

USO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (ARPS) NA ELABORAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS PARA AUXILIAR NA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA

USE OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (RPAS) IN THE ELABORATION OF THREE-DIMENSIONAL MODELS TO ASSIST IN GEOMORPHOLOGICAL CARTOGRAPHY

USO DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS) EN LA ELABORACIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES PARA AUXILIAR EN LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA

ANNA CAROLINA BARCELOS ¹
JEAN ROGER BOMBONATTO DANELON ²
SILVIO CARLOS RODRIGUES ³

¹ Discente de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.
E-mail: barceloscarolina@hotmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5461-4508>

² Discente de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.
E-mail: jean.geoufu@yahoo.com.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0570-2151>

³ Professor Titular do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.
E-mail: silgel@ufu.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5376-1773>

RESUMO

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) são consideradas uma ótima ferramenta para aquisição de imagens de alta resolução, com periodicidade flexível e de baixo custo. Essas particularidades do equipamento têm expandido o uso dessa ferramenta em especial na atualização e produção de mapas. Os ARPs trazem grandes benefícios para o estudo do relevo, sendo de grande valor não só para a Geomorfologia, mas da mesma forma para outras Ciências da Terra que aliam seus estudos com os componentes da superfície terrestre. Inúmeras pesquisas podem fazer uso dessa tecnologia, a partir da evolução dos processos de aquisição de imagens e dos softwares disponíveis no mercado, pode-se gerar diversos trabalhos com o propósito de aperfeiçoar os dados cartográficos, especialmente na Geomorfologia. Neste sentido, o artigo objetivou-se pela necessidade de discutir o avanço do uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas na obtenção de imagens de alta resolução e no desenvolvimento de materiais que possam auxiliar a cartografia geomorfológica.

Palavras-chave: Mapeamento. Geomorfologia. Geotecnologias. Tridimensional.

ABSTRACT

Remotely Piloted Aircraft (RPA) are considered a great tool for acquiring high resolution images, with flexible frequency and low cost. These particularities of the equipment have expanded the use of this tool, especially in the updating and production of maps. The RPAs bring great benefits to the study of relief, being of great value not only for Geomorphology, but also for other Earth Sciences that combine their studies with the components of the terrestrial surface. Numerous researches can make use of this technology, from the evolution of image acquisition processes and software available on the market, several works can be generated with the purpose of improving cartographic data, especially in Geomorphology. In this sense, the article aimed at the need to discuss the advancement of the use of Remotely Piloted Aircraft in obtaining high resolution images and in the development of materials that can help geomorphological cartography.

Keywords: Mapping. Geomorphology. Geotechnologies. Three-dimensional.

RESUMEN

Las Aeronaves Pilotadas por Control Remoto (RPA) son consideradas una gran herramienta para adquirir imágenes de alta resolución, con frecuencia flexible y bajo costo. Estas particularidades del equipo han ampliado el uso de esta herramienta, especialmente en la actualización y producción de mapas. Los RPAs aportan grandes beneficios al estudio del relieve, siendo de gran valor no solo para la Geomorfología, sino también para otras Ciencias de la Tierra que combinan sus estudios con los componentes de la superficie terrestre. Numerosas investigaciones pueden hacer uso de esta tecnología, a partir de la evolución de los procesos de adquisición de imágenes y software disponibles en el mercado, se pueden generar varios trabajos con el propósito de mejorar los datos cartográficos, especialmente en Geomorfología. En ese sentido, el artículo apuntó a la necesidad de discutir el avance del uso de Aeronaves Pilotadas por Control Remoto en la obtención de imágenes de alta resolución y en el desarrollo de materiales que puedan ayudar a la cartografía geomorfológica.

Palabras-clave: Cartografía. Geomorfología. Geotecnologías; Tridimensional.

INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil o uso das geotecnologias está presente em inúmeras áreas do conhecimento científico, sendo fundamentais em pesquisas geográficas. No sensoriamento remoto os materiais obtidos através do uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) ou em inglês RPAs - Remotely Piloted Aircraft Systems, apresentam inúmeras vantagens. Esse equipamento pode ser utilizado em diversas aplicações, como na agricultura de precisão, cadastro de propriedades rurais, documentação arqueológica, no monitoramento de áreas degradadas, sistemas de segurança, estudos ambientais e em pesquisas geomorfológicas de detalhe (EISENBEISS, 2009).

Considera-se o uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas uma ótima ferramenta para aquisição de imagens de alta resolução, sendo de baixo custo de produção e manutenção se comparadas com as aeronaves tripuladas. Essas particularidades do equipamento têm expandido o uso dos ARPs, em especial na atualização e produção de mapas, e de modelos tridimensionais, em pequenas ou afastadas áreas onde a aplicação da fotogrametria convencional faz-se com que a realização do trabalho se torne economicamente inviável (PAULA, 2012; LINHARES, 2016; BARCELOS, 2017; 2019).

