as atividades relacionadas ao controle do espaço aéreo, à proteção ao voo, ao serviço de busca e salvamento e às telecomunicações do Comando da Aeronáutica. A ANAC regula e fiscaliza as atividades de aviação civil e da infraestrutura aeronáutica e aeroportuária, uma das atividades é a certificação de licenças dos profissionais da aviação civil. Já a ANATEL, regula as comunicações, que são essenciais para as operações de rádio, controle e comunicação dos RPAs.

1.1 CLASSIFICAÇÕES DE RPAS E TIPOS DE OPERAÇÕES

Como não há piloto a bordo, as normas envolvem questões técnicas e operacionais, necessárias à plena integração do Sistema no espaço

aéreo, de forma que se mantenham os níveis de segurança compatíveis com a atividade aérea. A ausência de piloto a bordo demanda que a operação seja feita de modo que os voos se mantenham separados e, portanto, que impeça colisões. Além de manter informações de tráfego e evitar obstáculos e conflitos, é importante que a aeronave seja vista, percebida e evitada por outras aeronaves, ou seja, requer-se detectabilidade.

Devido ao impeditivo das aeronaves autônomas não poderem sofrer intervenção durante o voo, logo, quando não regulamentadas, seu voo também não será´ autorizado. Assim, entende-se como aeronave autônoma aquela que, uma vez iniciado o voo, intencionalmente, não é permitido intervenção do piloto. Dessa forma, somente as aeronaves pilotadas remotamente estarão sujeitas à autorização de utilização do espaço aéreo, com a devida atribuição de responsabilidades do piloto remoto em comando.

Existe uma classificação do RPA, que se refere quanto ao peso máximo de decolagem (PMD) do RPA da seguinte maneira:

Quadro 01: Classes de RPA conforme tipo de peso máximo de decolagem.

Classe	Peso de decolagem (kg)
Classe 1	>150
Classe 2	> 25 e <150
Classe 3	≤ 25

Fonte: ANAC 2010

Como este guia é focado em **RPA de classe 3,** todo o conteúdo de legislação será referente à classe enquadrada. Entretanto, existe uma outra classificação que envolve os tipos de operações, proposto da seguinte forma pela ANAC:

Quadro 02: Classificação RPA de classe 3 por tipo de operação e suas características

Operação	Característica
VLOS	Operador enxerga a aeronave
EVLOS	Operador não enxerga aeronave, porém utiliza auxílio de observadores
BVLOS	Operação além da linha de visada visual.

Fonte: ANAC 2010

1.2 REGRAS ESPECÍFICAS

1.2.1 REQUISITOS PARA PILOTO REMOTO E OBSERVADOR:

- Todos os pilotos remotos e observadores de RPA devem ser maiores de 18 anos.
- Todos os pilotos remotos que atuarem em operações acima de 120 metros ou 400 pés acima do nível do solo *(Above Ground Level – AGL),* devem possuir licença e habilitação emitida ou validada pela ANAC.

Nota: Diferente de RPA Classe 1 e 2, pilotos de RPA Classe 3 não precisam de Certificado Médico Aeronáutico (CMA

1.2.2 USO DE SUBSTÂNCIAS PSICOATIVAS

É terminantemente proibido o uso de substâncias psicoativas antes e durante a operação.

1.2.3 PORTE DE DOCUMENTOS

Somente é permitido operar uma RPA de peso máximo de decolagem acima de 250 gramas e abaixo de 25kg se, durante toda a operação, estiverem disponíveis na estação de pilotagem remota (RPS) os seguintes documentos:

- A Certidão de Cadastro, o Certificado de Matrícula ou o Certificado de Marca Experimental, conforme aplicável, todos válidos;
- O manual de voo;
- A apólice de seguro ou o certificado de seguro (ambos Seguro contra Terceiros) com comprovante de pagamento, dentro da validade.

1.3 REGRAS GERAIS PARA A OPERAÇÃO DE AERONAVES NÃO TRIPULADAS

É proibido o transporte de pessoas, animais, artigos perigosos ou carga proibida por autoridade competente, em aeronaves não tripuladas. Porém, essa proibição não se estende a artigos transportados por uma aeronave não tripulada, quando tais artigos forem relacionados a atividades de agricultura, horticultura, florestais, controle de avalanche, controle de obstrução por gelo e deslizamentos de terra ou controle de poluição; ou que sejam equipamentos eletrônicos que contenham baterias de lítio necessárias para seu funcionamento, desde que sejam

destinadas para uso durante o voo, tais como câmeras fotográficas, filmadoras, computadores etc.

Recomenda-se que ao operar uma aeronave não tripulada, o operador evite operar de maneira descuidada ou negligente, apresentando risco às vidas ou propriedades de terceiros. Outro ponto é a necessidade de um piloto remoto para a operação na RPS durante todas as fases do voo, sendo permitida a mudança do piloto remoto em comando durante a operação. Somente um piloto pode operar um único sistema de aeronave remotamente pilotada (RPAS) por vez. O operador também precisa levar em consideração as condições de aero navegabilidade, isto é, condições de clima/tempo, integridade mecânica, elétrica e estrutural que não comprometa a segurança da operação.

1.3.1 DECOLAGEM

- A operação de aeronaves não tripuladas em aeródromos deve ser autorizada pelo respectivo operador aeroportuário, podendo a ANAC estabelecer restrições ou condições específicas para tal operação.

- Pousos e decolagens de RPA podem ser realizados, sob total responsabilidade do piloto remoto em comando e/ou do operador, conforme aplicável, desde que: o pouso ou a decolagem seja feito em áreas distantes de terceiros e não haja proibição de operação no local escolhido.

Todas as RPA que sejam de um projeto autorizado ou de um tipo certificado devem ser registradas atendendo ao disposto na Resolução n° 293, de 9 de novembro de 2013, que dispõe sobre o Registro Aeronáutico Brasileiro. Essas aeronaves fazem jus a um Certificado de Marca Experimental ou a um Certificado de Matrícula, conforme aplicável.

Todo aeromodelo, ou RPA Classe 3 que opere somente em VLOS até 400 pés AGL (120 metros de altura), e que não seja de um projeto autorizado ou de um tipo certificado, deve ser cadastrado junto à ANAC e vinculado a uma pessoa (física ou jurídica, com CPF ou CNPJ no Brasil), que será a responsável legal pela aeronave. A identificação deve ser mantida em uma condição legível para uma inspeção visual próxima e estar localizada, podendo ser no lado exterior da fuselagem da aeronave, ou dentro da fuselagem onde possa ser facilmente acessado sem uso de ferramenta. Quando se trata de aeronaves não tripuladas de peso máximo de decolagem de até 250 gramas, não precisam ser cadastradas junto à ANAC ou identificadas. O cadastro efetuado será válido por 24 meses, e caso não seja revalidado após o período de 24 meses, o cadastro será inativado e não poderá mais ser revalidado.

2 PREPARAÇÃO DO MULTIRROTOR

2.1 CONFIGURAÇÕES INICIAIS DO APARELHO

Em posse de dois multirrotores, em especial o Phantom 4 Pro - P4P e o Phantom 3 advance - P3A, foram realizados diversos testes e experiências de controle e planejamento de voo, que serão demonstrados neste guia.

A popularização dos equipamentos da DJI, que é a empresa por trás das séries de Drones como o Phantom, Mavic, Spark, Inspire, Matrice, possibilitou o acesso à tecnologia da fabricante, que cria e desenvolve os aplicativos para os seus multirrotores que é compatível com a maioria dos smartphones do mercado.

Quando adquirido um equipamento novo, atualizações de softwares são necessárias ou especificamente atualizações de firmware, dessa forma para efetuá-las são fundamentais os aplicativos DJI GO e DJI 4 GO, para o P3A e P4P respectivamente. Esses aplicativos desempenham funções de configuração e acompanhamento de voo, ambos muito similares entre si com a diferença básica de especificidade de série, sendo uma para Phantom 4 e suas derivações e o outro para as sequências anteriores.

Dentro dos aplicativos através da aba Overall Status é possível acompanhar as necessidades de atualizações do equipamento, sendo elas do Drone em si ou do Rádio Controle. Existe uma diferença da maneira de atualização para a série Phantom 3, pois a sua atualização é fora do aplicativo, com a necessidade de download no site da fabricante, porém a Skydrones oferece vídeos tutoriais dentro do aplicativo da DJI para essa atualização.

