



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

DANILO HENRIQUE DOS SANTOS ATAÍDE

**APLICAÇÃO DE VANT NO MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO E NA
GERAÇÃO DE MODELOS 3D DA PAISAGEM**

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

DANILO HENRIQUE DOS SANTOS ATAÍDE

**APLICAÇÃO DE VANT NO MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO E NA
GERAÇÃO DE MODELOS 3D DA PAISAGEM**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2016

**USO DE VANT NO MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO NO INSTITUTO
DE FLORESTAS - UFRRJ**

DANILO HENRIQUE DOS SANTOS ATAÍDE

Monografia aprovada em 25 de dezembro de 2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Bruno Araujo Furtado de Mendonça – UFRRJ
Orientador

Prof. Msc. Emanuel José Gomes de Araújo – UFRRJ
Membro

Prof. Dr. Rogério Luiz da Silva – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus
e a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela natureza e por tudo que criou. Todos os caminhos trilhados até hoje foram abençoados por Ele.

A toda a minha família, em especial, aos meus pais Dásio e Neusa por todo suporte e ensinamentos que foram essenciais para a minha forma de lidar com a vida. São e sempre serão os Mentores principais dessa jornada. Aos meus irmãos Lucas, Bruna, Hélen, Victória e Isabella por todo carinho e apoio oferecidos, eu amo vocês.

A mulher da minha vida, carinhosamente chamada de Anne. Os dias ao seu lado foram os melhores vividos até hoje. Tenho certeza que muitos outros virão junto com você e o nosso fiel escudeiro, Custelinha. Amo você!

A todos os amigos de Mogi Guaçu, em especial aos parceiros de vida Danilo (Tucanilo), Fabinho, Daniel (Corujão) e Juliano (Toiso).

Agradeço a Universidade “Rural” do Rio de Janeiro, minha segunda casa. Aquela que me acolheu como um filho. Sou grato pela estrutura de ensino oferecida, e ainda mais, pelas belas paisagens que são refúgios para dias difíceis e que são fonte de inspiração para novos caminhos.

Ao meu grande orientador Bruno Mendonça, idealizador e viabilizador desse projeto. Seus conselhos, orientações e “canetadas” foram essenciais para o resultado desse trabalho. Ainda, agradeço a oportunidade em desenvolver o trabalho na GEOFLORA, no qual pude estreitar o relacionamento com talentos da Eng. Florestal: Prof^o Hugo e Elyakim Amorim.

A banca por suas contribuições pertinentes que lapidaram o trabalho.

Ao Guilherme Chaer e Felipe Martini (Embrapa Agrobiologia) pela enorme disponibilidade, não só ceder o VANT para realização dos voos, mas também pela ação protagonista na aquisição das imagens. Muito obrigado!

Agradeço a Embrapa Agrobiologia, casa da minha iniciação científica, por toda oportunidade de crescimento científico oferecida. Aos amigos do LabLeg: Felipe Martini, Francy, Joel Quintino, Pedro, Yoham, Maura, Pastor Cunha, Andréia, Telmo (*in memoriam*) e Marcelo. É por vocês que o LabLeg é o local mais gostoso de trabalhar na unidade.

A todos os membros da Flora Junior (Gestão 2014). O crescimento ao lado de vocês foi mais do que empreendedor, foi humano.

A toda a minha segunda família: Leandro (Padico), Guilherme Ramos (Safadão), Felipão (Raul Seixas), Geraldo (Dinho), Biro (William), Rubinho, Rayane, Mariah, Maurício, Lucas, Nikolau, Luizinho, Leonardo (Arco de Pipa), João do Pé, Roberto Bezerra, Uelison (Petruquio), Henos, Karen’s (Rezende e Pecinato), Amanda (Catarina), Izabela e Tati. Pela lei natural dos encontros, foi dado, mas recebido muito mais de vocês! Obrigado!

As bandas Stigma, Águas de Azeitona, Bodão e Cabrito, Br465, Noiva do Chuck e Arco de Pipa. Os dias foram muito mais sonoros e agitados com vocês.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

RESUMO

O rápido avanço da tecnologia (computacional, materiais, sistemas de navegação globais, sensores aprimorados, etc.), somado a demanda crescente em produzir produtos cartográficos de maior qualidade tem contribuído para desenvolvimento e uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) no Brasil e no Mundo. Os VANTs, atualmente, surgem como uma opção na silvicultura por apresentarem uma série de aplicações, como exemplo: o monitoramento de plantios comerciais e florestas naturais; identificação de anormalidades; levantamento de informações para condução de tratos silviculturais, controle de incêndios florestais, dentre outros. O objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de VANT na obtenção de imagens aéreas digitais de alta resolução espacial, realizar o processamento das imagens a fim de gerar mapas do uso e cobertura do solo, modelar a paisagem em 3D, além de sinalizar potencialidades e problemas enfrentados na aquisição de imagens. Foi avaliado o uso do multirrotor *Phantom 3 Professional* acoplado com câmera digital fotográfica *Sony EXMOR 1/2.3"*, somado ao processamento das imagens em *software* de visão computacional 3D, *Agisoft PhotoScan Professional* e no Sistema de Informação Geográfica, *ArcGIS/ArcMap 10.1*. Para tanto, foram obtidos três ortomosaicos de duas localidades distintas no município de Seropédica – RJ, denominadas Região 1 e Região 2 (a) e (b). A resolução espacial obtida para o mosaico ortoretificado da Região 01 correspondeu a 2,67 cm/pixel (70 m de altitude de voo), enquanto que na Região 2 (a) e (b) foi de 2,30 (50 m) e 3,59 cm/pixel (80 m), respectivamente. Ainda, foram gerados dois mapas de uso e cobertura do solo dessas regiões, e também modelos tridimensionais dessas paisagens. A alta resolução espacial permitiu estudos do uso e cobertura do solo utilizando feições da paisagem com alto nível de detalhamento (copa de árvores, prédios, estufas e ruas estreitas). A Região 01 e Região 02 (b) apresentaram 5 classes de classificação do uso e cobertura do solo. A predominância nessa área mapeada da Região 01 é de áreas abertas com a presença de gramíneas, equivalente a 45,6% da área total (2,6 ha). A Região 2 (b) apresentou resultado inferior para essa classe, equivalente a 39 % da área total mapeada (5,7 ha). Nos modelos 3D gerados foram identificados problemas com sobreposição nas extremidades, em diferentes intensidades. As extremidades desses modelos apresentaram alto índice de falhas nos objetos, principalmente em altitude, como é o caso da copa das árvores. A possibilidade de criar uma nuvem de pontos fotogramétricos por meio de imagens digitais e consequente modelos tridimensionais permite grandes aplicações no âmbito florestal. Além disso, a obtenção de modelos tridimensionais da paisagem apresenta um novo nível na tomada de decisões, baseadas em mapas tridimensionais fidedignos da realidade, conforme o observado nos produtos realizados nesse estudo. A autonomia de voo dos VANTs multirrotores ainda é um fator limitante no mapeamento de áreas médias e grandes, devendo ser utilizadas estratégias que maximizem a energia disponível e permitam a realização do mapeamento dessas áreas. O processamento dos dados tridimensionais é limitado pelos requisitos do *hardware*. A utilização de micro VANTs em diversos segmentos apresenta-se como uma das grandes inovações da atualidade, e, no âmbito das ciências florestais, mais estudos devem ser desenvolvidos a fim de atingir todas as potencialidades de uso dessa plataforma.

Palavras-chave: Veículo Aéreo Não Tripulado, imagens ortoretificadas, fotogrametria.

ABSTRACT

The rapid advancement of technology (computing, materials, global navigation systems, improved sensors, etc.), plus the growing demand to produce higher quality cartographic products has contributed to the development and use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Brazil and in the World. UAVs currently appear as an option in forestry because they have a number of applications, such as: monitoring of commercial plantations and natural forests; identifying abnormalities; gathering information for conducting silvicultural practices; control of forest fires, among others. The aim of this study was to evaluate the use of UAVs in obtaining high spatial resolution digital aerial images, perform image processing in order to generate maps of land use and land cover, model the 3D landscape, and signal potential and problems faced in acquiring images. Was evaluated the use of multirotor Phantom 3 Professional coupled with photographic digital camera Sony EXMOR 1/2.3", added to the processing of images in 3D computer vision software, Agisoft PhotoScan Professional and Geographic Information System, ArcGIS/ArcMap 10.1. Therefore, we obtained three orthomosaics in two different locations in the city of Seropédica - RJ, called Region 1 and Region 2 (a) and (b). The spatial resolution obtained for ortorrectified mosaic region 01 corresponded to 2.67 cm/pixel (70 m flight altitude), while in Region 2 (a) and (b) was 2.30 (50 m) and 3.59 cm/pixel (80 m). Still, were done two using and land cover maps of these regions, and also 3D models of these landscapes. The high spatial resolution allowed studies of the using and land cover through landscape features with high level of detail (tree canopy, buildings, greenhouses and narrow streets). The Region 01 and Region 02 (b) had 5 using and land cover classes. The predominance mapped in the area of the Region 01 is of open areas with the presence of grass, equivalent to 45.6% of the total area (2.6 ha). Region 2 (b) had a lower result for this class, equivalent to 39% of the total mapped área (5.7 ha). For all 3D models generated were identified problems overlapping in the extremity at different intensities. The extremity of these models showed high failure rate in the objects, especially at altitude, such as the tree canopy. The possibility of creating a cloud of photogrammetric points through digital images and resulting three-dimensional models allows large applications in the forestry context. Furthermore, the possibility of obtaining three dimensional models of the landscape allows a new level in decision-making based on reliable three-dimensional maps, as observed in the products of this study. The flight range of UAVs multirotorees is still a limiting factor in the mapping medium and large areas and should be used strategies that maximize the power available and enable the full mapping of these areas. The processing of three-dimensional data is limited by the hardware requirements. The use of micro UAVs in various segments is presented as one the great innovations of present, and within forest science, more studies should be developed in order to achieve all potencial of this platform.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, orthorectified images, photogrammetry.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	1
3. REVISÃO DE LITERATURA	2
3.1. Fotogrametria	2
3.1.1 Fotointerpretação	2
3.2. Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)	3
3.2.1 Vantagens técnicas dos VANTs de asa rotativa	4
3.2.2 Aplicações dos VANTs na área florestal	4
3.3. Regulamentação de voo da ANAC	4
3.4. Silvicultura de Precisão	5
3.5. Mapeamento do uso e cobertura do solo	6
4. MATERIAL E MÉTODOS	7
4.1. Áreas mapeadas	7
4.1.1 Instituto de Florestas – UFRRJ	7
4.1.2 Embrapa/PSA	7
4.2. Aeronave e sensor	8
4.3. Planejamento das missões	8
4.4. Plano de voo	9
4.4.1. Região 01	9
4.4.2. Região 02	9
4.5. Obtenção dos pontos de controle terrestre	10
4.6. Processamento das imagens	10
4.6.1 Fases do processamento de imagens	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5.1. Georrefereciamento e processamento das imagens	12
5.2. Aferição de distâncias na Região 01	12
5.3. Mosaicos obtidos	13
5.4. Uso e cobertura do solo	20
5.5. Modelos 3D da paisagem	23
6. CONCLUSÕES	28
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ANEXOS	32
□ Região 01	32
□ Região 2 (a)	33
□ Região 2 (b)	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Erro médio de posição das imagens total e parcial dos eixos x, y e z, baseado no GPS interno do VANT e obtido no relatório de dados do programa <i>Photoscan</i>	12
Tabela 2: Erro médio parcial e total de posição dos pontos de controle, aferidos com GPS Garmin GPSMAP 76CSx.	12
Tabela 3: Correspondências entre distâncias aleatórias do ortomosaico em relação às obtidas por fita métrica na Região 01.	13
Tabela 4: Área absoluta e relativa do uso e cobertura do solo da Região 01.	20
Tabela 5: Área absoluta e relativa do uso e cobertura do solo da Região 02.	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Instituto de Florestas, região selecionada do aerolevanteamento 01.....	7
Figura 2: PSA, região selecionada para o aerolevanteamento 02.	7
Figura 3: Phantom 3 Professional. Exemplar do VANT utilizado na captura das imagens.....	8
Figura 4: Etapas básicas na utilização de VANT para obtenção de produtos cartográficos.	8
Figura 5: Trajeto de voo, número de faixas e altitude definida no mapeamento da Região 01.	9
Figura 6: Trajeto de voo, número de faixas e altitude definida no mapeamento da Região 02 (a e b).	9
Figura 7: Produtos obtidos nas etapas de processamento no <i>Agisoft Photoscan Professional</i>	11
Figura 8: Linhas de aferição de distâncias na Região 01.	13
Figura 9: Ortomosaico da Região 01.....	15
Figura 10: Ortomosaico da Região 02 (a).	16
Figura 11: Ortomosaico da Região 02 (b).	17
Figura 12: Densidade de fotos e nível de sobreposição para geração do ortomosaico - Região 01.	18
Figura 13: Densidade de fotos e nível de sobreposição para geração do ortomosaico - Região 02 (a) e (b).	18
Figura 14: Cobertura obtida a partir de levantamento aéreo nas áreas de estudo.	19
Figura 15: Uso e cobertura do solo da Região 01.	21
Figura 16: Uso e cobertura do solo da Região 02.	22
Figura 17: Modelo em 3 Dimensões da Região 01.	24
Figura 18: Modelo em 3 dimensões da Região 2 (a).....	25
Figura 19: Modelo em 3 dimensões da Região 2 (b).....	26
Figura 20: Modelo em 3 dimensões da Região a + b.	27

1. INTRODUÇÃO

As geotecnologias, amplamente conhecidas como “geoprocessamento”, podem ser definidas como o conjunto de tecnologias utilizadas na coleta, processamento, análise e oferta de informações georreferenciadas (ROSA, 2005). Cada vez mais utilizadas na escolha de estratégias assertivas e na tomadas de decisões, as geotecnologias podem produzir resultados em diversas escalas e níveis, configurando-se como uma poderosa ferramenta da atualidade, com amplo uso pelo setor corporativista, na pesquisa e também pela sociedade em geral (FERREIRA, 2014).