Com relação à resolução espacial e temporal, os ARPs representam uma quebra de paradigma, determinando novos padrões, o que antes era de difícil acesso, hoje esses equipamentos facilitam a aquisição de imagens de alta qualidade e resolução em um tempo muito reduzido se comparado às imagens de satélite, as quais em sua grande maioria possuem órbitas temporais predefinidas (LONGHITANO et al, 2016). Posto isto, o presente artigo visa discutir o avanço do uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) na obtenção de imagens de alta resolução e no desenvolvimento da cartografia geomorfológica.

A superfície terrestre, é composta de formas de relevo de distintas categorias e táxons, idades e processos genéticos diferentes, embora tais informações não sejam facilmente captadas pelos olhos humanos. A dinamicidade das formas de relevo apresenta velocidades diferenciadas, mostrando-se ora mais instável, ora mais estável. Essa atuação depende por vezes, de elementos naturais e outras de intervenções humanas. A energia do interior do Planeta Terra e a energia externa comandada pela ação da atmosfera terrestre e energia solar são fontes fundamentais que se interagem conjuntamente nos esforços utilizados na elaboração das formas de relevo e estão associadas, seja na composição do embasamento, seja na modelação de seus contornos (ROSS, 1992; ALMEIDA, RIBEIRO 1998; PENHA, 2007; SOUZA, 2008).

A Ciência Cartográfica constitui-se em um relevante instrumento para as Geociências, uma vez que compreende a reprodução do espaço, das muitas variáveis que compõem o plano terrestre, evidenciando múltiplos aspectos análogos a urgência do pesquisador. No contexto da Geomorfologia, segundo Santos et al. (2006), a cartografia geomorfológica é compreendida como um significativo objeto na reprodução do relevo da superfície terrestre que se constitui em uma das principais técnicas de pesquisa e estudo da geomorfologia, tal como para outras finalidades, como o planejamento ambiental e ordenamento do território.

O primeiro conceito de um mapa geomorfológico com detalhes foi apresentado por Passarge (1914), no molde de um Atlas Morfológico, contendo oito mapas, em escala de 1:50.000, mapa de topo-orográfico com vegetação, mapa de declividade das vertentes, das formas de vales, geológico-estratigráfico, de resistência física, de resistência química, petrográfico e o mapa de desenvolvimento do relevo, contendo seus elementos, sua evolução, a estrutura do substrato e sua susceptibilidade ao intemperismo (GUSTAVSSON, 2006).

A cartografia geomorfológica passa a ser adotada como método para a pesquisa básica de geomorfologia a partir dos anos de 1950, sustentando o desenvolvimento da disciplina na qualidade de corpo teórico e conhecimento aplicado as questões práticas. O mapeamento geomorfológico que se conhece teve seu início em 1950 na Polônia. Posteriormente os mapas

geomorfológicos em outros países, passaram a ser utilizados em zoneamentos ecológicos, econômicos e agrícolas, além de apoiar os estudos teóricos da paisagem (GELLERT, 1972).

Na contemporaneidade, a Cartografia Geomorfológica recebeu notáveis contribuições através do avanço tecnológico. As atuais tecnologias, embasadas no Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, oferecem à Geomorfologia meios importantes para a conquista de diversas pesquisas. Desse modo, a cartografia geomorfológica desponta como base essencial das pesquisas geomorfológicas, a partir da construção de cartas e /ou mapas geomorfológicos, possibilitando demonstrar espacialmente os dados (morfologia, morfometria, morfogênese e morfocronologia) que compõe o relevo, sendo esse, o instrumento de pesquisa da geomorfologia.

AS GEOTECNOLOGIAS E A GEOMORFOLOGIA

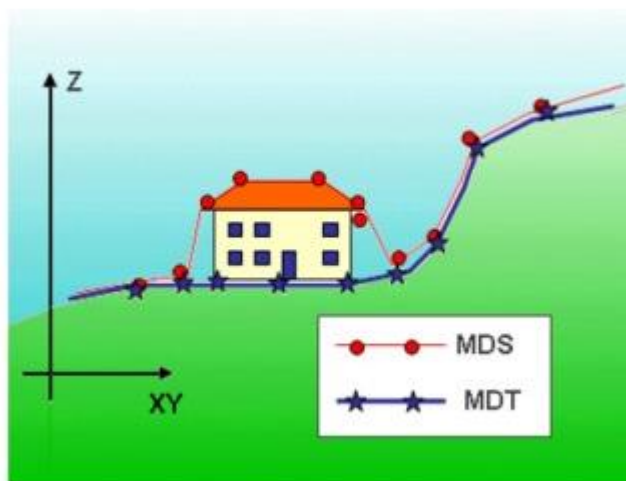
Similarmente conhecidas como "geoprocessamento", as geotecnologias são a união de tecnologias para coleta, processamento, avaliação e oferta de dados com informações geográficas. As geotecnologias são compostas por resultados em software, hardware e peopleware que reunidos compõe importantes ferramentas para escolha da melhor aplicação. No Brasil o uso das geotecnologias é recorrente em diversas áreas do conhecimento científico, tornando-se indispensável em pesquisas geográficas, destacando sua grande importância no mapeamento geomorfológico. Dentre as geotecnologias podemos enfatizar: cartografia digital, sensoriamento remoto, topografia, sistemas de informação geográfica (SIGs) e o sistema de posicionamento global (GPS) (ROSA, 2005; SOUZA, 2017).