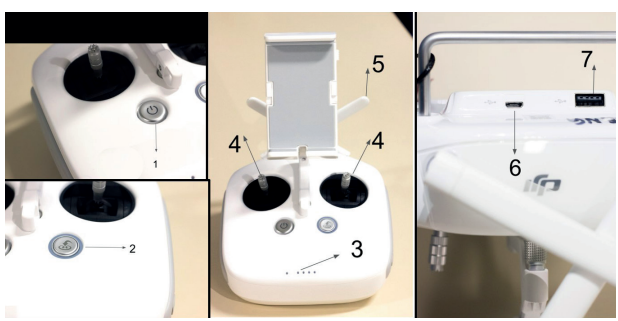
O Overall Status também notificará disfunções caso elas ocorram, pois quando se adquiri um equipamento novo, existe a necessidade de calibração de Gimbal, Compass, IMU e do Rádio – Controle,

sendo que o próprio aplicativo informa como executá-las. Existe a situação em que o Rádio Controle dispara sinal sonoro sem interrupção quando recém ligado, isso ocorre devido à falta de calibração. Outra circunstância de notificação é a do cartão SD - de baixa velocidade, o equipamento exige para pleno funcionamento e armazenamento de fotos um cartão SD de alta performance e agilidade de salvamento.

2.2 CONFIGURAÇÕES DO RÁDIO CONTROLE (CONTROLE REMOTO)

O Rádio Controle - RC do Phantom 4 Pro e do Phantom 3 Advanced são iguais em formato (Figura 1,2 e 3) e podem ser configurados de mesma maneira, logo, caso haja o interesse de fazer uma aquisição de um novo aparelho, existe uma certa familiaridade.

Figura 1: Rádio Controle - Botões de controle.



Fonte: Autores.

1. Botão de ligar e desligar equipamento: para executar função de ligar o rádio controle existe a necessidade de pressionar duas vezes o botão e segurando-o até que as 5 luzes estejam acesas.

2. Botão return to home (homepoint): ao pressionar o botão o equipamento volta ao ponto de retorno que no aplicativo pode ser configurado de três maneiras:

- Retorno onde o Drone decola;
- Retorno onde o operador está com o Rádio Controle;
- Retorno pré-determinado pelo operador em qualquer lugar da missão de voo.

3. Luzes de controle de sinal e bateria: as 4 luzes brancas indicam a quantidade de bateria do rádio controle; e a outra pode estar acesa com 3 cores diferentes:

- Azul: quando o rádio controle está atualizando seu firmware;
- Verde: quando o controle está conectado com o multirrotor;
- Vermelho: quando o controle não está conectado com o Drone, também indicador de perda de sinal.

4. Sticks: são as alavancas que controlam o equipamento manualmente, existem 2 modos de controle o B1 e B2.

5. Antenas de envio e captação de sinal: São duas antenas uma para sinal de vídeo e a outra com o sinal do Drone. O sinal funciona em fluxo, indo da ponta a base da antena, portanto, formam cones nas extremidades onde a passagem de sinal é mais baixa. Dessa forma, na operação do equipamento, recomenda-se apontar a parte medial das antenas para o Drone e não as pontas.

6. Porta microUSB - Utilizada caso exista a necessidade de instalação de firmware via desktop.

7. Porta USB - Nas versões Plus dos Drones da DJI acompanha uma tela de controle de voo, as outras versões funcionam através de

aplicativos para smartphones Android e IOS, portanto, essa entrada funciona como conector aos dispositivos móveis.

Figura 2: Rádio Controle

Fonte: Autores.

8. Botão para captação de foto.

9. Controle de ISO: Pode configurar a quantidade de luz captada pela câmera, desse modo, controlar a qualidade e equilíbrio de branco das fotos.

10. Botão de parar e iniciar a missão: em alguns voos planejados via software existe a função de parar a missão em caso de algum imprevisto e pressionado novamente o botão a missão é retomada.

11. Botão de para captação de vídeo.

12. Controle do gimbal/câmera: controla o sentido vertical da câmera.

13. Controle de modo de funcionamento: o equipamento apresenta 3 modalidades de operacionalização, sendo eles:

- Modo P / Positioning: o multirrotor funcionará com o GPS e os sensores ligados, a modalidade mais segura de operação,

contudo com limitações de velocidade de 50km/h.

- Modo A / Attitude: os sensores são desligados, permitindo que o equipamento alcance a sua velocidade máxima de 72km/h.
- Modo F / Function: Os modos de inteligência de voo são desligados, portanto o Drone é influenciado pela inércia, a estabilização estática está desativada, por conseguintes ventos influenciam diretamente na movimentação.

14. Botões autoconfiguráveis no aplicativo.

Figura 3: Rádio Controle - Botões de controle.

Fonte: Autores.

3 OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Em posse de dois multirrotores, em especial o Phantom 4 Pro e o Phantom 3 Advance, foram realizados diversos testes e experiências de controle de voos automatizados, que serão demonstrados neste guia. Para exemplificação, as tarefas foram organizadas em 3 etapas operacionais: planejamento, execução e processamento, subdivididas em processo menores dentre eles:

3.1 PLANEJAMENTO DE VOO

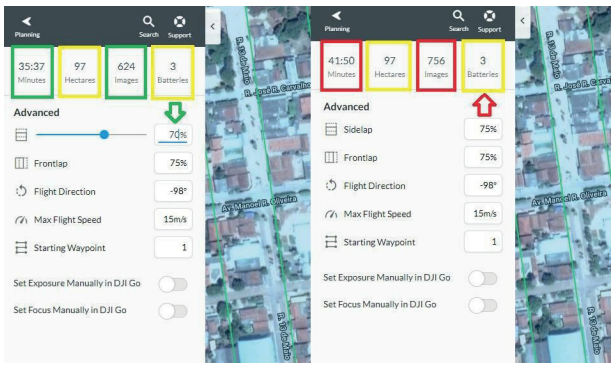
Dentre a variedade de softwares para o planejamento de voos autônomos e mapeamento aéreo com multirrotores existem diversas escolhas disponíveis como o Pix4d, Skydrones e o DroneDeploy. Para os testes de planejamento de voo foi utilizado o DroneDeploy, pela facilidade de interface, popularidade, possibilidade de utilização de forma gratuita e a compatibilidade com os Drones utilizados.

O programa apresenta duas plataformas, uma web para a preparação de voos em laboratório, que disponibiliza a configuração de parâmetros prévios até a operacionalização, como: definições de angulação, altura aérea e a amplitude das grades do percurso de rota de voo (sobreposição de imagens) (Figura 4). Já a plataforma mobile, tem como função o descarregamento do planejamento prévio e acompanhamento durante o procedimento de voo.

O aplicativo propõe múltiplos planejamentos de voos, sendo o sugerido pelo DroneDeploy o sobrevoo em grade para o desenvolvimento e análise de mapeamentos planimétricos (2D). O voo em grade consiste em percursos em “zig e zag” de forma horizontal que permita a obtenção de fotos subsequentes e sobrepostas preenchendo toda área de estudo. A sobreposição de imagem faz-se necessária para que os concei-

tos da fotogrametria sejam respeitados na geração dos ortomosaicos e dos modelos digitais de superfície.

Figura 4: Configuração dos parâmetros de voo.



Fonte: Autores.

Para a programação do roteiro aéreo, a angulação do percurso deve ser escolhida a fim de amenizar deformidades decorrentes do processamento para geração dos produtos requisitados. As linhas de voo determinam a posição de captação das imagens, logo o reconhecimento da posição do limite de borda. A necessidade de se compreender a localização das bordas das fotos tem como função assimilar onde as imagens serão unidas umas nas outras, e também identificar a região onde ocorrerão distorções de ligação.

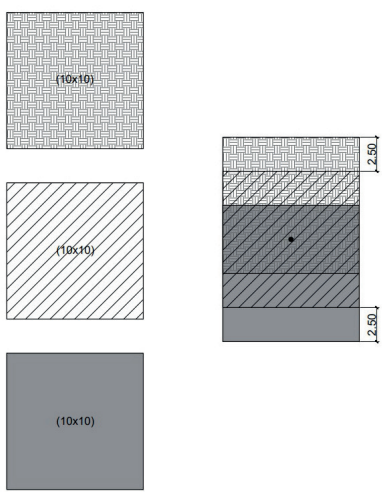
Portanto, recomenda-se lançar as linhas de sobrevoo em locais que apresentam uma densidade de pixel mais homogênea, como vias públicas, ruas e avenidas, que no contexto urbano apresentam cores similares (Figura 5), logo, evitando aplicar deformação dentro das estruturas expressivas de estudo e assim deixando as distorções mais sutis, menos perceptíveis e consequentemente diminuir o volume de correções futuras.