Com o rápido avanço da tecnologia, somado a demanda crescente em produzir produtos cartográficos que apresentem uma maior qualidade, com atualizações frequentes e maiores resoluções, surge uma ferramenta no ramo das geotecnologias, os Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTs (Unmanned Aerial Vehicles – UAV). Inicialmente, esse conceito de construir aeronaves não tripuladas surgiu de necessidades militares, com o objetivo de executar missões aéreas com potenciais riscos à vida humana. Ultimamente, aplicações científicas e civis vêm sendo desenvolvidas, uma vez que o uso de VANTs apresenta vantagens econômicas e técnicas em relação aos sistemas convencionais de obtenção de imagens (LONGHITANO, 2010), como por exemplo, a aquisição de imagens de satélite orbitais de alta resolução.

Assim, atualmente vem sendo desenvolvidas práticas de mapeamento e monitoramento de determinadas áreas em função da capacidade do veículo de sobrevoar distâncias consideráveis em tempo e custo reduzido, possibilitando a obtenção de imagens digitais e também modelos tridimensionais da paisagem, mesmo em dias nublados (SILVA et al; 2015). Com respeito a isso, a utilização de VANTs em áreas destinadas a silvicultura configura-se como uma ferramenta eficaz, uma vez que essa tecnologia auxilia no monitoramento de plantios comerciais e florestas naturais, na identificação de anormalidades e condução de tratamentos silviculturais, cujo objetivo final é maximizar o uso dos recursos disponíveis. Além disso, com o uso de softwares especializados (por exemplo, *Agisoft Photoscan*), o nível de sobreposição das imagens obtidas com VANTs pode gerar modelos tridimensionais da paisagem, com grande importância na obtenção de modelos digitais de terreno, modelos digitais de povoamentos florestais, além de modelos 3D para trabalhar indivíduos arbóreos individualmente.

A silvicultura de precisão pode ser considerada como um método de gerenciamento das atividades silviculturais, baseado na coleta e análise de dados geoespaciais com alta precisão e exatidão. Esses dados sustentam intervenções localizadas nas florestas, podendo refletir na redução dos custos nas operações florestais (Vetorazzi e Ferraz, 2000). Atualmente, o uso de VANTs torna-se uma alternativa extremamente oportuna no gerenciamento de florestas frente a uma tendência no aumento do desempenho da silvicultura nesse setor.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para a obtenção de imagens aéreas digitais de alta resolução espacial, realizar o processamento das imagens a fim de gerar mapas do uso e cobertura do solo e modelar a paisagem em 3D, além de sinalizar potencialidades e problemas enfrentados na aquisição de imagens com qualidade cartográfica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Fotogrametria

O termo fotogrametria deriva das palavras de origem grega: *photon*, *grafos* e *metron*, significando: luz, descrição e medida, respectivamente. Até a década de 60, a fotogrametria era definida como sendo a arte, ciência e tecnologia que permite executar medições precisas por meio de fotografias métricas (ASP, 1966). Mais recentemente uma nova definição foi proposta, tendo em vista o advento de novos tipos de sensores, sendo esta a que prevalece até os dias atuais: “Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes” (ASP, 1979).

O Coronel do Exército Frances Aimé Laussedat é considerado como pai da fotogrametria, tendo conduzido os primeiros experimentos para mapeamento e topografia, em 1849. No entanto, seu reconhecimento na área só foi consolidado com a apresentação dos trabalhos, em 1859 (WOLF et al., 2000). A partir destes trabalhos e de posteriores, foi publicado, em 1889, o primeiro livro teórico intitulado “Manual da Fotogrametria”, escrito por Carl Koppe (COELHO e BRITO, 2007).

Os primórdios do que viria a ser conhecida como fotogrametria aérea foram obtidos com auxílio de balões de ar quente e pipas, sendo geradas imagens com potencial de uso para a confecção de mapas, apesar das dificuldades no transporte dos equipamentos fotográficos. Atualmente, a fotogrametria de imagens aéreas é digital e utiliza-se de sensores digitais com fotodetectores para captura e armazenamento dessas imagens (FERREIRA, 2014).

Dentre as diversas aplicações que a fotogrametria pode apresentar a que mais se destaca é o mapeamento topográfico (THOMPSON e GRUNER, 1980) tendo, nesse caso, a finalidade de determinar a forma, dimensões e posição dos objetos contidos em uma fotografia, por meio de medidas efetuadas sobre a mesma (IBGE, 1999).

A fotogrametria pode ser dividida em duas grandes áreas: i) Fotogrametria métrica e ii) Fotogrametria interpretativa (fotointerpretação).

- i) A fotogrametria métrica consiste na realização de medições de fotos e outras fontes de informações visando determinar o posicionamento relativo de pontos específicos. Por meio desse tipo de fotogrametria, é possível determinar: i) as distâncias, ângulos, áreas, volumes, elevações, tamanhos e formas de objetos contidos na fotografia; e ii) cartas planimétricas e altimétricas, mosaicos e ortofotos (TEMBA, 2000).
- ii) A fotogrametria interpretativa trata do reconhecimento e da identificação de objetos, bem como do julgamento do seu significado por meio de análises minuciosas e sistemáticas (CARVER, 1995; WOLF, 1983).

3.1.1 Fotointerpretação

Como estratégia de tomada de decisão, a fotointerpretação baseia-se em três métodos que variam em grau crescente de complexidade, segundo TEMBA (2000): i) Foto-leitura; ii) Foto-análise; e iii) Foto-dedução.

- i) A foto-leitura é a técnica de interpretação mais simples, e consiste no reconhecimento tanto dos objetos antrópicos, quanto dos elementos naturais do terreno;

- ii) A foto-análise é a técnica cujo objetivo é separar os componentes de uma imagem em áreas homogêneas, com o auxílio de estereoscópico. Cada área é, então, metodicamente analisada e comparada com as demais;
- iii) A foto-dedução é o método mais complexo dentre os supracitados. Por meio desta técnica, é realizada uma avaliação detalhada e minuciosa dos componentes da imagem, caracterizando-os geomorfologicamente. Além disso, é possível identificar os processos envolvidos na formação desses componentes, assim como seu estágio de desenvolvimento. Este método permite inferir elementos ocultos à imagem, no entanto, quando se trata de classificação e uso do solo, existe a necessidade de uma combinação integrada de análise de fotos aéreas com um sistema planejado de verificação no campo.

3.2. Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)

O termo Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é uma adaptação do inglês *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* e se refere a qualquer veículo com capacidade de voar e ser controlado sem uma pessoa a bordo (EISENBEISS, 2004). Os primeiros relatos de VANTs, no Brasil, foram registrados na década de 80 com o projeto Acauã, desenvolvido pelo Centro Técnico Aeroespacial (CTA) (MEDEIROS et al., 2008).

Na década de 80, destacou-se na área civil brasileira a utilização de VANT de asa móvel no projeto Helix, desativado por falta de mercado e incentivo do governo brasileiro. Focado na agricultura de precisão, o projeto ARARA (Aeronave de Reconhecimento Assistida por Rádio e Autônoma) foi desenvolvido pela Embrapa com objetivo de substituir aeronaves convencionais utilizadas na obtenção de fotografias aéreas por VANT de pequeno porte (JORGE e INAMASU, 2014).

O uso de VANTs vem crescendo consideravelmente por conta de suas vantagens técnicas e econômicas, tais como: elevada qualidade no imageamento de pequenas áreas, resolução espacial diferenciada e com alto nível de detalhamento, rapidez na aquisição dos dados, consistência de trajetória de voo e aquisição de imagens e redução dos custos operacionais (WATTS et al., 2010).

Dentre as categorias de VANT's destacam-se os de asa fixa e asa rotativa. Os veículos compostos por asa fixa possuem a característica de recobrimento de grandes áreas (FIGUEIREDO e SAOTOME, 2012). Segundo Jorge e Inamasu (2014), as aeronaves de asa fixa possuem a capacidade de realizar rotas longas de voo, carregar cargas consideráveis e a possibilidade de instalar mecanismos de segurança, como por exemplo, paraquedas. No entanto, é necessário área de pouso e decolagem para essa categoria. Ainda, os veículos de asa fixa são obrigados a manter a velocidade para frente visando manter a sustentação de voo, e somado a isso, as movimentações de voo são limitadas pela quantidade de objetos presentes na região sobrevoada, em função do raio da curva dessa aeronave (ALMEIDA, 2014).

Os VANTs de asa rotativa com motores elétricos tiveram a sua gênese entre as décadas de 80 e 90, baseados no conceito dos Quadrotores. Devido a possibilidade de decolagem e pouso independente de aeroportos ou áreas destinadas para tal fim (JORGE e INAMASU, 2014), condicionada pela força propulsora dos rotores, os interesses voltaram para essa categoria. Por meio do uso de baterias lítio-polímero (alta relação energia/massa) é possível alcançar autonomia de voo total equivalente à 30 minutos (ALMEIDA, 2014), fator limitador no recobrimento de médias e grandes áreas.

Algumas dessas plataformas, semiautônomas ou totalmente autônomas, são equipadas com sensores passivos (câmeras fotográficas digitais – RGB) ou ativos (infravermelho, microonda), sistema IMU (Inertial Measurement Unit) com bússola, acelerômetros,

giroscópios, o que permitem a determinação do log de voo (orientação exterior) para cada imagem capturada, e controle humano remoto por meio de link de rádio, que conecta a plataforma e o sistema de controle remoto durante a missão (SILVA et al., 2014).

3.2.1 Vantagens técnicas dos VANTs de asa rotativa

Quanto à resolução temporal, os VANTs apresentam uma maior flexibilidade que o sensoriamento remoto a nível orbital, uma vez que não dependem de condições climáticas ótimas (ausência de nebulosidade) para a realização das missões. Além disso, os veículos não tripulados não dependem da órbita e de aeroportos como é o caso dos sistemas convencionais.

Segundo Jorge e Inamasu (2014), as plataformas do tipo multirotor permitem voos com alta estabilidade (VANTS de asas fixa apresentam são susceptíveis aos ventos fortes), independentes de locais destinados à decolagem e pouso (apenas 1 m² de área para esse fim), refletindo na redução do tempo de treinamento operacional. Também, a capacidade de realizar voos assistidos por GPS ou totalmente autônomos seguindo dados pré-programados, baixo peso da plataforma e alto potencial de carregamento de carga útil.

Quanto à resolução espacial e área de recobrimento, os VANTs podem gerar imagens com resoluções espaciais muito elevadas, inferiores a 1 cm, dependendo da resolução da câmera e da altura de voo. No entanto, seu uso limita-se a áreas pequenas, tornando necessária a confecção de mosaicos, georreferenciamento e correção geométrica para a aplicação em áreas maiores (LONGHITANO, 2010).

3.2.2 Aplicações dos VANTs na área florestal

Na área florestal, os VANTs apresentam diversas aplicações. Podem ser utilizados na detecção precoce de focos de incêndio, bem como no seu mapeamento e monitoramento (MERINO et al., 2012; GETZIN et al., 2014). Além disso, tal ferramenta apresenta possibilidade de aplicação no monitoramento de alterações no uso do solo (PANEQUE-GÁLVEZ, 2014) e quantificação de áreas desmatadas e reflorestadas.

Como ferramenta estratégica na gestão de áreas florestais, os VANTs podem auxiliar na localização de árvores derrubadas (LUNDQVIST, 2014; INOUE et al., 2014), no planejamento de corte e otimização do processo de extração da madeira ((LUNDQVIST, 2014). No controle fitossanitário dos plantios, a utilização desse tipo de veículo permite o monitoramento de pragas e doenças por meio da localização de árvores afetadas (FORNACE et al., 2014). O potencial de uso de sensores especiais como infravermelho (FLIR) e câmeras multiespectrais permitem a utilização dessa plataforma em estudos focados no estado fisiológico das árvores.

Além das aplicações supracitadas, os VANTs podem ser utilizados para a determinação do grau de cobertura arbórea, avaliação da biodiversidade (GETZIN et al., 2012) e em levantamento cartográficos e topográficos (GETZIN et al., 2014).

3.3. Regulamentação de voo da ANAC

No dia 2 de setembro de 2015, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) apresentou a proposta do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94 (RBAC-E nº 94), que trata dos requisitos gerais para VANTs e Aeromodelos, estabelecendo as condições para a operação desses tipos de aeronaves.