Segundo Argento (2007) a geomorfologia apresenta característica multidisciplinar, ao servir de apoio para o entendimento das estruturas espaciais, tanto em relação à natureza física dos fenômenos, como também à natureza socioeconômica dos mesmos. Os mapeamentos de base geomorfológica têm sido priorizados em projetos de gerenciamento ambiental, acompanhados em alguns casos de legendas que servem de auxílio para tomadas de decisões ou também na gestão do território.

Nas imagens aéreas e fotografias aéreas o relevo é representado de forma bem destacada, através da disponibilidade de dados multitemporais, que propiciam a investigação dos processos morfodinâmicos, a cartografia geomorfológica pode ser considerada uma das áreas da ciência mais beneficiadas pela tecnologia de sensoriamento remoto, potencializando seus horizontes à medida que se desenvolve as tecnologias (FILHO, 2016).

O desenvolvimento tecnológico é um fator indispensável quando relacionado à produção de atuais fontes de informações cartográficas, uma vez que as recentes coletas de dados topográficos advêm das técnicas atreladas ao Sensoriamento Remoto. Pode-se destacar dentre estas fontes o Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE), os quais representam uma opção de alto interesse para complementar a carência de mapas (BARCELOS, 2017). Segundo Cruz et al (2011), os MDEs representam a superfície do terreno podendo ser acrescentado quaisquer objetos presentes sobre essa superfície e que induzam no valor da reflectância do pixel. Se nessa superfície existir construções e árvores, a superfície moldada refere-se ao topo delas. Em compensação, os MDTs equivalem a superfície real do terreno (Figura 1).

Figura 1 - Diferença entre Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital do Terreno.



Fonte: Droneng, 2016.

As terminologias mencionadas correspondem à obtenção, processamento e uso de dados digitais para a construção de modelos que reproduzam, graficamente, o relevo e as demais particularidades do terreno. Doyle (1978) determinou os modelos como sendo arranjos ordenados de números, que reproduzem a distribuição espacial das propriedades do terreno. Essa distribuição na maioria das vezes é representada pela latitude e longitude ou por um sistema e coordenadas retangulares. O aspecto do terreno pode representar tanto a variável altitude como qualquer outra que se apresenta distribuída no espaço.

Esses modelos digitais possuem diversas aplicações na geomorfologia, com a elaboração de mapas de curvatura; diagnósticos da rede hidrográfica, na delimitação automática de bacias e microbacias e de áreas inundadas; pode-se analisar também em diferentes ângulos perfis topográficos, longitudinais (rios), a área em estudo, realizar correção radiométrica e geométrica de imagens de sensoriamento remoto (FELGUEIRAS, 1997; CARVALHO et al., 2003; CARVALHO & LATRUBESSE, 2004).

A cartografia temática nas últimas décadas, adquiriu numerosos avanços em relação a automatização do desenho cartográfico, o que tornou o procedimento de mapeamentos uma atividade rápida e dinâmica. Pode-se observar isto com a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) que são capazes de desempenhar processamentos de dados gráficos e não gráficos voltados para análises espaciais e modelagens ambientais. (ROSA, 2007).

Assim, abre-se lugar para destacar a utilização de SIG's e Geoprocessamento no contexto das análises em Geomorfologia, visto que contribuem expressivamente para o desenvolvimento dos estudos nesse âmbito do conhecimento, que segundo Silva e Rodrigues (2009, p.86):

revela-se como um aparato fundamental para estudos ambientais e sociais, no que tange ao planejamento e gestão do território. As relações entre o meio físico e o humano a partir do estudo do relevo é de suma importância, pois este elemento é capaz de conduzir, propiciar e condicionar as atividades humanas.

No Brasil a forma mais usual de se referir a uma aeronave que não leva a bordo uma tripulação é definida como sendo, Aeronave Remotamente Pilotada (ARPs). A expressão vem do termo em inglês, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), esse termo se tornou popular no início dos anos 1990 e foi adotado para substituir o termo Remotely Piloted Vehicle (RPV), usado durante e após a guerra no Vietnã (NEWCOME, 2004).