Figura 5: Linhas de percurso do Voo em grade.

Fonte: Autores.

A sobreposição de imagens (Figura 6) é o parâmetro que possibilita a união e a formação do ortomosaico e dos modelos digitais de superfície. Os softwares de processamento de imagens utilizam pixels em comum dentre as imagens, os pontos homólogos, funcionando como fator de referência de unificação, fundamentados na fotogrametria. Portanto, quanto maior o nível de sobreposição, maior é a quantidade

Figura 6: Ilustração de sobreposição de imagem.



Fonte: Autores.

de pontos homólogos, o qual é uma condição determinante na exatidão e qualidade dos Modelos Digitais de Superfícies - MDS. Contudo, valores muito altos podem não ser vantajosos ao tempo de processamento ou de operacionalização.

Para a definição de sobreposição de imagens, o valor de 75% de sobreposição lateral e vertical, utilizados nos testes assegurou uma quantidade significativa de fotos de um mesmo ponto ou estrutura. Apesar disso, com a utilização de sobreposição lateral de 70%, partindo assim do aconselhado pelo DroneDeploy, foi possível observar um maior custo benefício, pois as intervenções na qualidade dos produtos finais são baixas e traz um favorecimento significativo na economia de quantidade de bateria utilizada na operacionalização e também o volume de imagens, na qual tem correspondência direta no fator tempo de processamento. A figura 4 expõe o comparativo citado, tratando-se de um menor tempo de voo, consequentemente menor consumo de bateria e menor quantidade de fotos. A utilização de valores percentuais menores de sobreposição, nos testes, comprometeram a formação e a qualidade dos modelos digitais e quantidade de fotos para reparos no ortomosaico.

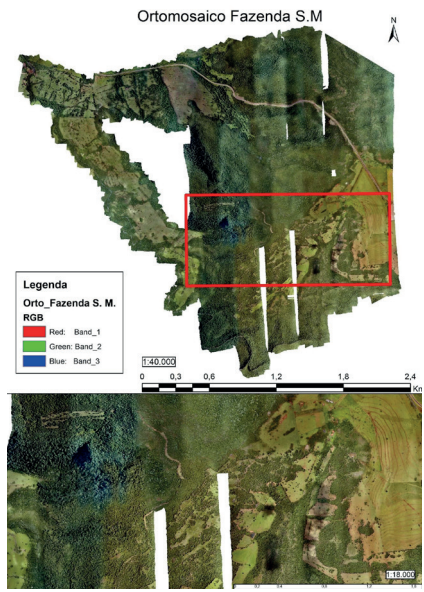
Seguindo a limitação da regulamentação em relação a altura de voo, para os Drones exemplificados neste guia, fez com que alguns critérios ficassem praticamente pré-determinados pela legislação, como o tamanho máximo do pixel na geração do ortomosaico, que foi demonstrado antecipadamente pelo DroneDeploy, como 3,6 cm. A altura de sobrevoo é a variante que implica no tamanho do pixel, o GSD - Ground Sample Distance, sendo esse valor dependente também dos parâmetros de processamento, perfil do terreno e a distância focal da câmera (Almeida, 2016).

Portanto, a normativa de operacionalização de voos com Drones, o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94, vigente no período de testes, pressupõe para a classe que os aparelhos P4P e P3A se enquadram, a classe 3, o seguinte:

> Drones dessa classe que operarem em até 400 pés (120m) acima da linha do solo e em linha de visada visual (operação VLOS) não precisarão ser de projeto autorizado, mas deverão ser cadastradas na ANAC por meio do sistema SISANT, apresentando informações sobre o operador e sobre o equipamento (RBAC, 2017).

A velocidade de voo fora definida a máxima permitida no planejamento do DroneDeploy, sendo essa a de 15m/s e durante os testes não foram detectados problemas expressivos com arrastamento. Ao diminuir a velocidade do planejamento aéreo um aviso é emitido no sistema, notificando a fundamentação da mudança somente se a taxa de iluminação for baixa, logo, outro critério de planejamento é destacado nesse momento, as condições climáticas consequentemente definição de luminosidade e vento durante a operacionalização.

Figura 7: Disparidade de iluminação no ortomosaico, como voo fora do período citado.



Fonte: Autores.

Os voos teste foram executados do dia 12-12-2017 até o dia 10-06-2018, portanto, nesse período houve dias com horário de verão dentro do fuso da região, sendo ele o UTC -4:00 (América/Campo Grande) (Hora de Verão UTC -4:00 e Hora de Inverno UTC -3:00). Para evitar disparidade na iluminação na captação das imagens comprometendo a qualidade do ortomosaico (Figura 7), foi determinado um período de voo de 3h a menos e 4h a mais, com referência apontada ao meio dia.

3.2 PLANEJAMENTO DE PONTOS DE CONTROLE

Para a elaboração dos elementos que modelam a precisão e a acurácia do trabalho, foram obtidos pontos de controles e verificação com GPS (Global Positioning System) de precisão. Equipamentos receptores como Hiper ou a tecnologias Real-time Kinematic - RTK, que apresentam acurácia milimétrica, são as ferramentas que podem ser utilizadas para a captação dos pontos. Esses equipamentos são encontrados em empresas especializadas para o aluguel, pois o custo de aquisição é relativamente alto.

Os pontos obtidos com GPS de precisão são os parâmetros que moldam e avaliam a qualidade cartográfica dos produtos gerados, na qual os pontos de controle ortorretificam a modelagem estereoscópica e os pontos de verificação que avaliam a qualidade posicional do mesmo (IBGE, 2014).

Esses pontos são planejados e demarcados previamente a execução de voo, sendo os mesmos de origem natural ou artificiais. Pontos naturais são objetos e corpos que não tenham a possibilidade de terem sido modificados espacialmente dentro do período entre o voo e a captação dos pontos com GPS. A verificação desses objetos deve prever a identificação visual no momento do apontamento durante a etapa de inserção no processamento (Figura 8).

Figura 8: Captação de pontos de controles naturais.

Fonte: Autores.

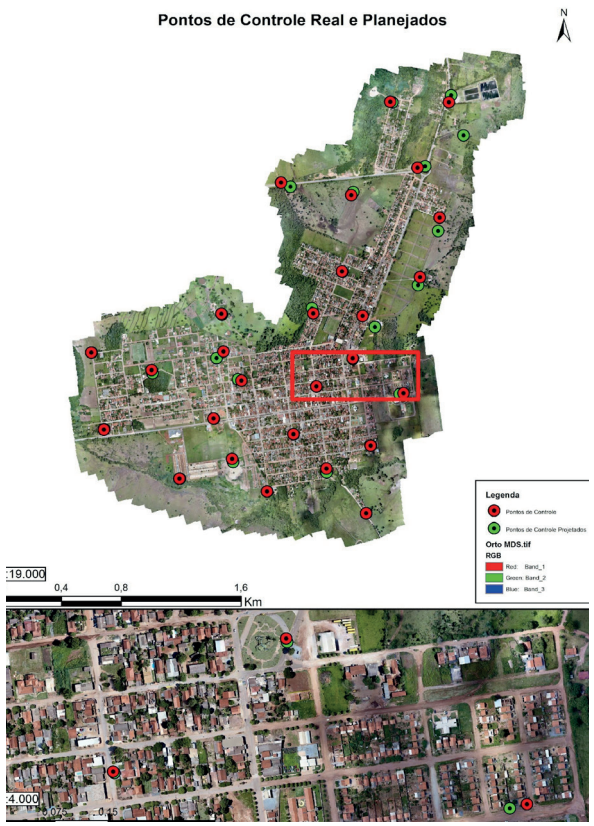
Os pontos de controle artificiais, são pontos gerados com uma marcação prévia a execução de voo. Para a obtenção de dados geodésicos (pontos de controle), os pontos artificiais são mais fáceis de planejar, captar e apontar no processamento em comparação com os naturais, devido a mobilidade de aplicação. Detalhe importante é o destaque da cor da marcação, como o branco no asfalto, pois facilita o apontamento no processamento. (Figura 9).