De acordo com esse regulamento, os VANTs destinados à operação remotamente pilotada são conhecidos como Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft*–RPA). Os RPA's, por sua vez, são classificados conforme o Peso Máximo de Decolagem

(PMD) em: i) Classe 1: RPA com PMD maior que 150 kg; ii) Classe 2: RPA com PMD maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg; e iii) Classe 3: RPA com PMD menor ou igual a 25 kg.

Quanto aos requisitos para os pilotos remotos e observadores, a ANAC institui que todos devem possuir a idade mínima de 18 anos. Apenas os pilotos de RPA's classes 1 e 2 necessitam do Certificado Médico Aeronáutico (CMA) e da licença e habilitação emitidas pela ANAC.

Quanto às regras gerais de voo, a regulamentação estabelece que:

- a) É proibido o transporte de pessoas, animais, artigos perigosos referidos no RBAC nº 175 ou carga proibida por autoridade competente, em VANT ou aeromodelos.
- b) É vedado operar um VANT ou aeromodelo, mesmo não sendo com o propósito de voar, de maneira descuidada ou negligente, colocando em risco vidas ou propriedades de terceiros.
- c) É proibida a operação autônoma de VANT ou aeromodelos.
- d) Todas as operações de VANT devem possuir seguro com cobertura de danos a terceiros, exceto as operações dos órgãos de segurança pública e/ou defesa civil.
- e) A operação de aeromodelos somente é permitida, sob total responsabilidade do seu operador, nas seguintes condições:
 - até 400 pés (cerca de 122 m) AGL (*Above Ground Level* – acima do nível do solo); e
 - em áreas distantes de terceiros.
- f) A operação de RPAS somente é permitida em áreas distantes de terceiros, sob total responsabilidade do seu operador, nas seguintes condições:
 - se forem atendidas as demais exigências deste Regulamento especial; e
 - se for realizada previamente uma avaliação de risco operacional de forma que demonstre um nível aceitável de risco à segurança operacional, que deve ser mantida por 5 anos após a realização da operação.
- g) A operação de RPAS de um órgão de segurança pública e/ou defesa civil, ou operador a serviço de um destes, somente é permitida, sob total responsabilidade do órgão ou do operador, em quaisquer áreas, nas seguintes condições:
 - se forem atendidas as demais exigências deste Regulamento especial; e
 - se for realizada previamente uma avaliação de risco operacional de forma que demonstre um nível aceitável de risco à segurança operacional, que deve ser mantida por 5 anos após a realização da operação.
- h) Operações de aeromodelos e VANT fora dos critérios estabelecidos nos parágrafos (e), (f) e (g) desta seção são proibidas.
- i) Em qualquer caso, operações de VANT até 25 kg PMD, ou aeromodelos, sobre áreas urbanas ou aglomerados rurais não podem ultrapassar os 200 pés AGL.
- j) Para as operações de RPA Classes 1 e 2 devem ser mantidos registros de todos os voos realizados, em formato aceitável pela ANAC.

3.4. Silvicultura de Precisão

A silvicultura de precisão é tida como um modelo de gerenciamento que se fundamenta na coleta e análise de dados geoespaciais e no conhecimento da variabilidade

espacial e temporal da produção das florestas (RIBEIRO, 2002). Esse modelo possibilita, por exemplo, melhorias na aplicação de insumos reduzindo, assim, os custos de produção e os impactos ambientais (VETTORAZZI e FERRAZ, 2000).

Muitas tecnologias atuam em conjunto com a silvicultura de precisão, dentre elas destacam-se os Sistemas de Informações Geográficas, Sistemas de Posicionamento Global e o Sensoriamento Remoto (BRANDELERO et al., 2007). As técnicas de geoprocessamento fornecem subsídios para a identificação e correlação das variáveis que influenciam a produtividade florestal, por meio do armazenamento, tratamento, cruzamento e sobreposição de dados em SIGs, que são visualizados em conjunto por meio de mapas digitais. Tais mapas possibilitam ao silvicultor visualizar de forma integrada as características das áreas de produção e preservação florestal (GONÇALVES e ÁLVARES, 2005).

3.5. Mapeamento do uso e cobertura do solo

A análise de uso e cobertura do solo consiste em uma importante ferramenta que norteia a tomada de decisões, principalmente no que diz respeito à gestão, planejamento e monitoramento de alterações nos atributos físicos da superfície (ARAÚJO FILHO et al., 2007; ALMEIDA et al., 2011). Neste sentido, o mapeamento de uso e cobertura do solo auxilia na interpretação técnica-visual das informações geradas a partir dessa análise (ARAÚJO FILHO et al., 2007).

O mapeamento convencional é realizado por meio do uso de imagens de satélites. No entanto, para áreas relativamente pequenas o uso dessas imagens apresenta algumas limitações, sobretudo em termos de resoluções espacial e temporal. A resolução espacial está associada à capacidade que um determinado sensor apresenta de distinguir objetos próximos espacialmente, de modo que quanto menor for o objeto identificado, maior é o poder de resolução espacial (IBGE, 2001). De um modo geral, os satélites apresentam uma faixa de resolução espacial que varia de 30m a 1m (IWAI, 2003). A resolução temporal diz respeito à frequência na qual uma determinada área na superfície terrestre é amostrada por um sensor, em um intervalo de tempo. Apesar deste intervalo variar de acordo com o satélite, a resolução temporal é dada em dias (IWAI, 2003).

Tendo em vista as características supracitadas, o uso de VANTs possibilita a confecção de mapas georreferenciados com alta precisão, detalhamento e qualidade uma vez que geram imagens com alta resolução espacial e temporal (BRYSON et al., 2010). Com isso, tais veículos aéreos se adaptam às necessidades de cada projeto (MORGAN et al., 2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Áreas mapeadas

4.1.1 Instituto de Florestas – UFRRJ

A região central do Instituto de Florestas, compreendendo os Departamentos de Silvicultura, de Produtos Florestais e Ciências Ambientais, localizado no campus de Seropédica, RJ (22° 45' de latitude sul e 43° 41' de longitude oeste) foi a primeira área selecionada para o aerolevanteamento desse estudo (Figura 1), chamada de Região 01. O Instituto de Florestas pertence à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, que está localizada no município de Seropédica, a cerca 74,9 km da capital, Rio de Janeiro - RJ.

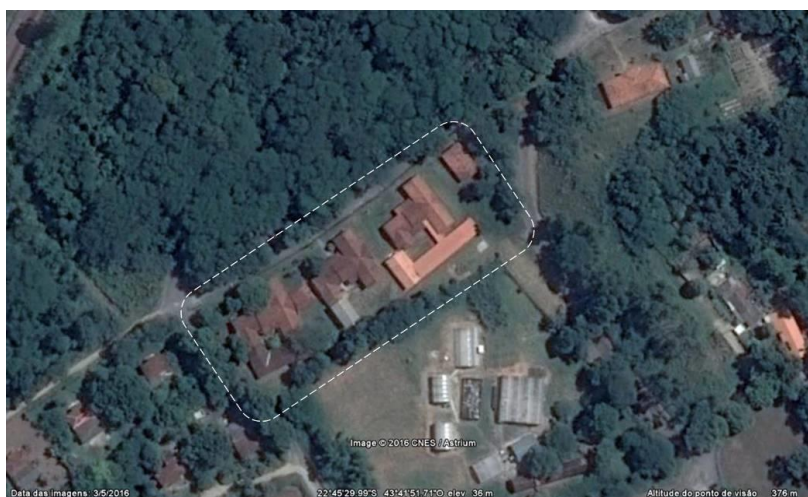


Figura 1: Instituto de Florestas, região selecionada do aerolevanteamento 01.

Fonte: Google Earth Plus, 2015.

4.1.2 Embrapa/PSA

A área selecionada para o segundo aerolevanteamento (Figura 2), denominada Região 02, compreende a divisa entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), unidade Agrobiologia, e o prédio do Projeto Saúde Animal (PSA), pertencente ao Instituto de Veterinária – UFRRJ, ambos localizados no município de Seropédica – RJ.



Figura 2: PSA, região selecionada para o aerolevanteamento 02.

Fonte: Google Earth Plus, 2015.

4.2. Aeronave e sensor

O modelo do veículo aéreo não tripulado utilizado na obtenção das imagens deste estudo foi o Phantom 3 Professional, um quadricóptero desenvolvido pela empresa DJI (Figura 3). O modelo pesa 1.280 g (incluindo bateria e hélices) e, portanto, se enquadra na Classe 3 da proposta de Regulamentação (RBAC-E nº 94) da ANAC (2015), possui 35 cm na sua diagonal, velocidade máxima de subida de 5 m/s e de descida de 3 m/s, podendo atingir a velocidade máxima horizontal, no modo ATTI (apenas o sensor barométrico ativado) sem vento, correspondente a 16 m/s (57,6 km/h). O tempo máximo de voo (autonomia de voo) é de aproximadamente 23 minutos para cada bateria utilizada. Possui GPS integrado de navegação, o que possibilita a realização de missões no modo totalmente automático, desde a decolagem até a aterrissagem do aeromodelo. O *Phantom 3 Professional* possui mecanismo de estabilização nos três eixos (*pitch, yaw e roll*), conhecido como Gimbal, cujo objetivo é minimizar as variações da câmera durante o voo, no momento de captura da imagem. Esta estabilização é essencial na captura de fotos com qualidade.

O sensor acoplado na plataforma utilizado na captura das imagens foi a câmera digital fotográfica Sony EXMOR 1/2.3", com 12,4 Megapixel (4.000 x 3.000 pixels), lentes FOV 94° 20 mm (35 mm formato equivalente), f/2.8, *focus at ∞*, velocidade de disparo de 8 s/8000s.



Figura 3: Phantom 3 Professional. Exemplar do VANT utilizado na captura das imagens.

Fonte: <<http://www.dji.com/product/phantom-3-pro/info#specs>>

4.3. Planejamento das missões

As etapas realizadas nos aerolevantamentos seguiram as diretrizes sugeridas por Jorge e Inamasu (2014), conforme apresentado na Figura 4.

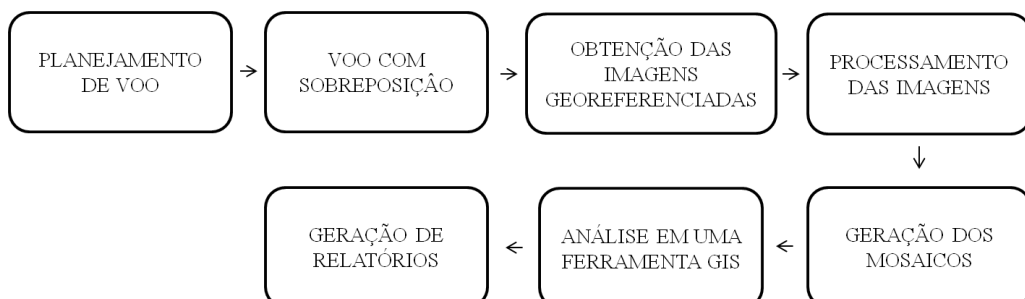


Figura 4: Etapas básicas na utilização de VANT para obtenção de produtos cartográficos.

Fonte: Adaptado de Jorge e Inamasu (2014).

4.4. Plano de voo

O plano de voo foi definido acima das áreas de interesse por meio da utilização do aplicativo *Pix4D capture*, desenvolvida pela empresa sueca *Pix4D*. Este aplicativo foi adquirido na *play store* e possui licença livre. O *software*, habilitado a conectar com VANTs da série *Phantom (DJI)*, permitiu a criação de um plano de voo pré-definido, sistemático e totalmente automatizado. Após definida, durante o planejamento de voo, a altitude de voo, taxa de sobreposição entre fotos (longitudinal) e entre faixas (lateral) e a área a ser mapeada, foi realizada a entrada desses parâmetros no aplicativo, e manualmente, por meio da função *touch screen* do aparelho, delimitado o trajeto de voo acima da área de interesse.

4.4.1. Região 01

A Figura 05 apresenta o trajeto realizado pelo VANT durante a missão do mapeamento da Região 01, bem como a quantidade de faixas necessárias para atender à sobreposição longitudinal e lateral de 70%, estabelecida a altitude de voo de 70 m.

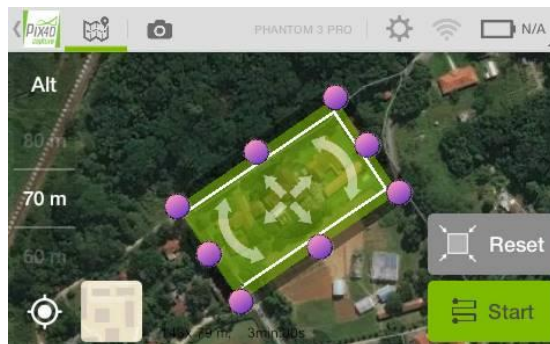


Figura 5: Trajeto de voo, número de faixas e altitude definida no mapeamento da Região 01.

4.4.2. Região 02

Na Região 02 foram realizadas duas missões de voo, em duas altitudes distintas (Figura 06). A primeira missão, denominada como Região 02(a), a altitude de voo estabelecida foi de 50 m. A segunda missão, denominada como Região 02 (b), foi realizada com altitude correspondente a 80 m. Nas duas missões, foi estabelecida sobreposição (longitudinal e lateral) equivalente a 70%.