Atualmente os ARPs são utilizados em diversas aplicações, sendo consideradas aeronaves pilotadas por meio do uso de controle remoto, GPS ou rádio frequência. Suas aplicações se prolongam desde o monitoramento ambiental, mapeamento de áreas específicas, monitoramento de impactos ambientais, mapeamento de sítios arqueológicos, controle de doenças e infestações de insetos, pulverização e outras aplicações na agricultura, gestão pública, controle de número de animais e sua migração, filmagem, aerofotogrametria, entre outras, de acordo com suas diversas características vantajosas, como exemplo, sua capacidade de mover-se em um distância relevante com grande segurança em pouco tempo, reduzindo os custos e na obtenção de imagens em dias nublados (SIMPSON, 2003; DE GARMO, 2004; LONGHITANO, 2010; GARCIA-RUIZ et al. 2013; PEGORARO et al. 2013; LEITE et al., 2012; RODRIGUES, 2014; BARCELOS, 2019).

Nos dias de hoje, existem no mercado uma grande variedade de modelos de ARPs, com especificidades e distintas finalidades. Os ARPs são classificados de acordo com suas características técnicas (Tabela 1), como exemplo, material utilizado em sua fabricação, peso, dimensão, aerodinâmica, execução de voo, duração do tempo de voo entre outras (ANGELOV, 2012).

Tabela 1 – Classificação dos ARPs

Categoria	Descrição	Velocidade	Valor
Asa - fixa	Aviões não tripulados com asa fixa, que precisam de uma pista de decolagem e de pouso, ou de uma catapulta para lançamento.	Possui voos de longa duração e pode voar a alta velocidade de cruzeiro.	R\$ 50.000 à R\$ 250.000*
Asa-Rotativa	Aviões que possuem asas rotativas, decolagem e aterrissagem vertical e tem a habilidade de pairar no ar e de execuções de manobras.	Possui aspecto de um helicóptero convencional, motores de eixos variando em quatro, seis, oito ou denominados de multimotores e ou drones.	R\$ 7.000 à R\$ 26.000*
Blimps (balões de ar)	Dirigíveis não tripulados são mais leves que o ar e possui longa duração de voo.	Voam a baixas velocidades e geralmente são grandes em tamanho.	R\$ 500.000 à R\$ 1.000.000*
Flapping-Wing (batedores de asas)	Aeronaves com asas flexíveis, suas asas são inspiradas em pássaros ou insetos alados.	Pode funcionar a uma velocidade de 2,5m/s.	Valor não informado.
Híbridos ou conversíveis	Podem decolar verticalmente e possui habilidade de inclinar os motores para desenvolverem um voo como os aviões.	Podem voar com velocidades de vento de até 6 beaufort (13m/s) e permanecer no ar por até uma hora.	R\$ 100.000 à R\$ 700.000*

Fonte: Adaptada pela autora, 2022.

*valores aproximados.

Um dos produtos gerados na utilização de ARPs, são as ortofotos, sendo essas fotografias que mostram imagens de objetos em suas posições ortográficas verdadeiras. As ortofotos são geometricamente equivalentes a mapas convencionais planimétricos de linhas e símbolos, os quais também mostram as posições ortográficas verdadeiras dos objetos. O principal produto gerado através do mapeamento aéreo com ARPs é o mosaico de ortofotos, é através dele que podemos fazer medições planimétricas como cálculo de área, perímetro e distâncias, essas informações são essenciais para a cartografia geomorfológica (WOLF, 1983).

Para Silva & Costa (2010) existem algumas vantagens na aplicação da fotogrametria:

Os principais aspectos de vantagens da fotogrametria são relativos a grande quantidade de informações que pode obter com a fotointerpretação, essencial para as fases preliminares dos projetos e estudos das possíveis variantes, mas também quando se deseja um levantamento mais rápido de grande extensão ou em áreas perigosas ou inacessíveis. (Silva & Costa, 2010, p.02)

Outro ponto importante são os levantamentos planialtimétricos realizados para fins de mapeamento e planejamento, são essenciais para descrever as características físicas e topográficas de uma determinada área. Desse modo, os ARPs são elementos importantes na atuação desses levantamentos para caracterizar quantitativamente e qualitativamente áreas de interesses específicos, visto que realizam aerolevantamentos, tendo como um dos procedimentos a aerofotogrametria (CAVENAGHI; LIMA, 2016).

Neste sentido, o artigo objetivou-se pela necessidade de discutir o avanço do uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas na obtenção de imagens de alta resolução e no desenvolvimento de materiais que possam auxiliar a cartografia geomorfológica.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS OPERACIONAIS

Com o propósito de atingir o objetivo proposto neste artigo, foram seguidos os caminhos metodológicos explicitados a seguir.

PESQUISA DE CAMPO

Foram realizados dois trabalhos de campos, divididos em:

1ª Etapa: Campo de reconhecimento, para observação da região de estudo. Foram verificadas as vias de acesso, observação e registro da paisagem geomorfológica, por meio de caderneta e ficha de campo, câmera fotográfica e de Aeronave remotamente pilotada (ARP) para obtenção de imagens e coleta de pontos de controle (GPS) em locais com interesse específico.