Figura 9: Captação de pontos de controles artificiais.

Fonte: Autores.

A distribuição dos pontos deve ser homogênea pelo local de estudo, pois auxilia na qualidade dos produtos gerados (Zanetti, 2016), portanto, uma boa escolha é levar em consideração a disposição uniforme de maneira planimétrica e altimétrica referente aos valores da área. Outra condição é a inserção de pontos de controle nas bordas dos planos de voo vizinhos, visto que durante o processamento esses pontos prestam assistência na ligação entre eles. A figura 10 exemplifica um planejamento de pontos de controle e verificação, e onde foram coletados.

Figura 10: Pontos de controle planejados e implantados.

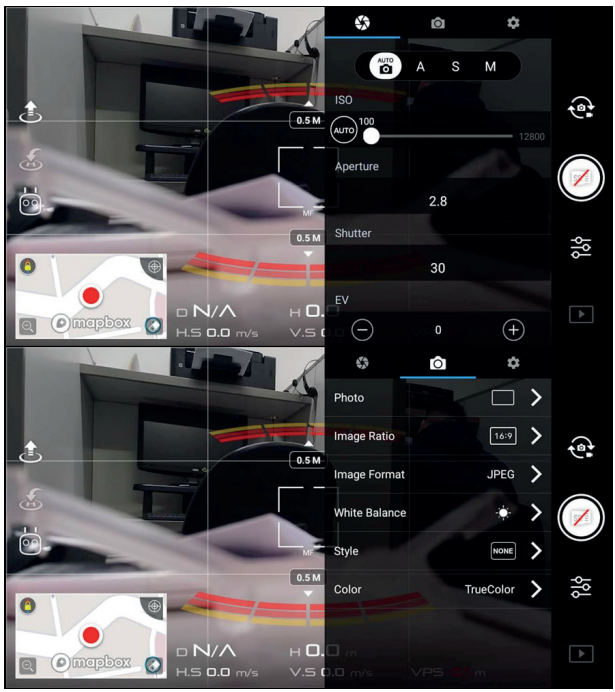


Fonte: Autores.

3.3 CONFIGURAÇÃO DE CÂMERA

Inicialmente são configurados os referenciais da câmera antes da decolagem, no aplicativo da DJI, o DJI 4 GO ou DJI GO, como representado na figura 11.

Figura: 11: Configurações de câmera no DJI GO 4.



Fonte: Autores.

Foram utilizados os seguintes parâmetros como melhor escolha dentre os testes:

- ISO no automático
- Photo: disparo único
- Dimensões 16:4
- Formato em JPEG
- White Balance: sunny
- Color: cor verdadeira

As configurações iniciais foram mantidas, sem muitas modificações para manter a imagem com tom mais neutro e natural possível, apenas o filtro sunny foi utilizado por motivos de saturação das imagens pelo forte reflexo da luz do Sol, o resultado ameniza os balanços de branco e melhora o balanceamento da coloração (Figura 12).

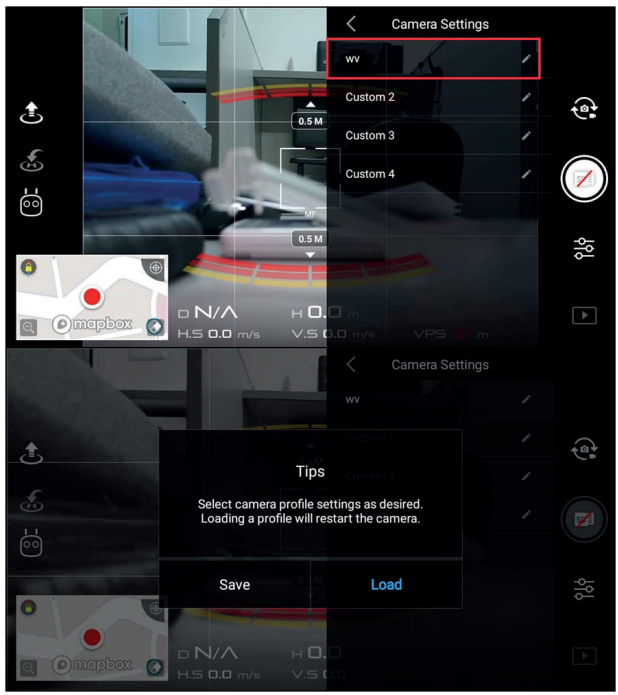
Figura 12: Comparativo de Imagem com e sem o filtro sunny.

Fonte: Autores.

Para otimizar o processo de trabalho em campo, existe a possibilidade de salvar previamente a configuração de câmera no próprio aplicativo, visto que a cada decolagem ou missão de voo os ajustes de câmera podem ser desconfigurados (apresenta maior ocorrência em sistemas android), pelo fato do equipamento operar em paridade com

outro aplicativo, o DroneDeploy. Sendo um bom atalho utilitário para a obtenção de acesso rápido (figura 13) já que em momentos situacionais pode haver o não reconhecimento do Drone com os aplicativos e consequente a perda das configurações.

Figura 13: Salvamento de configuração de câmeras.



Fonte: Autores.

3.4 EXECUÇÃO DE VOO

Definido o homepoint no aplicativo, que é a posição de decolagem e retorno do multirrotor o aplicativo da DJI notificará um sinal de Ready to fly caso não tenha nenhum problema de sinal, satélite, calibração ou espaço de armazenamento. Com o sinal positivo de voo deverá ser realizado um alt tab para o aplicativo do DroneDeploy, no qual está armazenado o plano de voo em grades configurado previamente.

À medida que o equipamento completa as viagens, mais longe do ponto inicial da missão ele fica, por conseguinte, dada a questão de segurança e contra risco de depreciação do equipamento, conforme a operação prosseguia, preferencialmente era definido de forma pragmática um novo ponto de decolagem. A escolha do local deve ser determinada de acordo com uma região média que atenda entre o início e fim da bateria, e encontrar vazios urbanos para que não infrinja as normas da ANAC de distância de 30 metros em sentido vertical de operacionalização de uma pessoa, caso seja em área urbana, fazendo jus a experiência empírica e a média de fotos tiradas por decolagem.

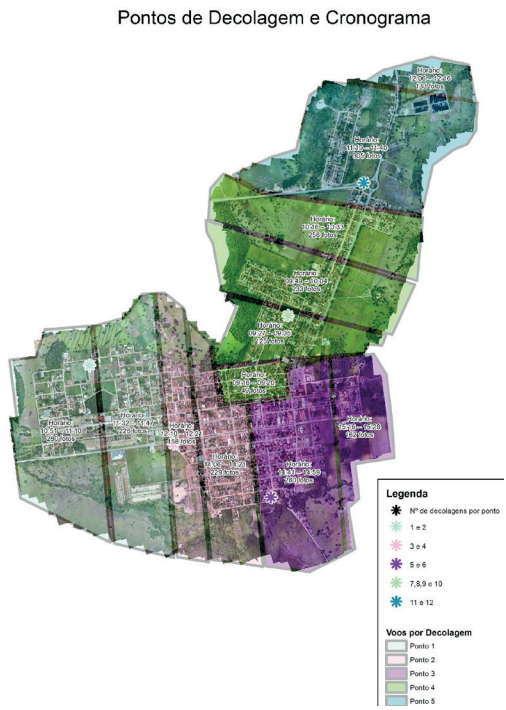
3.5 CRONOGRAMA DE VOO EM UM TESTE DE VOO

As 09h51min da manhã do dia 12/12/2017 foram iniciados os testes de voos e finalizados às 12h26min do dia 13/12/2017: conforme a figura 14 e tabela 1 do cronograma. Os testes configuram-se em missões, com diversas baterias cada e um procedimento de acompanhamento em solo conforme o decorrer de cada decolagem.