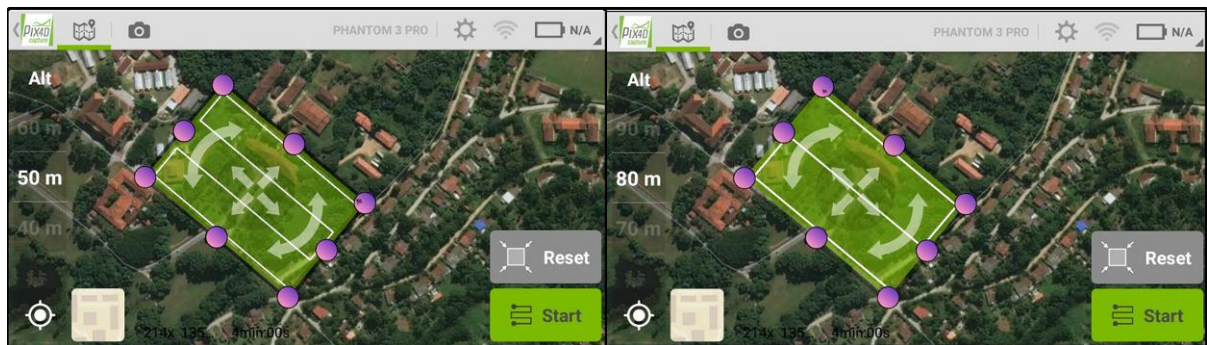


Figura 6: Trajeto de voo, número de faixas e altitude definida no mapeamento da Região 02 (a e b).

4.5 Obtenção dos pontos de controle terrestre

Nessa etapa, foram obtidos pontos de controle terrestre na Região 01. Foram selecionados pontos no terreno, facilmente identificados nas imagens geradas, para realizar o georreferenciamento da imagem obtida pelo levantamento com VANT. O GPS de navegação utilizado na tomada desses pontos foi GARMIM, modelo GPSMAP 76CSx, com precisão média equivalente a 3 m. Durante a coleta dos pontos, buscou-se distribuí-los na área de interesse com a finalidade de obter uma maior taxa de amostragem e precisão durante a transformação geométrica subsequente.

4.6 Processamento das imagens

O processamento das imagens foi realizado no Laboratório de Geoprocessamento Aplicado a Florestas (GEOFLORA), pertencente ao Departamento de Silvicultura do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e dividido em duas fases. O computador utilizado no processamento das imagens possui sistema operacional instalado Windows 7 Professional (64 bits) com processador da Intel Core i5 – 2300, CPU @ 2,80 Ghz, 2,80 Ghz, com 4 núcleos e 4 processadores lógicos; memória ram instalada igual à 4,0 Gb e processador gráfico onboard da Intel HD Graphics 2000.

4.6.1 Fases do processamento de imagens

Na primeira fase, as imagens foram processadas utilizando o *software Agisoft PhotoScan Professional Edition 1.2.3* (licença temporária gratuita – 30 dias). Este *software* é uma ferramenta para o processamento fotogramétrico, inclusive adaptado para processar imagens obtidas por meio de VANT. O *software* utiliza algoritmos de visão computacional que permitiu a geração de imagens ortorretificadas e de dados espaciais em três dimensões para aplicação no SIG (Sistema de Informações Geográficas).

A Figura 7 apresenta as etapas resumidas de processamento até a obtenção dos ortomosaicos, modelos 3D da paisagem e modelo digital de elevação. A Etapa 1 consistiu em adicionar as fotos obtidas durante o aerolevanteamento. Como pode ser observado, as fotos são posicionadas sistematicamente no ambiente de trabalho do *software*, de acordo com a posição geográfica obtida pelo GPS integrado. Na Etapa 2 foi realizado alinhamento das fotos, por meio da detecção, seleção e “matching” dos pontos homólogos das imagens adicionadas, gerando uma nuvem de pontos, após estabelecidos o nível de qualidade de saída requerido e o critério de busca (genérico ou por referência). A Etapa 3 consistiu na construção da nuvem densa de pontos com a nuvem de pontos gerados na etapa anterior, após estabelecido a qualidade de saída (de muito baixa à ultra elevada). Na Etapa 4 foi construído o modelo, após estabelecidos o tipo de superfície, a fonte dos dados e a contagem das faces. O modelo pode ser apresentado colorido (a), sólido (b) e malha (c). A Etapa 5 consistiu na construção do mapa 3D texturizado, definindo critérios como: modo de mapeamento (genérico, ortofoto, ortofoto adaptativo, esférico e foto única); modo de combinação e o tamanho da textura/faces. Na construção dos ortomosaicos desse estudo foram definidos ortofotos no modo de mapeamento; mosaico no modo de combinação e o tamanho da textura/faces. A Etapa 6 consistiu na elaboração do ortomosaico, estabelecendo o datum utilizado (WGS 84) e o tamanho do imagem gerada. Na Etapa 7, foi construído o Modelo Digital de Elevação, utilizando o mesmo datum selecionado na etapa anterior e, como fonte de dados, a nuvem densa de pontos.

A renderização do modelo, definida como “*Build Tiled Model*” (não apresentado na Figura 7), é a etapa que mais demanda da capacidade de processamento do computador. Nela são estabelecidos parâmetros como tamanho do pixel (em metros) e do mosaico.

Todos os parâmetros utilizados no processamento das imagens desse estudo podem ser consultados na seção Anexo.

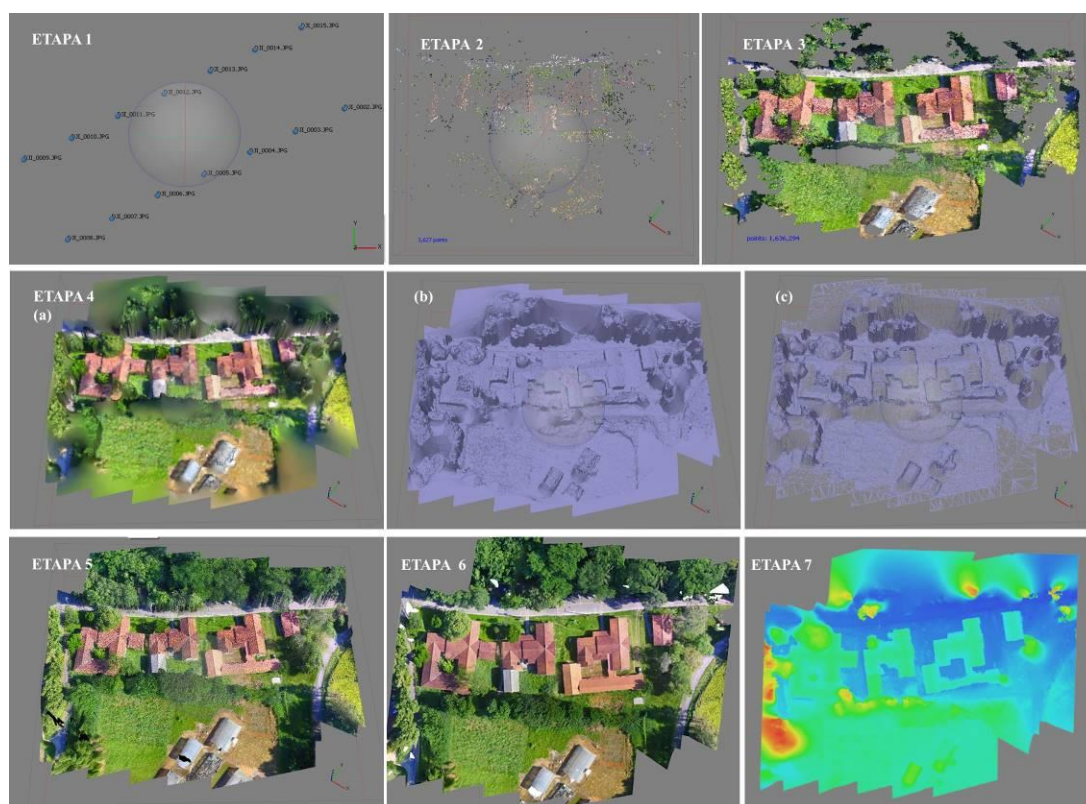


Figura 7: Produtos obtidos nas etapas de processamento no *Agisoft Photoscan Professional*.

Na segunda fase, as análises foram realizadas utilizando o *software* ArcGIS/ArcMap 10.1, desenvolvido pela empresa norte americana *Environmental Systems Research Institute* (ESRI).

Após definido o sistema de coordenadas e de projeção (WGS 84, UTM 23 Sul) foram inseridas as coordenadas dos pontos de controle por meio da ferramenta *Add Control Point*, localizada na ferramenta *Georeferencing* do SIG. Com o auxílio da ferramenta *Magnifier* (lente de aumento) os pontos foram inseridos nos respectivos locais de tomada pelo clique do botão esquerdo do *mouse*, na janela de inserção das coordenadas geográficas. Após fixados os pontos de controle foi habilitada a opção *Auto Adjust* na aba *View Link Table*, para realização da transformação das coordenadas. Ainda nessa janela, foram coletados os resíduos no eixo x e y e posteriormente o *Total RMS Error*, obtendo-se a precisão desse georeferenciamento.

A obtenção dos mapas de uso e cobertura do solo foi realizado pelo Método da Digitalização em Tela. Foram confeccionados produtos da Região 1 e Região 2 (b). Para a classificação das imagens georeferenciadas (convertidas no formato .shp) foi utilizada a barra de ferramentas de edição (*Start Editing*). Foram definidas cinco classes de uso nas duas regiões estudadas. Utilizando a opção *Line* da janela *Construction Tools* (in: *Create Features*) as imagens foram digitalizadas colocando os vértices das linhas definidoras dos limites de cada alvo componente dessas classes. Com a edição finalizada (*Stop editing*) as linhas foram transformadas em novos polígonos, seguindo com a edição de seus atributos e cálculo de área. Após a seleção dos polígonos de mesma classe, realizou-se a junção desses (*Merge*). Após a finalização do procedimento, as classes foram apresentadas em dois campos na tabela de atributos: Nome da classe, Área da classe. No campo área, por meio da

ferramenta *Calculate Geometry* foi definido a unidade de medida (hectares) e certificado o sistema de coordenadas e projeção adotado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Georreferenciamento e processamento das imagens

Na Tabela 1 são apresentados os erros médios totais de posição das imagens nos eixos X, Y e Z, baseados no GPS interno do VANT e obtidos a partir do relatório de dados gerado pelo *software PhotoScan*. Observa-se que o erros dos eixos X e Y obtidos na Região 2 (a) são menores que na Região 2 (b), os quais podem ser relacionados com as diferenças de altitude de voo nos dois levantamentos, com 50 m e 80 m respectivamente. No entanto, o eixo Z apresentou maior erro na Região (a), possivelmente relacionados à menor precisão desse eixo Z (altitude) nos GPS de navegação em comparação aos eixos x e y. Segundo Timbó (2000), os seguintes fatores podem afetar a precisão da posição (X, Y e Z) dos GPS: disposição geométrica da constelação de satélites; técnica e sinal utilizado na medição; efeitos atmosféricos; precisão das efemérides; rotação da Terra; entre outros.

Tabela 1 Erro médio de posição das imagens total e parcial dos eixos x, y e z, baseado no GPS interno do VANT e obtido no relatório de dados do programa *Photoscan*.

Aerolevantamento	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro total (m)
Região 01	0,3848	0,2362	0,2559	0,5189
Região 02 (a)	0,2020	0,2754	0,4020	0,5275
Região 02 (b)	0,2508	0,3235	0,2442	0,4766

Na Tabela 2 são apresentados os erros de cada ponto obtido para o georreferenciamento da imagem. O RMSE (Root Mean Square Error) foi de 1,6829 m. Estes resultados indicam que para esse tipo de levantamento e equipamento, o GPS de navegação apresenta baixa precisão no georreferenciamento com pontos de controle terrestre, tendo em vista a resolução espacial final obtida (cerca de 3 cm) e os baixos erros encontrados.

Tabela 2 Erro médio parcial e total de posição dos pontos de controle, aferidos com GPS Garmin GPSMAP 76CSx.

Pontos de controle	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro total (m)
1	1,6740	1,1523	2,0322
2	-0,6338	-0,4749	0,7920
3	0,9397	0,7045	1,1745
4	0,4317	0,0396	0,4335
5	-2,4116	-1,4214	2,7993

5.2. Aferição de distâncias na Região 01

A Tabela 3 confronta medições realizadas na Região 01 a fim de verificar a correspondência entre distâncias obtidas no ortomosaico georreferenciado com medidas obtidas com auxílio de fita métrica na área de interesse. A Figura 8 apresenta no ortomosaico os locais de aferição dessas medidas.

Em todas as distâncias confrontadas, os desvios apresentados ficaram abaixo do erro total (<0,52m; Tabela 1) para essa região mapeada, demonstrando alto nível de

correspondência entre essas distâncias e a precisão do georreferenciamento realizado pelo GPS integrado da plataforma. Casemiro e Pinto (2014), em estudo semelhante, realizaram a mesma metodologia de aferição de distâncias, confrontando distâncias obtidas em ortomosaicos gerados por VANT com as obtidas em *softwares* da Google (*Google Maps e Google Earth*) e obtiveram correspondência entre as medições aferidas.

Tabela 3: Correspondências entre distâncias aleatórias do ortomosaico em relação às obtidas por fita métrica na Região 01.