2ª Etapa: Foi realizado o segundo trabalho de campo, que possibilitou avaliar e corrigir erros obtidos na fase de procedimento, interpretação e mapeamento geomorfológico, foram realizados alguns planos de voos no programa PIX4D Capture para mapeamento e produção do modelo tridimensional do relevo, essas imagens foram trabalhadas no programa Agisoft PhotoScan.

PLANEJAMENTO DE VOO

O planejamento dos voos foi realizado no programa Pix4Dcapture (disponível para os sistemas IOS e Android), para definição da rota que o ARP deveria seguir em todos os campos para aquisição das fotografias aéreas verticais. As fotografias tiveram como finalidade, a

aquisição qualitativa de dados cartográficos, o produto final desejado sendo o mapa tridimensional da área de interesse. A altura média de voo foi determinada em 100 metros, devido ao estudo preliminar do relevo da área a ser imageada. Foram estabelecidos, cinco faixas de voo no sentido horizontal e 8 faixas no sentido vertical de (30 fotografias por faixa, em média). As sobreposições planejadas forma de 80 % lateral e 70% longitudinal, de acordo com orientações da Agisoft (2016) (BARCELOS, 2017).

A escolha do recobrimento de 80% e 70% para as fotografias entre as faixas e nas mesmas faixas teve como propósito a preocupação de maior sobreposição, diminuindo a ocorrência de perda de informações quando o mapa tridimensional fosse gerado, em princípio, quanto maior a sobreposição, mais satisfatório será a qualidade dos produtos gerados (BARCELOS, 2017).

AQUISIÇÃO DE DADOS E IMAGENS ATRAVÉS DO ARP

O equipamento ARP DJI Phantom 3 Standard foi utilizado para aquisição das fotografias, suas características são apresentadas na Tabela 2. Este equipamento se enquadra na classe 3 definida pela regulamentação da ANAC (2017) e é considerado um quadricoptero.

Tabela 2 – Características do ARP DJI Phantom 3 Standard

AERONAVE	
Peso (bateria e hélices incluídas)	1216 g
Tamanho diagonal (hélices excluídas)	350 mm
Velocidade máxima de subida	5 m/s
Velocidade máxima de descida	3 m/s
Velocidade Máxima	16 m/s (ATTI mode)
Ângulo Máximo de Inclinação	35°
Velocidade angular máxima	150°/s
Altura máxima de Funcionamento a cima do nível do mar	19685 ft. (6000 m)
Tempo Máximo de Voo	Approx. 25 minutes
Faixa de temperatura operacional	32° to 104°F (0° to 40°C)
Sistemas de Posicionamento por Satélite	GPS
Precisão de Foco	Vertical: ±0.5 m / Horizontal: ±1.5 m
CÂMERA	
Sensor	1/2.3" CMOS / Effective pixels:12 M
Lente	FOV 94° 20 mm (35 mmformato equivalente) f/2.8
ISO alcance	100-3200 (Video) / 100-1600 (Foto)
Velocidade do obturador eletrônico	8 - 1/8000 s
Tamanho da Imagem	4000x3000
Modos de Fotografia	Single Shot / Burst Shooting: 3/5/7 frames / Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 bracketed frames at 0.7 EV Bias / Timelapse
Modos de Gravação de Vídeo	2.7K: 2704 x1520p 24/25/30 (29.97) / FHD: 1920x1080p 24/25/30 / HD: 1280x720p 24/25/30/48/50/60
Taxa de Bits máxima de vídeo	40 Mbps
Extensões	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Foto	JPEG, DNG (RAW)
Vídeo	MP4, MOV (MPEG-4 AVC/H.264)
Cartões SD Compatíveis	Micro SD Card 8 GB included
Temperatura Operacional	32° to 104°F (0° to 40°C)
CONTROLE REMOTO	
Frequência de Operação	5.725 - 5.825 GHz, 922.7 - 927.7 MHz (Japan)
Distância máxima de transmissão	FCC: 1000 m / CE: 500 m / (outdoors and unobstructed, aircraft's altitude at 400 feet (120 m))
Faixa de temperatura operacional	32° to 104°F (0° to 40°C)

Bateria	2600 mAh LiPo 18650
Potência do Transmissor (EIRP)	FCC: 19 dBm / CE: 14 dBm / MIC: 10 dBm
Corrente/Tensão Operacional	600 mA@3.7V
Suporte para dispositivo móvel	Android / iOS
Charging Port	Micro USB
BATERIA DE VOO AUTÔNOMO	
Capacidade	4480 mAh
Voltagem	15.2 V
Tipo	LiPo 4S
Potência	68 Wh
Peso Líquido	365 g
Faixa de temperatura de carregamento	41° to 104°F (5° to 40°C)
Potência máxima de carregamento	100 W

Fonte: DJI Phantom 3 Standard, 2017.