Tabela 1: Cronograma de voo

Decolagem	Pontos de decolagem	Dia	Horário	Duração de voo + tempo de decolagem e pouso	Quantidade de fotos
1	1	12/12/2017	Das 10h51 às 11h10	23 minutos	280
2		12/12/2017	Das 11h32 às 11h47	19 minutos	226
3	2	12/12/2017	Das 12h10 às 12h21	15 minutos	158
4		12/12/2017	Das 14h06 às 14h21	19 minutos	229
5	3	12/12/2017	Das 14h41 às 14h59	22 minutos	280
6		12/12/2017	Das 15h16 às 15h28	16 minutos	162
7	4	13/12/2017	Das 09h16 às 09h20	8 minutos	49
8		13/12/2017	Das 09h2 às 09h35	12 minutos	125
9		13/12/2017	Das 09h49 às 10h04	19 minutos	233
10		13/12/2017	Das 10h14 às 10h16	21 minutos	256
11	5	13/12/2017	Das 11h19 às 11h40	25 minutos	305
12		13/12/2017	Das 12:06 às 12:16	14 minutos	133
Total	-	-	-	-	-
12	5			3 horas e 33 minutos	2436

Figura 14: Pontos de decolagem e cronograma.



Fonte: Autores.

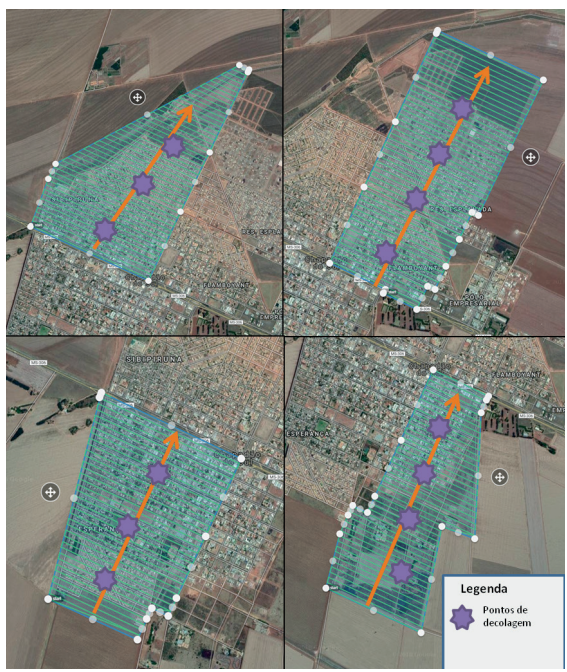
A tabela 1 informa também o tempo médio de voo por bateria do P4P, quanto a do P3A tem autonomia de bateria um pouco menor segundo a fabricante DJI. Logo, é demonstrado de forma prática a autonomia de bateria, sendo a finalização das missões de voo com 5%, 10% e 15 % de cargas remanescente.

Para o carregamento das baterias é necessário aguardar entre meia e uma hora após o uso, dependendo da condição ambiente do local, pois as mesmas não carregam caso estejam aquecidas. Existem no mercado ventoinhas para o resfriamento, são periféricos que auxiliam na agilidade de operação.

3.6 DICAS DE OPERAÇÕES: EXPERIÊNCIAS COM MAPEAMENTO EM ÁREA URBANA

Os pontos de decolagem devem ser bem programados, com maior atenção dependendo do local de operação. Visto que existem regiões na qual a densidade de barreiras físicas pode acarretar em suscetíveis a perda de sinal com o Drone. A distância do Rádio Controle e os obstáculos influenciam no sinal do rádio, assim, por questões de segurança tanto do equipamento quanto para evitar danos a terceiros em áreas urbanas, toma-se a decisão de gerar linhas de percurso que não ultrapassassem a largura de 1 km, com pontos de decolagem para seguir perpendicularmente ao centróide dessas linhas. Essa foi a melhor opção de manuseio e mitigação do problema destacado (Figura 15).

Figura 15: Modelos de rota adotados no Município de Chapadão do Sul.



Fonte: Autores.

Referentes ao ambiente de operação utilizado, os softwares e aplicativos, o primeiro fator pertinente é sobre a intercalação entre os dois aplicativos, o DJI GO e o DroneDeploy, no Android 6.0.0 e 7.1.2 se mostrou relutante diversas vezes nessa alternância, não permitindo os check-ins necessários para inicialização da missão de voo. No DJI 4 GO, houve a ocasião de não reconhecimento do sinal do multirrotor (Drone), sendo necessário o fechamento de um aplicativo para a inicialização do outro. Por outro lado, em posse de um aparelho com o sistema operacional diferente, o IOS 11, não foi vivenciado nenhum desses problemas, apenas bugs no check-in de decolagem, em que uma simples reinicialização do DroneDeploy solucionou essa sistemática, não se fazendo imprescindível o fechamento de nenhum dos dois aplicativos para o regular funcionamento. O apontamento desse recurso de fechamento do aplicativo se faz conveniente justamente pelo fato da permanência das configurações durante a operação de um único voo com várias baterias, pois caso seja necessária a reinicialização do plano de voo, as configurações do sistema do aparelho se mantém salvas.

Como é possível observar, tanto no cronograma, quanto nos pontos de decolagem, tabela 1 e figura 14 respectivamente, uma das partidas foi realizada fora do padrão de decolagem (decolagem 7 com apenas 49 fotos). O fato ocorreu devido a utilização de um smarthphone, pois o mesmo eventualmente notificou por causa de outros aplicativos adversos a operação de voo, sendo assim, necessário ser substituído durante a missão, como uma medida emergencial. De forma preventiva, outro smartphone com o aplicativo estava pronto para receber o controle do Drone, desse modo o sinal foi restabelecido e o equipamento foi enviado de volta para o local de partida.

Outra questão em pauta é o uso da internet para a operação dos aplicativos. Como demonstrado na figura 7, que demonstra a disparidade de iluminação no ortomosaico, podem ser observadas também

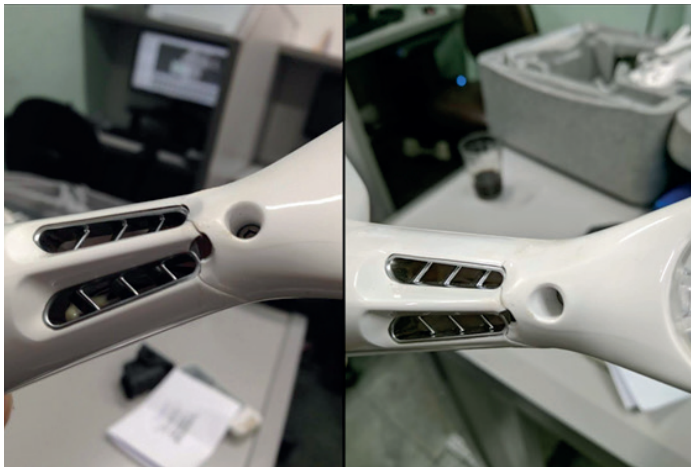
falhas e lacunas em branco na imagem, isto ocorre devido à conexão do smartphone com a internet. O bug (falha ou erro no código de um programa que provoca seu mau funcionamento) apresentado ocorreu quando uma bateria descarregou, mesmo com os planos de voos baixados no smartphone e validados para execução off-line ao dar início a outra decolagem as linhas de voos eram "puladas" e não acompanhavam o final do voo anterior. O fato ocorria sempre que o aparelho móvel estava conectado à internet. Como medida mitigadora, decidiu-se operar as missões de voos inteiramente desconectado da rede, dessa forma o bug descrito não acontecia.

Existe uma ressalva à operacionalização dos equipamentos Phantons ao utilizá-los com certa quantidade de estresses, a utilização de várias baterias por dia pode resultar em rachaduras nos suportes de hélices dos aparelhos (Figura 16 e 17). Isso demonstra uma fragilidade do aparelho ao uso demasiado, comprometendo assim a usabilidade do equipamento em trabalhos que exigem e abrange grandes áreas de operação.

Figura 16: Rachadura no drone Phatom 3 Advanced.

Fonte: Imagem cedida por Marcelo Haupenthal

Figura 17: Rachadura no drone Phatom 4 Pro.



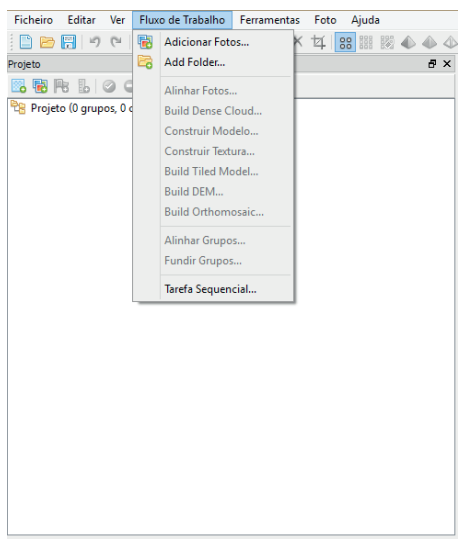
Fonte: Autores.