Rótulo	Medidas	Fita métrica (m)	Fita métrica virtual (m)	Diferença (m)
1	Entre calçadas	40,65	40,62	0,03
2	Largura do telhado	10,55	10,65	-0,10
	Comprimento do telhado	16,40	16,79	-0,39
3	Largura do telhado	8,40	8,51	-0,11
	Comprimento do telhado	12,25	12,52	-0,27



Figura 8: Linhas de aferição de distâncias na Região 01.

5.3. Mosaicos obtidos

Os ortomosaicos resultantes do aerolevanteamento da Região 01 e Região 2 (a) e (b) encontram-se na Figura 9, 10 e 11, respectivamente.

No aerolevanteamento da Região 01 foram capturadas 14 imagens dispostas em 2 faixas de voo. O tempo total de voo foi equivalente a cerca de 3 minutos e 30 segundos, com o tempo de captura médio entre fotos de 10 segundos. Uma das desvantagens dessa tecnologia, frente aos sistemas convencionais de mapeamento, é a baixa autonomia de voo dessa plataforma, em especial os de asa móvel (multirotores), em função do número de motores. Para mapeamentos de grandes áreas, pode ser necessário segmentar o plano de voo, a fim de recarregar a bateria ou substituí-la.

Desse tempo total de voo, 66% foi gasto com a atividade de captura das fotos, desde a captura da primeira e última foto. Isso demonstra que 34% do tempo da missão foi gasto com a decolagem, aterrissagem e o “caminhamento” da plataforma até o primeiro ponto da faixa inicial, e volta ao ponto de decolagem. Em cenários onde o objetivo é gerar mosaicos de grandes áreas e a carga da bateria é um fator limitante, esse tempo de valor não agregado pode ser diminuído com a decolagem da plataforma próxima ao ponto inicial de recobrimento, possível de ser conhecida pelo plano de voo.

A resolução espacial obtida para o mosaico ortorretificado da Região 01 correspondeu a 2,67 cm por pixel (70 m), enquanto que na Região 2 (a) e (b) foi de 2,30 (50 m) e 3,59 cm (80 m) por pixel, respectivamente. Diferentes equipamentos (VANTs) para este uso permitem resoluções espaciais diferenciadas, dependendo principalmente da altitude de voo como também dos sensores utilizados. Al-Rawabdeh et al. (2015) utilizando o VANT *Phantom 2* equipado com câmera *Gopro Hero3 black edition*, obtiveram resolução espacial de 5 cm. PEREIRA e TAMAMARU (2013) confeccionaram imagens ortorretificadas na resolução espacial de 15 cm, através do VANT modelo Tiriba (AGX, São Carlo – SP, 2011).

Já os satélites orbitais de alta resolução espacial como IKONOS II (EUA), ALOS/PRISM (Japão), Geoeye-1 (EUA), WorldView-2 (EUA) e EROS (serie B – Israel) permitem a aquisição de imagens com resolução espacial equivalente a 3,2 m, 2,5 m, 1,65 m, 1,84 e 0,7 m, respectivamente (RUDORFF et al, 2009). Com respeito a isso, as imagens obtidas pelo VANT, para todos os ortomosaicos gerados nesse estudo, apresentaram resolução espacial superior a esses sistemas orbitais de obtenção de imagem de alta resolução. Segundo JORGE e INAMASU (2014), essa vantagem técnica torna a classe de VANTs interessante para mercados que necessitam de imagens com resolução superior às imagens de satélite, como exemplo, na agricultura e silvicultura de precisão. É válido salientar que a resolução espectral das imagens obtidas tanto em satélites orbitais como de VANTs esta em função dos tipos de sensores acoplados nessas plataformas.

Conforme observado nas Figuras 12 e 13 o nível de sobreposição obtida na Região 01 (até 7 fotos) foi inferior em relação à Região 02 (a) e (b) (maior que 9 fotos, em ambos). Isso ocorre em função do número de faixas de voo nesse levantamento ser inferior aos demais. Em todos os produtos obtidos, os níveis demonstram-se elevados na parte central do mosaico, devido ao maior número de fotos sobrepostas nessa área, proporcionando uma maior qualidade nessa região em relação às extremidades. Segundo CASEMIRO e PINTO (2014), quanto mais alto o nível de sobreposição das imagens, mais redundante é a nuvem de pontos gerada para obtenção do mosaico, reduzindo problemas de imperfeições encontradas nas extremidades durante o processamento das ortofotos, que estão frequentemente associados a regiões com baixa sobreposição. Observaram-se falhas (buracos), localizadas nas extremidades, em todos os ortomosaicos gerados nesse estudo, corroborando tal afirmação.

A Figura 9 indica a cobertura obtida nos três levantamentos. Observa-se a ocorrência das falhas nos três levantamentos, os quais representam X e Y e Z, respectivamente. Nesta figura, ainda podem ser observados erros em pequenas porções próximo das áreas centrais, possivelmente relacionados à presença de vento e o movimento da copa das árvores que dificultam o processamento dos ortomosaicos, especialmente na localização dos pontos homólogos. Algumas pequenas porções da imagem são corrigidas pelo próprio programa durante o processamento (ETAPA 04).

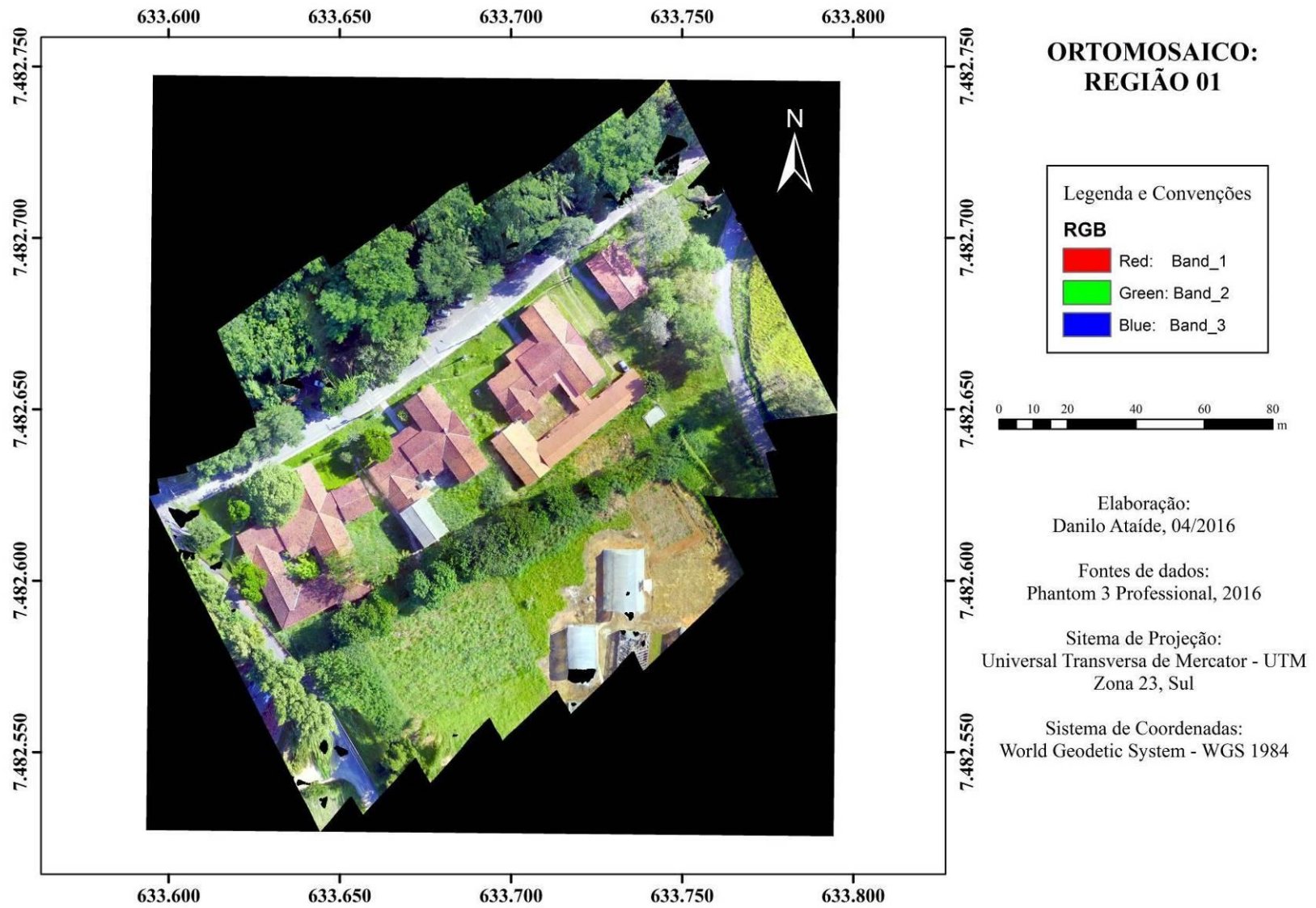


Figura 9: Ortomosaico da Região 01.

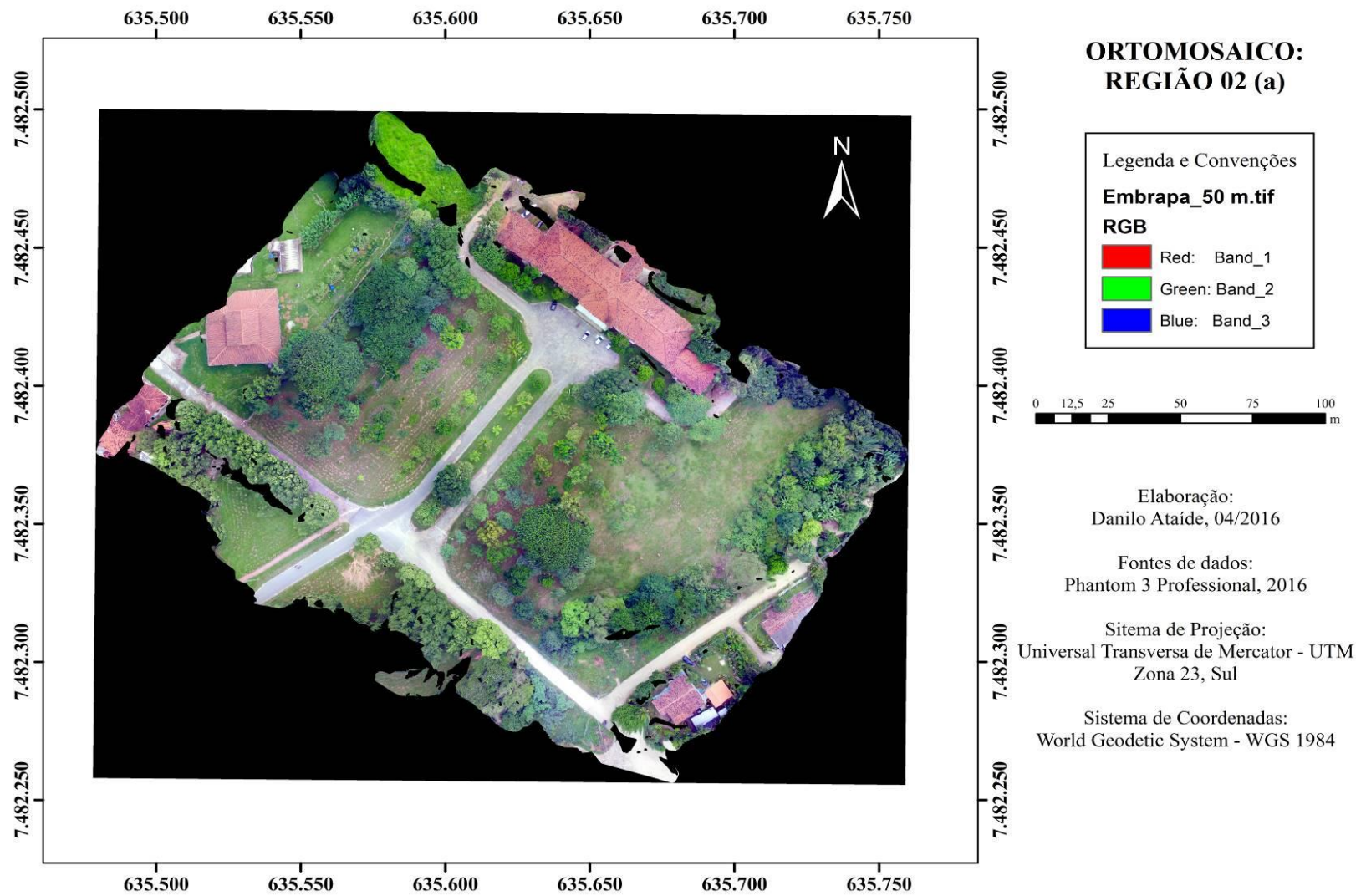


Figura 10: Ortomosaico da Região 02 (a).