PROCESSAMENTO DAS FOTOGRAFIAS E CRIAÇÃO DO MODELO TRIDIMENSIONAL

O processamento das imagens se deu através do software aerofotogramétrico Agisoft PhotoScan Professional Edition®, este procedimento seguiu etapas, sendo, a primeira etapa constituirá através da seleção e filtragem das imagens para posteriormente no software realizar o processamento das mesmas.

A metodologia para esta fase do trabalho foi desenvolvida pelo programa Agisoft PhotoScan® aplicando o método de mosaicação automática das imagens obtidas em campo. Sem a utilização de pontos de controle de solo o software irá operar em cinco etapas (AGISOFT, 2013):

1ª etapa – Verificação das coordenadas e dos ângulos de atitude respectivos a cada imagem para o alinhamento das mesmas;

2ª Etapa – Verificação e estabelecimento de Pontos de Controle (PC) nas áreas de sobreposição das imagens, gerando uma nuvem de pontos;

3ª Etapa – Otimização da nuvem de pontos (sendo opcional para o pesquisador, auxilia na aquisição de bons resultados);

4ª Etapa – Junção das imagens, através do comando Building Mesh (construção da malha);

5ª Etapa – Utilização do comando Blending (Misturando/ aplicação da textura), unindo uma imagem à outra sobre a malha obtida.

No processamento das fotografias optou-se por não utilizar pontos de controle devido a sua não relevância para o caso em questão. Segundo Galvão (2014), não ocorre alteração significativa na qualidade de caracterização de áreas e perímetros com ou sem a utilização de pontos de controle, indicando, nessas condições, que a inserção de pontos de controle no terreno pode ser descartada, mas a utilização de pontos de controle pode melhorar o erro médio relativo à dimensão do pixel.

A elaboração de modelos tridimensionais se deu através da escolha de um recorte da área da Folha de Vargem Bonita IBGE (1.50.000), a qual é delimitada entre os pares de coordenadas 46° 15' - 46° 30' W e 20° 15' - 20° 30' S no Estado de Minas Gerais, contém as sedes dos municípios de Vargem Bonita, da qual leva o nome e de São Roque de Minas, também engloba áreas dos municípios de Piumhi, São João Batista do Glória e Delfinópolis.

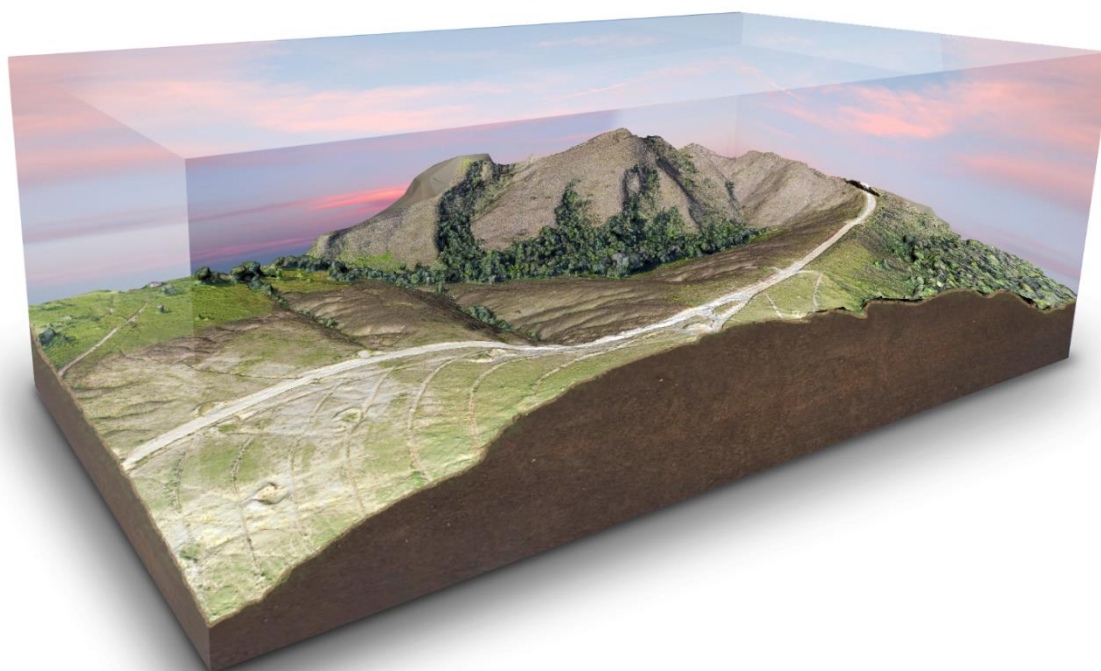
Diante disso, a finalidade do processamento das fotografias aéreas com o software Agisoft PhotoScan foi de construir um modelo 3D para representar uma porção da área da Folha Vargem Bonita. A realização do processamento das imagens adquiridas em campo e a construção do modelo 3D da área desenvolveram-se em cinco etapas, como já explicitado na

metodologia. Foram realizados no total cinco planos de voo na área da carta, durante os trabalhos de campo dessa pesquisa.