4 PROCESSAMENTO DE DADOS

Para o processamento e obtenção dos produtos fotogramétricos, a utilização do *Agisoft Photoscan* (2018), foi julgada a mais adequada para a situação, por questões de aplicação do serviço e o produto final apresentarem uma qualidade topográfica elevada, além de ser possível utilizar uma versão trial para testes.

O software possui uma interface intuitiva, sobretudo na importância de suas ferramentas. Nele existe uma aba chamada "fluxo de trabalho" (Figura 18), que ajuda a entender cada ponto do processo. A compreensão dos critérios de processamento dentro de cada etapa auxilia na determinação da qualidade do trabalho, influenciando também na precisão do projeto.

Figura 18: Ilustração do fluxo de trabalho do software.



Fonte: Autores.

Existe uma série de processos, fluxos de trabalho, que são seguidos até que o produto final desejado seja obtido:

a. Adição das fotos e Pontos de Controle: ambos devem ser convertidos para um sistema de coordenadas projetadas em comum, podendo ser feita no próprio Agisoft Photoscan. A utilização da projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) atribui valores métricos às medidas.

b. Processamento único ou em grupo: nesse momento é recomendado processar todas as imagens como um conjunto único e não em grupos separados, escolha essa que interfere no resultado do ortomosaico. Em contrapartida o processamento de várias imagens exige muito da força computacional, logo, o investimento em uma máquina (computador) de grande capacidade de processamento pode se tornar muito alto. A figura 19 demonstra as distorções de ligação, resultado do processamento em grupos em comparação com o processamento único. Uma maneira de amenizar o problema de distorção é a utilização de pontos de controle no ligamento desses grupos, pois fragmentar o processamento e depois uni-los exige menos da capacidade operacional da máquina de processamento, porém essa medida não é 100% efetiva;

Figura 19: Comparativo do processamento único com o em grupo - setas indicam áreas de união entre os grupos e distorções de ligação

Fonte: Autores.

c. Configuração dos parâmetros referenciais de câmeras: indicar para o programa as especificações da câmera, de imagens captadas pelo Phantom, não é necessário em razão de que geralmente o software identifica automaticamente através do log das fotos, mas é importante que seja feita a conferência em "Ferramentas > Calibração de Câmeras". Em processamentos em que essas informações não estão contidas nas propriedades da imagem devem ser preenchidas manualmente, de acordo com as informações do sensor (Câmera) utilizado;

d. Medição da qualidade das fotos: o Agisoft Photoscan adota um padrão crescente de 0 a 1 para os valores de qualidades, levando em consideração problemas de arrastamento e desfoque, indicado por valores menores. Destaca-se a importância da aferição das fotos com valores menores e a exclusão de imagem que possam inserir erros ao processamento;

e. Configuração das referências das câmeras e Pontos de Controle: item necessário para indicar ao programa uma orientação de precisão e acurácia, informando quantas casa decimais serão consideradas de acordo com o equipamento utilizado na operacionalização. Realizar esta etapa após a definição do sistema de coordenadas das fotos e dos pontos de controle;

f. Importação das máscaras: auxilia na identificação dos pontos homólogos. Em áreas muito homogêneas tal procedimento faz com que aumente a importância dessas áreas e assim prestar assistência de agrupamento e junção de imagens;

g. Alinhamento das fotos: com referência do GPS do multirrotor e em qualidade baixa, apenas para facilitar o apontamento dos Pontos de Controle.

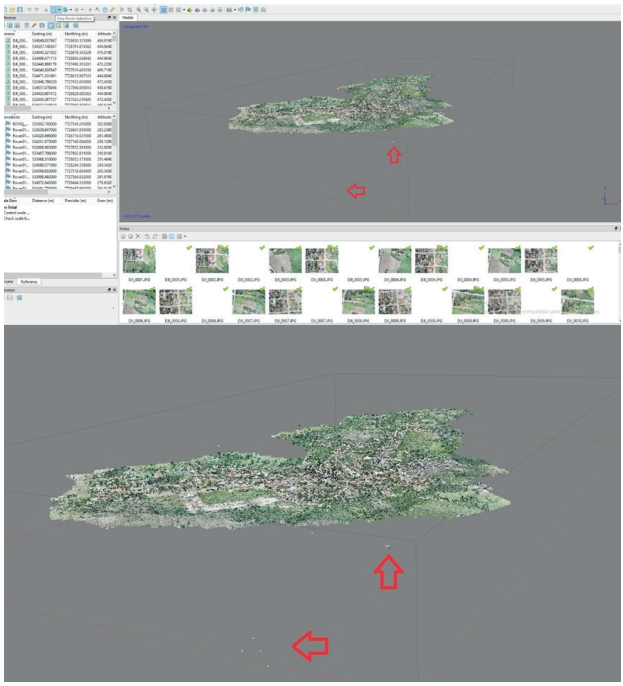
h. Apontamento preliminar dos Pontos de Controle e Verificação: com o alinhamento das fotos, o software reconhece a proximidade dos pontos de controle com as marcações nas imagens (Pontos Naturais e/ou Artificiais), permitindo assim o apontamento e ajuste dos mesmos de acordo com a informação geodésica do GPS de alta precisão utilizado na captação. Após a seleção de 3 a 4 pontos por imagem depois do alinhamento, deve-se utilizar a "Ferramenta > Optimize câmeras" como padrão imposto pelo próprio software, esse passo tem o intuito de melhorar o alinhamento dos pontos e imagens para facilitar o apontamento dos pontos remanescentes;

i. Apontamento dos demais Pontos de Controle e Verificação: neste momento aplica-se o apontamento dos pontos restantes e a discriminação entre controle e verificação. A designação da diferenciação entre os pontos cabe ao avaliador do projeto escolher. Os que forem apontados na imagem, porém desmarcados na listagem, para a próxima fase do processamento, serão reconhecidos e categorizados pelo software como os de verificação;

j. Geração de uma nova nuvem de pontos: através da realização do segundo alinhamento é gerada uma nova nuvem de pontos utilizando as configurações ordenadas anteriormente, entretanto utilizando o indicativo para uma qualidade elevada;

k. Remoção dos pontos dispersos: com a nuvem de pontos constituída, produto que abrange os pontos homólogos das imagens processadas, ocorre um efeito parecido com a de um spray, exposto pela figura 20, fazendo com que alguns pontos fiquem dispersos da massa da nuvem. Para que esses pontos não gerem erros nos passos seguintes, torna-se imprescindível sua remoção;

Figura 20: Nuvem de pontos. As setas representam pontos dispersos da massa da nuvem.



Fonte: Autores.

l. "Limpeza" da nuvem de pontos por seleção gradual: a seleção gradual é a ferramenta responsável para despoluir ainda mais a nuvem de pontos, usando fatores como: erro de projeção, incerteza de reconstrução e acurácia de projeção;