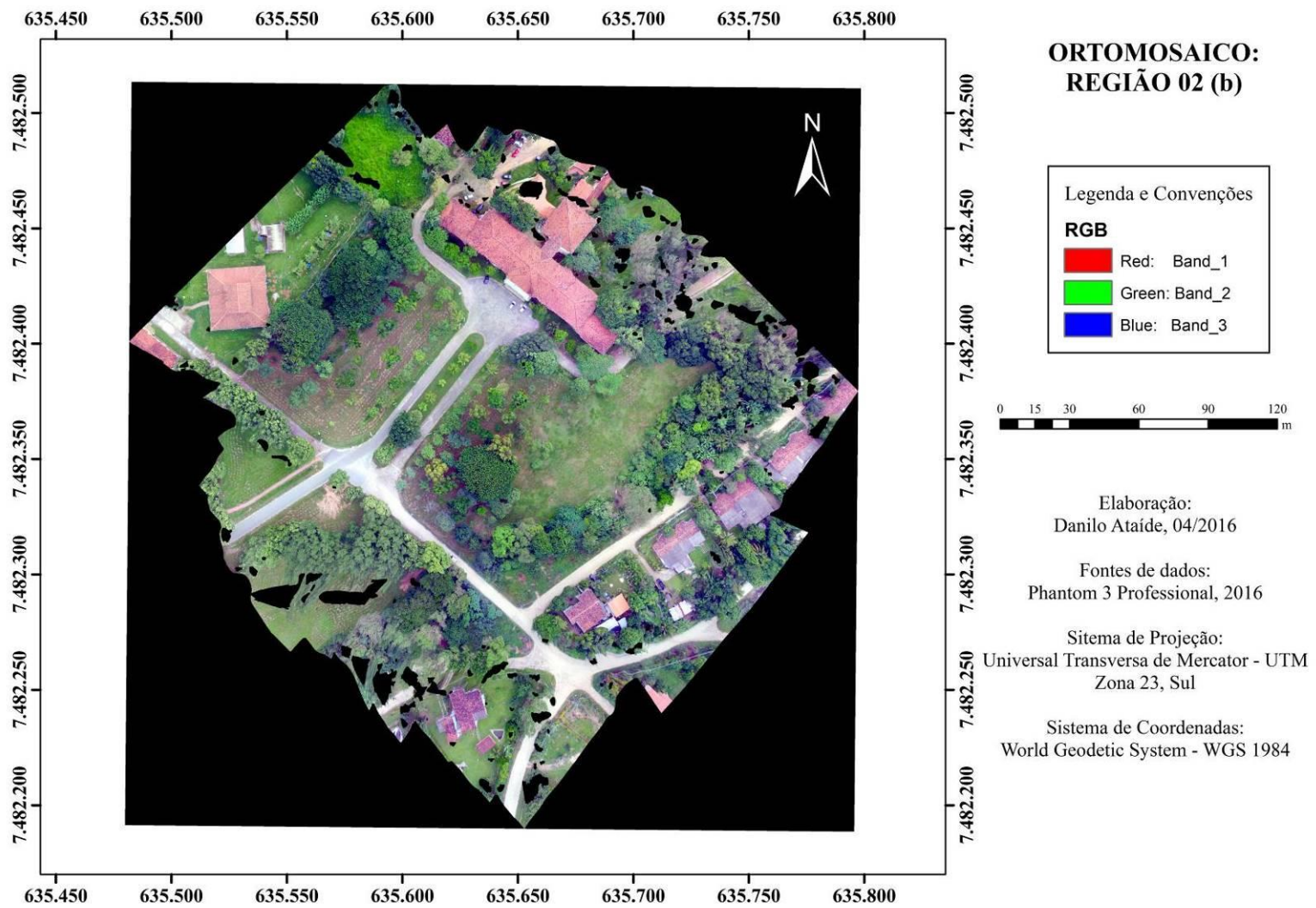


Figura 11: Ortomosaico da Região 02 (b).

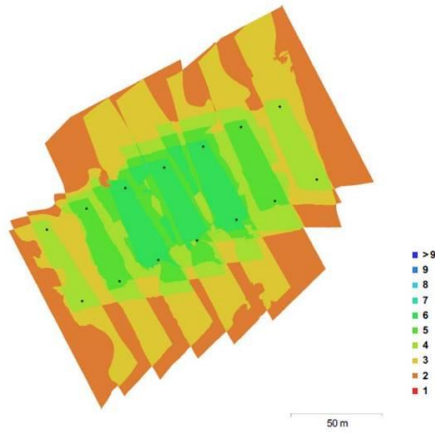


Figura 12: Densidade de fotos e nível de sobreposição para geração do ortomosaico - Região 01.

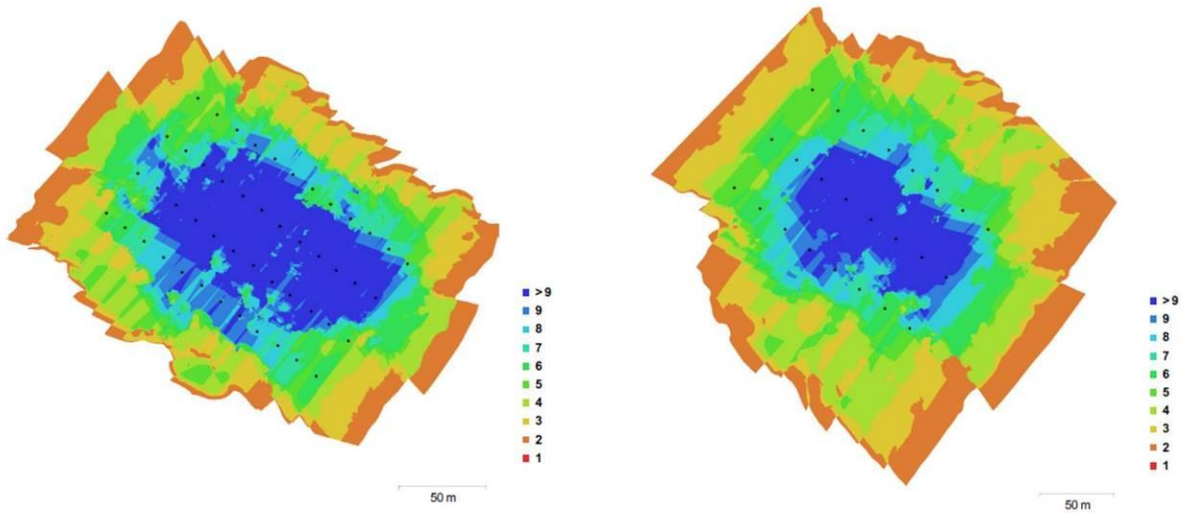


Figura 13: Densidade de fotos e nível de sobreposição para geração do ortomosaico - Região 02 (a) e (b).

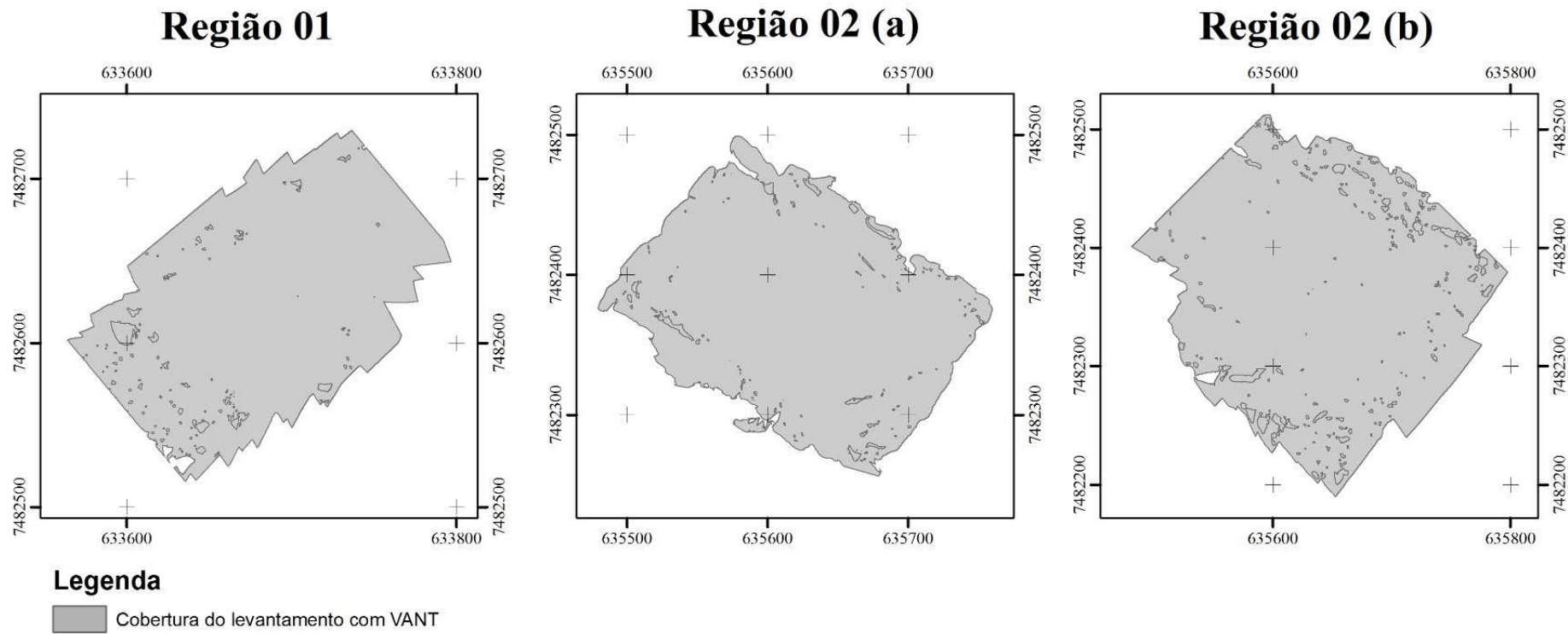


Figura 14: Cobertura obtida a partir de levantamento aéreo nas áreas de estudo.

5.4. Uso e cobertura do solo

Como pode ser observado nas Tabelas 4 e 5, a Região 01 e Região 02 (b) apresentaram 5 classes de classificação do uso e cobertura do solo, distinguindo-se apenas uma classe entre elas, por meio da inclusão de arbustos e palmeiras na Classe 2. A predominância nessa área mapeada da Região 01 é de áreas abertas com a presença de gramíneas, equivalente a 45,6% da área total, essa apresentando cerca de 2,6 hectares. A Região 2 (b) apresentou resultado inferior para essa classe, equivalente a 39 % da área total mapeada, com região de recobrimento total de 5,7 hectares. Tal fato, somado a proximidade dos valores de uso do solo encontrado pelas Classes 2, 3 e 4 nas duas regiões, demonstra o nível de antropização das duas Regiões estudadas, áreas destinadas ao estudo e pesquisa acadêmica. No entanto, é possível observar na Classe 2, para ambas as regiões mapeadas, alto índice de arborização nessas áreas, essas assumindo valores equivalentes a 33,7% para Região 01 enquanto que para Região 2 foram encontrados valores superiores, equivalentes à 39%. Zhou e Troy (2008) demonstram que em estudos cujo objetivo é obter mapeamento de áreas com alto índice de heterogeneidade (áreas urbanas), as imagens de satélite orbitais que apresentam média resolução espacial são insuficientes para análise da cobertura do solo, uma vez que podem existir feições cuja dimensão física são menores que a cobertura pela área de um pixel, menor componente de uma imagem. As Figuras 15 e 16 apresentam a distribuição espacial das tipologias encontradas nesse estudo. Como pode ser observado, o alto nível de detalhamento desses mapas permitiram a composição da classe representada pela copa das árvores, refinando o método de classificação do uso do solo para essa classe. Segundo SILVA et al (2014) além do mais alto nível de detalhamento (resolução espacial muito alta), o uso de VANTs permite ainda a possibilidade de realizar mapeamentos mesmo em dias nublados e com alta incidência de nuvens, com resolução temporal definida de acordo com a necessidade permite monitoramentos do comportamento das paisagens em menores intervalos de tempo, com maior robustez do que sistemas convencionais de média resolução temporal e espacial.

Tabela 4: Área absoluta e relativa do uso e cobertura do solo da Região 01.

Classe	Uso e cobertura	Área (m ²)	Área relativa (%)
1	Áreas abertas com Gramíneas	12.003,40	45,6
2	Copa das árvores	8.888,95	33,7
3	Construções	3.268,59	12,4
4	Ruas	1.816,26	6,9
5	Estufas	364,00	1,4
Total		26.341,20	100

Tabela 5: Área absoluta e relativa do uso e cobertura do solo da Região 02.