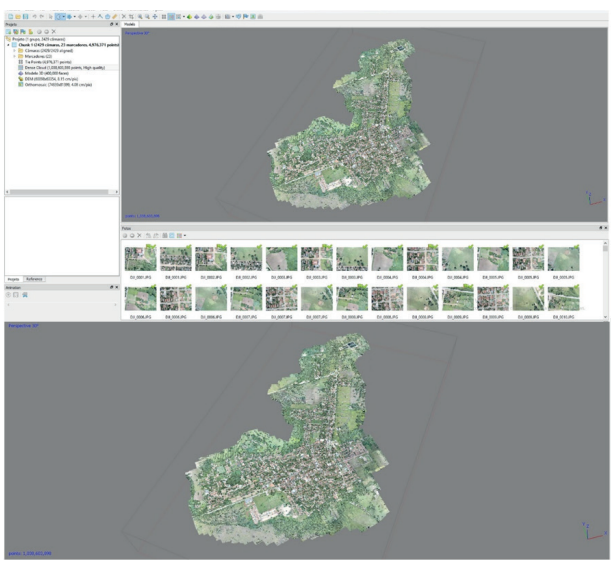
m. (re) otimização das câmeras: antes do passo subsequente é preciso otimizar as câmeras novamente, com os parâmetros selecionados pelo software, identificados pelo log vinculado às fotos;

n. Diagnóstico de acurácia e precisão do projeto: nesse momento já é possível gerar o relatório de acurácia e precisão do projeto, baseados nos pontos de controle, utilizando os pontos de verificação como

base de qualidade. Uma etapa importante para avaliação e intervenção (se necessário), nesse momento podem ser verificados erros de apontamentos e pontos que talvez estejam atrapalhando a qualidade do projeto com a inserção de erro. Como exemplo prático, nos testes foram escolhidos 22 Pontos de Controle e 4 de verificação, contudo foi necessária à remoção de 5 pontos, por estarem injetando erros no projeto;

o. Densificação da nuvem de pontos: depois da avaliação, a densificação da nuvem é a etapa subsequente. A diferenciação entre os produtos de MDE e MDS começa na determinação de variáveis a partir dessa etapa. Para ambos a determinação da qualidade, deve ser preferencialmente a mais alta de acordo com o suportado pelo hardware. No filtro de profundidade deve-se escolher a forma mais agressiva para o MDE, pois precisa de mais informações altimétricas sem os objetos que estão contidos na superfície e para o MDS aplicações mais suaves e moderadas. Segue a figura 21 com exemplo de geração de nuvem densa;

Figura 21: Densificação da nuvem de pontos.



Fonte: Autores.

A maior diferença entre os dois produtos MDE e MDS ocorre na etapa de classificação da nuvem densa de pontos, pois nesse momento é determinado o que é estrutura e o que é terreno (chão). Para o MDE considerada apenas dados plani-altimétricos do terreno, portanto faz-se necessário a classificação ou filtragem da superfície, já o MDS leva em conta todos os objetos e estruturas que estão acima do terreno.

p. Parâmetros para a definição dos filtros de superfície: estão disponíveis três condições para a categorização: o ângulo máximo, a distância máxima e o tamanho da célula. Tais parâmetros são avaliados de acordo com as características do terreno, sendo ele plano ou acidentado;

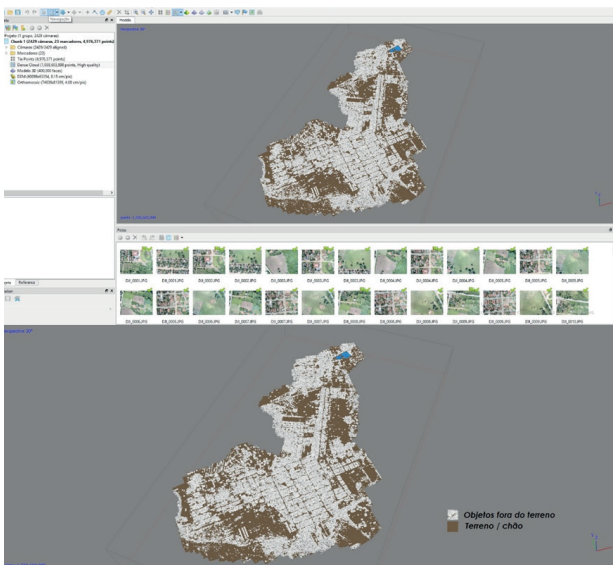
- Ângulo máximo: Observa-se que para o estudo em áreas urbanas determina-se o ângulo máximo de 15 graus, assim todo objeto que tiver uma angulação maior não será classificado como terreno, pelo fato de ser uma área urbana e com edificações que geralmente estão perpendiculares ao solo, sendo aceito o valor como suficiente.

- Definição de distância máxima: para a distância máxima, o valor de 0,5 m foi suficiente, pois a totalidade de objetos que estiverem acima desse valor não serão classificados como terreno, já que trata-se de um perfil de objetos urbanos, como casas e muros.

- Tamanho da célula: finalmente o tamanho das células é obtido de acordo com os aglomerados de pixels gerados. Por exemplo o telhado de uma casa ou galpão correspondem a aglomerados de pixels homogêneos, ou seja, estruturas que devem ser retiradas para a geração do MDE, portanto o perfil dessas estruturas tem um valor próximo de 40 metros, assim tudo que for maior que esse valor será classificado como elevação fora do terreno.

q. Classificação das áreas: a figura 22 demonstra a diferenciação entre o que é terreno e o que está acima dele e deve ser filtrado para geração do MDE. A automatização do processo favorece o trabalho, porém não demonstrou 100% de efetividade. Sabendo-se disso, está disponível a ferramenta 'Atribuir Classes', para classificação manual das áreas que não apresentaram um resultado satisfatório;

Figura 22: Classificação da nuvem densa de pontos.

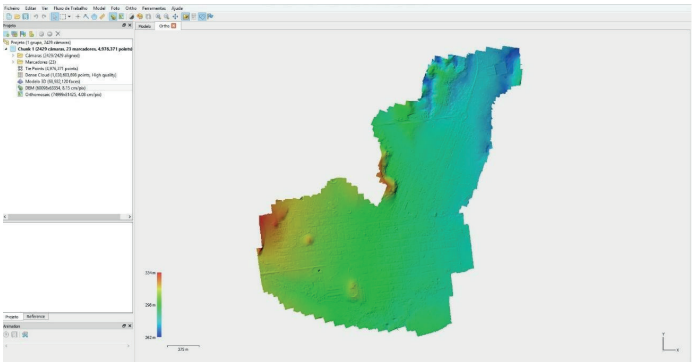


Fonte: Autores.

r. Construção do modelo tridimensional: pode ser gerada a partir desse momento, produzindo assim uma malha de polígonos de acordo com a classificação do processo anterior, sendo ele é de elevação ou de superfície. Para a Geração do MDS na seleção de classes de pontos deve-se desselecionar os "Low Points", pois se tratam de pontos flutuantes fora da densificação da nuvem e para o MDE deixar apenas selecionada a opção "Ground", pois irá considerar apenas o terreno sem os objetos

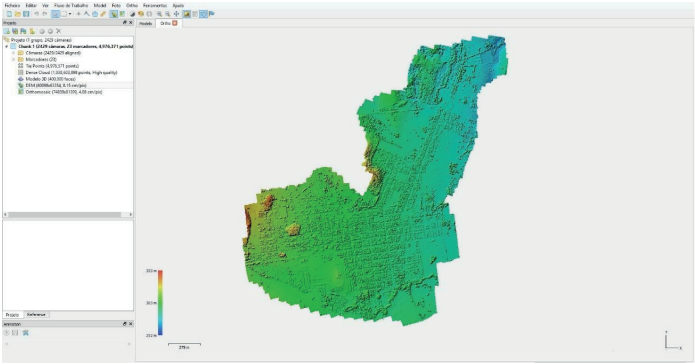
da superfície. O MDE baseado na malha tridimensional, como ilustrado na figura 23 é o mais interessante para a obtenção de dados topográficos, como curvas de nível, pois corresponde a representatividade digital do terreno. Já o MDS é constituído pela nuvem densa, sendo o mais interessante para uma análise que possa abranger os itens contidos na superfície, pois gera maior detalhamento de estruturas (figura 24);

Figura 23: Modelo Digital de Elevação - MDE.



Fonte: Autores.

Figura 24: Modelo Digital de Superfície - MDS.

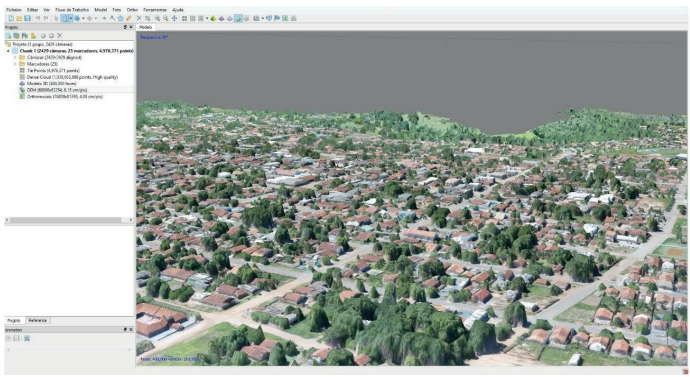


Fonte: Autores.

s. Texturização do modelo digital: melhora a qualidade modelo, mas o torna um arquivo com muitos polígonos e informações, comprometendo a usabilidade e apresentando travamentos. Em vista disso, para deixar o trabalho acessível ao manuseio é interessante a redução da malha triangulada.