Classe	Uso e cobertura	Área (m ²)	Área relativa (%)
1	Copa das árvores	23.583,90	41,2
2	Áreas abertas com gramíneas, palmeiras e arbustos	22.296,56	39,0
3	Ruas e estacionamentos	6.171,04	10,8
4	Construções	4.994,51	8,7
5	Estufas	146,93	0,3
Total		57.192,94	100

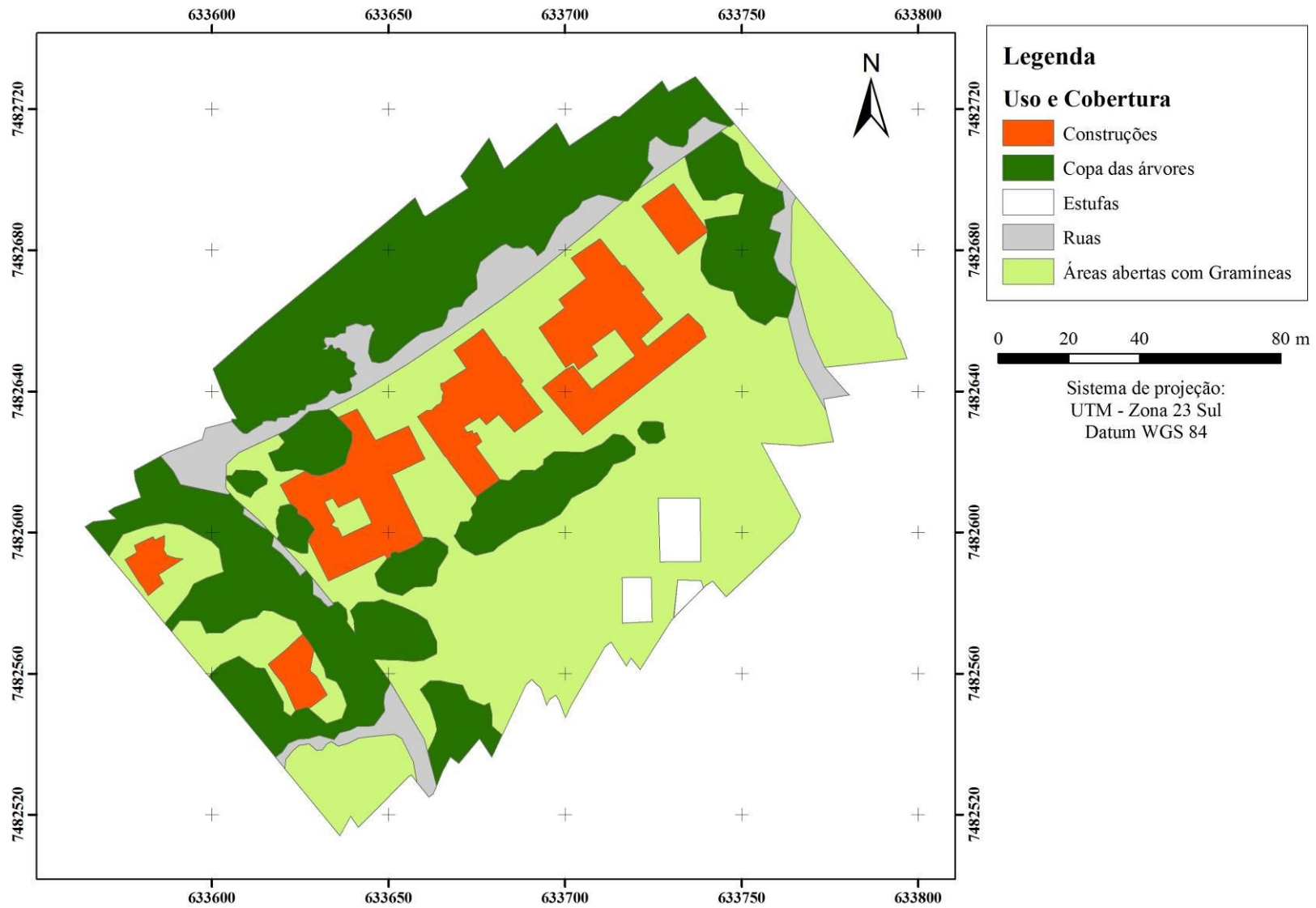


Figura 15: Uso e cobertura do solo da Região 01.

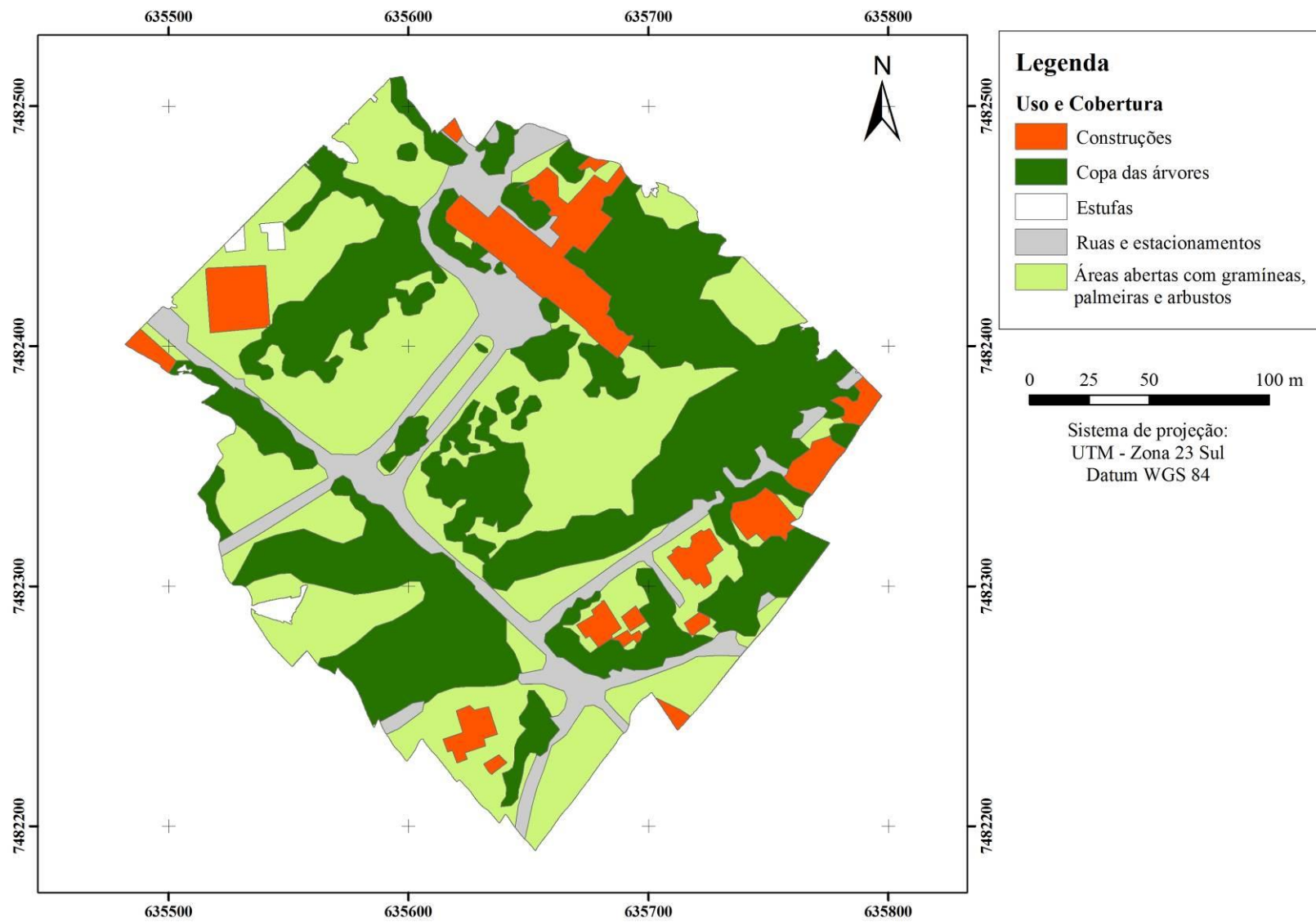


Figura 16: Uso e cobertura do solo da Região 02.

5.5. Modelos 3D da paisagem

As Figuras 17, 18, 19 e 20 apresentam os modelos tridimensionais da Região 1, Região 2 (a), Região 2(b) e também, do modelo gerado a partir das fotos obtidas da Região 02, nas altitudes 50 e 80 m. Para todos os modelos gerados foram identificados problemas com sobreposição nas extremidades, em diferentes intensidades. Como pode ser observado nas Figuras 18 e 19, as extremidades desses modelos apresentam alto índice de falhas nos objetos, principalmente em altitude, como é o caso da copa das árvores. No entanto, isso pode ser corrigido com uma maior varredura de fotos aumentando a densidade da nuvem de pontos, conforme observado na Figura 20, gerando um modelo tridimensional com maior acabamento.

A possibilidade de criar uma nuvem de pontos fotogramétricos por meio de imagens digitais e consequente modelos tridimensionais permite grandes aplicações, principalmente no âmbito florestal, como exemplo, a medição da altura e volume de indivíduos e povoamentos arbóreos. Sperlich et al. (2014), confrontando dados obtidos com LiDAR, por meio do uso de uma câmera fotográfica *Panasonic Lumix G3* acoplado no VANT, concluiu que os resultados foram promissores na detecção e mensuração da altura de árvores, indicando que a utilização de nuvem de pontos obtidas por câmera digital pode ser uma adição adequada à varredura a laser para medir atributos florestais.

Além disso, a possibilidade de se obter modelos tridimensionais da paisagem apresenta um novo nível na tomada de decisões, baseadas em mapas tridimensionais fidedignos da realidade, conforme o observado nos produtos realizados nesse estudo.

É válido ressaltar que a capacidade de processamento do *hardware* é um fator limitante na obtenção desses modelos, uma vez que exige um alto desempenho do processador. O processamento desses modelos foi a etapa que mais demandou tempo quando comparado as outras etapas do *workflow*.

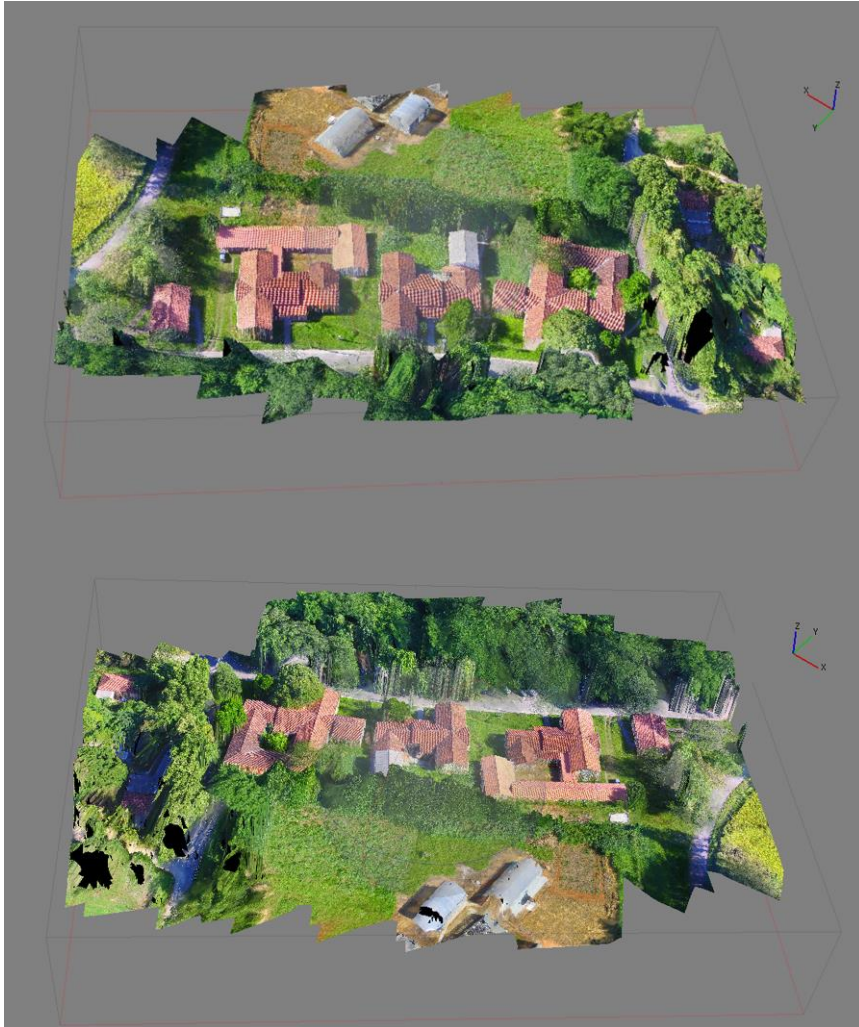


Figura 17: Modelo em 3 Dimensões da Região 01.

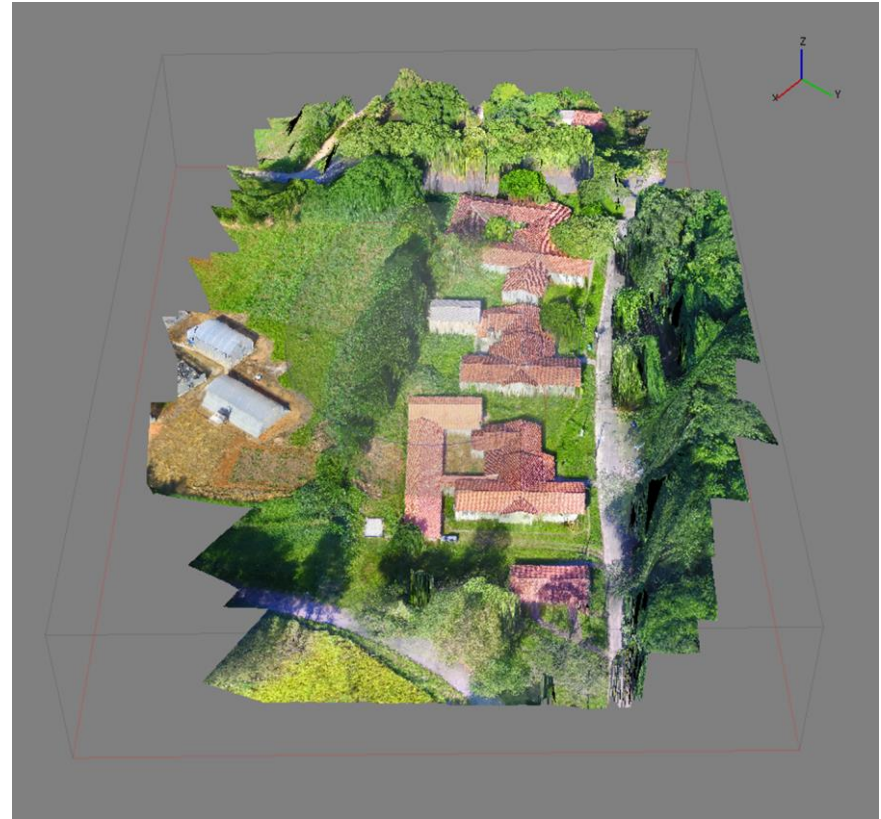




Figura 18: Modelo em 3 dimensões da Região 2 (a)



Figura 19: Modelo em 3 dimensões da Região 2 (b).