Observação: O modelo texturizado (Figura 25) apresenta maior definição de estrutura, que em caso de estudos de algum perfil morfológico estrutural pode ser um produto de diagnóstico com alto detalhamento, porém apresenta um perfil de captação de imagem diferente do apresentado neste guia;

Figura 25: Modelo digital texturizado e reduzido.



Fonte: Autores.

t. Obtenção dos ortomosaicos e ajustes: a última parte do processo é a aquisição dos respectivos ortomosaicos, do MDE e do MDS, respeitando-se os filtros, classificações e processos antecedentes. A principal diferença entre os dois ortomosaicos é percebida pela visão ortogonal das estruturas oferecida pelo produto do MDS (Figura 26), porém é o que apresenta maior deformidade. O ortomosaico obtido de MDE pode apresentar deformações, porém apresenta mais opções de imagens para

ajustes com a ferramenta do Agisoft PhotoScan. As opções de regulagens das imagens, conforme a figura 27 amenizam distorções enviando-as para partes mais homogêneas da imagem, como é o caso do pavimento asfáltico.

Figura 26: Comparação de visão entre os ortomosaicos
Seta indica inclinação da estrutura.

Fonte: Autores.

Figura 27: Ferramenta de ajuste de Ortomosaico.

Fonte: Autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de multirrotor para o mapeamento aéreo de áreas urbanas permite a produção de arquivos como o Modelo Digital de Elevação (MDE), o Modelo Digital de Superfície (MDS) entre outros produtos que envolvem projeto e planejamento. Junto à possibilidade de identificação de áreas com cobertura vegetal, áreas permeáveis e impermeáveis, foi demonstrado ser interessante a utilização deste equipamento para o planejamento e gestão do território em vista do desenvolvimento urbano ambiental.

Favorável na obtenção de solucionar eventuais contratempos, obtidos de forma rápida e prática, foi possível contemplar toda a área onde o problema foi apontado, visto que para a aquisição de produtos similares, oriundos de outras técnicas, haveria a demanda de maior tempo e um processo de trabalho com maior número de etapas.

Em relação à qualidade do produto (precisão e acurácia), as margens de erro estão dispostas por valores em centímetros. Contudo, foram observadas algumas restrições no uso do Phantom 4 Pro, quando o volume de trabalho e a área abrangente é muito grande (acima de 500 hectares), a viabilidade da utilização desse equipamento diminui proporcionalmente ao aumento dos fatores mencionados. Outros fatores que devem ser levados em consideração e necessitam de atenção são: Conforme o nível de depreciação do equipamento ocorre a diminuição da acurácia da imagem; O aumento da probabilidade de quedas devido a perda de sinal entre o controle e o aparelho ocorre pelo volume de barreiras artificiais ou naturais existentes.

Por fim, este guia buscou orientar sobre o processo de trabalho com os aparelhos multirrotores, compreendendo os procedimentos que envolvem esta tecnologia. Devido a possibilidade de ocorrer incidentes, ora por alguma negligência com o equipamento, ora pelas etapas de pla-

nejamento, controle e manutenção, este guia contribui para mitigar tais situações. Destinado ao público em geral, este manual introdutório para mapeamento aéreo com uso de Drones, apresentou de modo prático os aspectos de manuseio do equipamento e programas como ferramentas de coleta e tratamento de dados.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento brasileiro de aviação civil - RBAC nº 175 emenda nº 01 de 2018.** Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2018/4s1/anexo-i-rbac-no-175-emenda-no-01 . Acesso em : 25 fev. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento brasileiro de homologação aeronáutica nº 91.** Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2018/23/anexo-vi-rbha-91. Acesso em: 25 fev. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento brasileiro da aviação civil especial nº RBAC-E nº 94, de 02 de maio de 2017.** Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Brasília, DF, 02 maio 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES- ANATEL. **Lei 9.472, de 16 de julho de 1997.**

AGISOFT. **Software Agisoft Photoscan. 2018.**

ASPIAZÚ, Celestino; ALVES, Laci Mota; VALENTE, Osvaldo Ferreira. Modelos digitais de terrenos conceituação e importância. **Boletim de Pesquisa Florestal,** Colombo, v. 21, n. 1, p. 27-36, 1990.

BRASIL. **Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986.** Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7565.htm .Acesso em : 25 fev 2020.

BRASIL. **Lei nº 11.182, de 27 de setembro de 2005.** Cria a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11182.htm. Acesso em: 25 fev. 2020.

CARRIVICK, Jonathan L.; SMITH, Mark W.; QUINCEY, Duncan J. **Structure from Motion in the Geosciences.** West Sussex : John Wiley & Sons, 2016.

COMANDO DA AERONÁUTICA. Departamento de controle do espaço aéreo. **Regras do Ar: ICA 100-12.** Rio de Janeiro, 2013.

COMANDO DA AERONÁUTICA. Departamento de controle do espaço aéreo. **Serviços de tráfego aéreo:** ICA 100-37. Rio de Janeiro, 2016.

COMANDO DA AERONÁUTICA.**Tráfego aéreo:** preenchimento dos formulários do plano de voo. MCA 100-11. Rio de Janeiro, 2017.

DE BRUM, Caroline Bussoloto et al. **Uso dos drones nos procedimentos civis e criminais no Brasil:** considerações sob a ótica dos direitos fundamentais. Drones e ciência Teoria e aplicações metodológicas. Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2019. v.1

DECEA - Departamento de controle do espaço aéreo.

DJI GO 4. Aplicativo Dji Go 4. 2018.

DRONEDEPLOY. **Drone mapping from your mobile.** Disponível em: https://www.dronedeploy.com/product/mobile/.

HARDGRAVE. **Pioneering with Vant.** Aviation and Aeromodelling – Interdependent Evolutions and Histories. United States of America, 2005. Disponível em: http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. **Censo Demográfico 2014.** Disponível em: http://www. ibge. gov. br.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA; ESTATÍSTICA. Coordenação de população; indicadores sociais. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira, 2008.**

INTERNACIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Doc. 7300, Convention on International Civi l Aviation. 9.ed. 2006Disponível em: http://www.icao.int/icaonet/arch/doc/7300/7300_9ed.pdf. Acesso em: 25 fev. 2020.

KIM, Sungjin; IRIZARRY, Javier. Exploratory study on factors influencing UAS performance on highway construction projects: as the case of safety monitoring systems. In: **Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure.** 2015. p. 132.

LIN, Wen-Tzu et al. Automated suitable drainage network extraction from digital elevation models in Taiwan's upstream watersheds. **Hydrological processes:** an international journal, Chichester, v. 20, n. 2, p. 289-306, 2006.

MENDONÇA, Ricardo Abad Meireles de et al. **Uso das geotecnologias para gestão ambiental:** experiências na Amazônia Meridional. Mato Grosso, Cuiabá: Instituto Centro de Vida, 2011.

MORGENTHAL, G.; HALLERMANN, N. Quality assessment of unmanned aerial vehicle (UAV) based visual inspection of structures. **Advances in structural engineering,** New York, v. 17, n. 3, p. 289-302, 2014.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição; LASTORIA, Giancarlo; TORRES, Thais Gisele. **Sensoriamento remoto ambiental aplicado:** introdução às geotecnologias. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Editora UFMS, 2008.

PIX4D S.A. About us. Disponível em: https://www.pix4d.com/about-us.

TERRAIN, ADIGITAL. Digital terrain models: an overview. **Photogrammetric engineering and remote sensing,** Falls Church, v. 44, n. 12, p. 1481-1485, 1978.

VALERIANO, MM. **Topodata:** guia para utilização de dados geomorfológicos locais. Do projeto de Produtividade em Pesquisa "Modelagem de dados topográficos SRTM", CNPq, processo nº 306021/2004-8 (NV). MCTI. INPE. São José dos Campos. SP, 2008.

ZANETTI, Juliette; JUNIOR, Joel Gripp; SANTOS, Afonso de Paula dos. Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por vant. **Revista Brasileira de Cartografia,** Monte Carmelo, v. 69, n. 2, 2017.

Este livro foi editorado com as fontes Crimson Text e Poppins.
Publicado on-line em: https://repositorio.ufms.br