Figura 20: Modelo em 3 dimensões da Região a + b.

6. CONCLUSÕES

A utilização do VANT *Phantom 3 Professional* aliado a ferramenta de processamento *PhotoScan* permitiu a obtenção de imagens ortorretificadas com alta resolução espacial e precisão, necessária para os estudos do uso e cobertura do solo utilizando feições da paisagem num maior nível de detalhamento.

Além disso, a obtenção de modelos tridimensionais por meio de ortofotos geradas por VANT é viável, sinalizando potencialidades de uso na mensuração florestal, configurando-se como uma nova alternativa frente aos sistemas embarcados e terrestres de LiDAR, de custo mais elevado.

A autonomia de voo dos VANTs multirotores, ainda é um fator limitante no mapeamento de áreas médias e grandes, devendo ser utilizadas estratégias que maximizem a energia disponível e permitam a realização do mapeamento dessas áreas. O processamento dos dados tridimensionais é limitado pelos requisitos do *hardware* de processamento.

A utilização de micro VANTs em diversos segmentos apresenta-se como uma das grandes inovações da atualidade, e, no âmbito das ciências florestais, mais estudos devem ser desenvolvidos a fim de atingir todas as potencialidades de uso dessa plataforma.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. S.; SANTOS, R. L.; CHAVES, J. M. Mapeamento de Uso e Ocupação do Solo no Município de Jeremoabo-BA: Uso do Algoritmo Máxima Verossimilhança (MAXVER). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., Curitiba. **Anais...** São Paulo: MCT/INPE, 2011. p. 7255-7262.

AL-RAWABDEH, A., et al. Derivation of 3D Point Cloud Using UAV-Based Digital Imaging System for Detecting and Identifying Landslide Scars. In: ASPRS 2015 Annual Conference, 1. Tampa, **Anais...**Florida, 2015. p.4-8.

ARAÚJO FILHO, M. C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 02, p. 171-179, 2007.

ANAC. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial RBCA-E nº 94: Requisitos Gerais para Veículos Aéreos Não Tripulados e Aeromodelos, de 2 de setembro de 2015.

ASP - AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of Photogrammetry**. 3. ed. Madison: American Society of Photogrammetry, 1966. 1220 p.

ASP - AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of Photogrammetry**. 4. ed. Madison: American Society of Photogrammetry, 1979. 1056 p.

BRANDELERO, C.; ANTUNES, M. U. F.; GIOTTO, E. Silvicultura de precisão: nova tecnologia para o desenvolvimento florestal. **Ambiência**, v. 03, n. 02, p. 269-281, 2007.

BRYSON, M. et al. Airborne vision-based mapping and classification of large farmland environments. **Journal of Field Robotics**, v. 27, n. 05, p. 632-655, 2010.

CARVER, A. J. **Manual de Fotografias Aéreas para Planejadores de Uso da Terra**. 1. ed. Brasília: Secretaria de Recursos Naturais/Ministério da Agricultura, 1995. 77 p.

CASSEMIRO, G. H. M., PINTO, H. B. **Composição e processamento de imagens aéreas em alta resolução obtidas com drone**. 2014. 40 f. Monografia (Graduação em Engenharia Eletrônica) – Universidade de Brasília, Brasília.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. 1. ed. Rio de Janeiro: UERJ, 2007. 196 p.

EISENBEISS, H. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PROCESSING AND VISUALIZATION USING HIGH RESOLUTION IMAGERY, Pitsanulok. **Anais...** Thailand, 2004. p. 18-20.

FERREIRA, A. M. R. **Avaliação de Câmara de Pequeno Formato Transportada por Veículo Aéreo não Tripulado – VANT, para Uso em Aerolevantamentos**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de Brasília, Brasília – DF.

FIGUEIREDO, H. V., SAOTOME, O. Modelagem e simulação de veículo aéreo não tripulado (vant) do tipo Quadricóptero usando o simulador x-plane e simulink. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 19., Campina Grand. **Anais...** Paraíba, 2012. p. 2095-2101.

FORNACE, K. M. et al. Mapping infectious disease landscapes: unmanned aerial vehicles and epidemiology. **Trends in Parasitology**, n.11, v. 30, p. 514-519, 2014.

GETZIN, S.; WIEGAND, K.; SCHÖNING, I. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. **Methods in Ecology and Evolution**, n. 02, v. 03, p. 397-404, 2012.

GETZIN, S.; NUSKE, R. S.; WIEGAND, K. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. **Remote Sensing**, v. 08, n. 06, p. 6988-7004, 2014.

GONÇALVES, J. L. M; ÁLVARES, C. A. A Silvicultura de Precisão e as Exigências Ambientais. **Visão Agrícola**, v. 15, n. 04, p. 80-82, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Noções Básicas de Cartografia**. 8. ed. Rio de Janeiro: Centro de Documentação e Disseminação de Informações, 1999. 130 p.

IBGE. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. 9. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 92 p.

INOUE, T. et al. Unmanned aerial survey of fallen trees in a deciduous broadleaved forest in eastern Japan. **Plos One**, n.10, v. 09, p. 1-7, 2014.

IWAI, O. K. **Mapeamento do uso do solo urbano no município de São Bernardo do Campo, através de imagens de satélites**. 2003. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C. et al. **Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar**. 1. ed. Brasília, DF : Embrapa, 2014. Cap 08, p. 109-134.

LEWIS, S. Use of Geographical Information Systems in Transportation Modeling. **ITE Journal**, v. 01, n. 01, p. 34-38, 1990.

LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes – Geoprocessamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

LUNDQVIST, R. Vants encontram madeira derrubada pelo vento. **Just Forest**, Suécia, n. 01, p. 18-19, 2014.

- MEDEIROS, F. A. et al. Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 08, p. 2375-2378, 2008.
- MERINO, L. et al. An Unmanned Aircraft System for automatic forest fire monitoring and measurement. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 65, n. 04, p. 533-548, 2012.
- MORGAN, J.L.; GERGEL, S.E.; COOPS, N.C. Aerial photography: a rapidly evolving tool for ecological management. **BioScience**, v. 60, n. 01, p. 47-59, 2010.
- PANEQUE-GÁLVEZ, J. et al. Small drones for community-based forest monitoring: an assessment of their feasibility and potential in tropical areas. **Forests**, v. 06, n. 05, p. 1481-1507, 2014.
- RIBEIRO, C. A. A. S. Floresta de Precisão. In: MACHADO, C. C. Colheita Florestal. Viçosa: UFV, 2002. p. 311-335.
- ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v.16, n.01, p. 81-90, 2005.
- RUDORFF, B. F. T., MELLO, M. P., SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélite de sensoriamento remoto no Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 2., Corumbá. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2009, p.1077-1083.
- SILVA, D. C. et al. Qualidade de ortomosaicos de imagens de VANT processados com os softwares APS, PIX4D e PhotoScan. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DE GEOINFORMAÇÃO, 5., Recife. **Anais...**Recife: UFPE. 2014. p.747-754.
- TEMBA, P. Fundamentos da Fotogrametria. Departamento de Cartografia da UFMG, 2000. Disponível em:
<http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/815/fotogrametria_material_01.pdf>.
Acesso em: 22 maio 2016.
- VETTORAZZI, C.A.; FERRAZ, S.F.B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIRÓZ, D.M. de; et al. (Ed.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Os autores, 2000. p.65-75.
- WATTS, A. C. et al. Small Unmanned Aircraft Systems for Low-Altitude Aerial Surveys. **Journal of Wildlife Management**, v.74, n. 07, p. 1614-1619, 2010.
- WOLF, P. R. **Elements of photogrammetry**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1983. 626 p.
- WOLF, P.; DEWITT, B.; WILKINSON, B. **Elements of Photogrammetry: with applications in GIS**. 3. ed. New York: McGraw-Hill., 2000. 608 p.
- ZHOU, W., TROY, A. An object-oriented approach for analysing and characterizing urban landscape at the parcel level. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n.11, p. 3119-3135, 2008.

ANEXOS

- **Região 01**

Processing Parameters

Geral	
Câmaras	14
Aligned cameras	14
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)
Nuvem de Pontos	
Pontos	9,179 of 9,621
RMS reprojection error	0.10959 (0.621557 pix)
Max reprojection error	0.329555 (15.999 pix)
Mean key point size	4.49975 pix
Sobreposição efetiva	2.14572
Parâmetros de alinhamento	
Precisão	Elevada
Pré-seleção de pares	Reference
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Restringir características considerando as máscaras	Não
Matching time	1 minutes 10 seconds
Alignment time	3 seconds
Dense Point Cloud	
Pontos	5,415,385
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Aggressive
Tempo de processamento	20 seconds
Modelo	
Faces	353,310
Vértices	177,705
Texture	4,096 x 4,096, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Aggressive
Número de faces	361,021
Tempo de processamento	34 seconds
Parâmetros de texturização	
Modo de mapeamento	Ortofoto
Modo de combinação	Mosaico
Texture size	4,096 x 4,096
UV mapping time	3 seconds
Blending time	16 seconds
DEM	
Tamanho	4,673 x 4,548
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)
Parâmetros de reconstrução	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Orthomosaic	
Tamanho	7,531 x 8,256
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)
Channels	3, uint8
Modo de combinação	Mosaico
Parâmetros de reconstrução	
Surface	Mesh
Enable color correction	Não

- Região 2 (a)

Processing Parameters

Geral	
Câmaras	48
Aligned cameras	48
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)
Nuvem de Pontos	
Pontos	40,033 of 43,117
RMS reprojection error	0.18852 (0.43481 pix)
Max reprojection error	0.62323 (20.2128 pix)
Mean key point size	2.3246 pix
Sobreposição efetiva	2.54855
Parâmetros de alinhamento	
Precisão	Highest
Pré-seleção de pares	Generic
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Restringir características considerando as máscaras	Não
Matching time	4 minutes 13 seconds
Alignment time	12 seconds
Optimization parameters	
Parâmetros	f, cx, cy, k1-k3, p2: {1?}, p2: {2?}
Optimization time	1 seconds
Dense Point Cloud	
Pontos	5,162,714
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Média
Depth filtering	Aggressive
Tempo de processamento	45 seconds
Modelo	
Faces	344,179
Vértices	174,204
Texture	4,096 x 4,096, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Surface type	Arbitrário
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Média
Depth filtering	Aggressive
Número de faces	344,180
Tempo de processamento	13 minutes 49 seconds
Parâmetros de texturização	
Modo de mapeamento	Ortofoto
Modo de combinação	Mosaico
Texture size	4,096 x 4,096
UV mapping time	2 seconds
Blending time	25 seconds
DEM	
Tamanho	3,433 x 2,960
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)
Parâmetros de reconstrução	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Orthomosaic	
Tamanho	12,218 x 10,536
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)
Channels	3, uint8
Modo de combinação	Mosaico
Parâmetros de reconstrução	
Surface	Mesh
Enable color correction	Não

- Região 2 (b)

Processing Parameters

Geral	
Câmaras	24
Aligned cameras	24
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)
Nuvem de Pontos	
Pontos	21,943 of 23,443
RMS reprojection error	0.187931 (0.457877 pix)
Max reprojection error	0.634047 (12.1827 pix)
Mean key point size	2.39014 pix
Sobreposição efetiva	2.43817
Parâmetros de alinhamento	
Precisão	Highest
Pré-seleção de pares	Generic
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Restringir características considerando as máscaras	Não
Matching time	1 minutes 46 seconds
Alignment time	3 seconds
Optimization parameters	
Parâmetros	f, cx, cy, k1-k3, p2: {1?}, p2: {2?}
Optimization time	0 seconds
Dense Point Cloud	
Pontos	2,965,806
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Média
Depth filtering	Aggressive
Tempo de processamento	17 seconds
Modelo	
Faces	192,572
Vértices	97,057
Texture	4,096 x 4,096, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Média
Depth filtering	Aggressive
Número de faces	197,717
Tempo de processamento	6 seconds
Parâmetros de texturização	
Mdo de mapeamento	Ortofoto
Mdo de combinação	Mosaico
Texture size	4,096 x 4,096
UV mapping time	1 seconds
Blending time	18 seconds
DEM	
Tamanho	2,678 x 2,675
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)
Parâmetros de reconstrução	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Orthomosaic	
Tamanho	8,792 x 8,968
Coordinate system	WGS 84 (EPSG:4326)
Channels	3, uint8
Mdo de combinação	Mosaico