O modelo tridimensional (Figura 2), está localizado na Unidade Morfoestrutural Bacia Bambuí, na Unidade Morfoescultural Planalto do Rio São Francisco. Possui área de 563 x 211 m (118.793 m²), recobrimento de 80% e está localizado nos pares de coordenadas 46° 20' 34.2" S e 20° 22' 47.8" W, altitude de 950 m (BARCELOS, 2020).

A finalização de layout pode ser realizada em softwares de edição de imagens, como exemplo, Adobe Photoshop , Adobe Illustrator, PhotoScape, entre outros. Para a edição final do modelo tridimensional, foi utilizado o software Adobe Ilustrador.

Figura 2 – Modelo Tridimensional do recorte da carta Vargem Bonita.



Fonte: BARCELOS, 2020.

CONCLUSÃO

A aplicação da geotecnologia nos dias de hoje é essencial para diversas áreas, vimos que ela vem sendo utilizada há bastante tempo, seja para a topografia convencional, mapeamento aéreo, cartas, mapas e imagens de satélite. Dessa forma, o ARP é uma das maiores inovações dentro do mercado de geotecnologia onde o mesmo reduziu o custo da produção de mapas através de imagens aéreas de forma considerável. Esse equipamento permite que os pesquisadores e ou empresas tenham um acesso mais fácil a esse produto (NETO, 2018).

Inúmeras pesquisas podem fazer uso dessa tecnologia, a partir da evolução dos processos de aquisição de imagens e dos softwares disponíveis no mercado, pode-se gerar diversas pesquisas com o propósito de aperfeiçoar os dados cartográficos, especialmente na Geomorfologia. Portanto sua aplicação na cartografia geomorfológica possibilita não mais aguardar a disponibilidade no fornecimento de imagens de satélite, produzindo resultados com qualidade de resolução espacial e com periodicidade adaptável, a partir da utilização desse novo recurso.

Dessa forma, as atividades de mapeamento em geral assim como o mapeamento geomorfológico em si, nada mais são que representações cartográficas da realidade e uma vez que se tenha material de apoio (imagens de qualidade) adequado, tornar-se-á factível que a representação almejada atinja o nível de precisão mais próximo possível da realidade a ser representada cartograficamente pelo pesquisador. Fazendo com que o uso dessas ferramentas seja uma grande aliada da cartografia geomorfológica.

Por fim, vale ressaltar que a realização do mapeamento tridimensional da área de interesse através das imagens obtidas pelo ARP, serviu de exemplo para demonstrar a alta qualidade dos materiais que podem ser gerados a partir do uso dessa espécie de equipamento, e que estes podem ser utilizados em pesquisas que envolvam mapeamentos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M.; RIBEIRO, A. C. O. A Terra em transformação. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. cap. 1, p. 7-13.

ANGELOV, P. **Sense and Avoid in UAS: Research and Applications**. John Wiley & Sons, 2012. <https://doi.org/10.1002/9781119964049>

ARGENTO, M. S. Mapeamento geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 365-391.

BARCELOS, A. C. **O uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) em monitoramentos de campo: Aplicabilidades e Viabilidades**. Monografia (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20639>. Acesso em: 14 dez. 2021.

BARCELOS, A.C. Monitoramento ambiental com o uso de VANT: geração de Ortomosaico no software Agisoft. In: XVIII SBGFA – Geografia Física e as Mudanças Globais, 2019. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2019.

BARCELOS, A.C. **Estudo Geomorfológico da Folha Topográfica Vargem Bonita - MG: a aplicação de geotecnologias na elaboração da cartografia do relevo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28699>. Acesso em: 16 mai. 2022. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.144>

CARVALHO, T.M.; LAHM, R.A.; RAMÍREZ, R.; THOMÉ, J. Modelagem digital na análise espacial de moluscos terrestres em Lima, Perú. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., Belo Horizonte. São José dos Campos: INPE. **Anais**, p. 1277-1279, 2003.

CARVALHO, T.M.; LATRUBESSE, E.M. O uso de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.5, n.1, p.85-93, 2004. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/34>. Acesso em: 08 out. 2021. <https://doi.org/10.20502/rbg.v5i1.34>

CAVENAGHI, T. P.; LIMA, M. Plano Diretor: Como a geotecnologia tem facilitado a gestão dos municípios. **Revista InfoGeo Online**. Curitiba, Edição Especial: Cidades, 2016. Disponível em: http://www.mundogeo.com.br/revistas-interna.php?id_noticia=8101. Acesso em: 20 nov. 2021.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A.; SANCHEZ, M. C. A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas para a Gestão Ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, n. 1, p. 01-09, 2003. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/15>. Acesso em: 21 ago. 2021.

CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S.; CARDOSO, P. V.; REIS, R. B.; ROSÁRIO, L. S.; BARBOSA, S. S.; RABACO, L. M. L.; LOURENÇO, J. S. Q. Avaliação da exatidão planimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 15, 2011. Curitiba. **Anais**, Curitiba: INPE, 2011. p. 5463 - 5470.

DE GARMO, M. T. Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace. **Center for Advanced Aviation System Development** – Mitre, McLean, Virginia. 2004. Disponível em: https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/04_1232.pdf. Acesso em: 16 out. 2021.

DOYLE, F.J. Digital terrain models: an overview. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.44, n.12, p.1481-1485, 1978.

DRONENG. MDT e MDS você sabe a diferença? Disponível em: <http://blog.droneng.com.br/mdt-e-mds/>. Acesso em: 10 Dez. 2021.

EISENBEISS, H. VANT Photogrammetry. Zurich, University of Technology Dresden. **Doctor of Sciences**, 2009. 237 p.

FELGUEIRAS, C.A. Análises sobre modelos digitais de terreno em ambientes de sistemas de informação geográfica. In: VIII Simpósio Latino Americano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. Mérida, Venezuela, 1997.

FERREIRA, I. L. **Estudos geomorfológicos em áreas amostrais da Bacia do rio Araguari – MG. Uma abordagem da cartografia geomorfológica**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

FILHO, G. L. **Caracterização e mapeamento dos modelados padrões e formas de relevo simbolizadas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Itoupava, Blumenau – SC**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

GARCIA-RUIZ, F.; SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; LEE, W. S.; RASMUSSEN, J.; EHSANI, R. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees Computers and Electronics. **Agriculture** v. 91 p.106–115, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.002>

GELLERT, J. F. Preface – The nature and aims of detailed geomorphological mapping. In: DEMEK, J.; EMBLETON, C.; GELLERT, J.; VERSTAPPEN, H. eds. **Manual od detailed geomorphological mapping**. Czech. Ac. Sc. Praha. P. 13-17, 1972.

GUSTAVSSON, M. **Development of s detailed geomorphological mapping system and GIS geodatabase in Sweden**. Dissertation, Uppsala Universitet, Sweden, 2006. Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A169150&dswid=-9694>. Acesso em: 10 dez. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual técnico de geomorfologia. **Manuais técnicos em geociências**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1 000 000. São Paulo: IPT, 1981.

LEITE, M. E; ALMEIDA, M. I. S; VELOSO, G. A; FERREIRA, M. F. F. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento da dinâmica do uso do solo na Bacia do Rio Pacuí, no norte de Minas Gerais, nos anos de 1989,1999 e 2009. **Revista do departamento de geografia – USP**. São Paulo, v. 23, 2012. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47211/50947>. Acesso em: 08 dez. 2021. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0009>

LINHARES, M. M. A. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

LONGHITANO, A. G.; MANTOVANI, C.J; BELTRÃO, S. R. B. As contribuições associadas ao uso de vants para monitoramento da evolução de processos erosivos em Sonora-MS. In: YP&SS - **Young Professionals and Summer School**. Ed 2, 2016, Presidente Prudente: Unesp, 2016. Disponível em: < http://docs.fct.unesp.br/eventos/ypss/temp/P4_YPSS_2016_Juliana_Mantovani.pdf >. Acesso em: 22 out. 2021.

NETO, M. S. Gestão Urbana através do Mapeamento Aéreo com Drones: entenda a importância. Disponível em: <http://blog.droneng.com.br/gestao-urbana-com-drones/>. Acesso em: 12 dez. 2021.

NEWCOME, L.R. **Unmanned aviation: A brief history of unmanned aerial vehicles**. Reston,Va.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004. <https://doi.org/10.2514/4.868894>

PASSARGE, S. Morfologia de zonas climáticas ou morfologias de paisajes? In. MENDONZA, J. G., GIMÉNEZ, J. M. e CANTERO, N. O. (Org.). **El Pensamiento Geográfico**. Alianza Editorial, p.377-380, 1982.

PAULA, J. C. de. **Desenvolvimento de um VANT do tipo quadricóptero para obtenção de imagens aéreas em alta definição**. Dissertação de Mestrado (, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. URI: <http://hdl.handle.net/1884/29886>

PEGORARO, A. J.; GUBIANI, J. S.; PHILIPS, J. W. Veículo Aéreo não Tripulado: Uma Ferramenta de Auxílio na Gestão Pública. In: Simposio Argentino de Informatica y Derecho, Córdoba, 2013. **Anais**, p 177 - 187, 2013.

RODRIGUES, F. Padaria drive-thru testa drone para a entrega de pães em São Carlos, SP – O portal de notícias da Globo, 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2014/05/padaria-drive-thru-testa-drone-para-entrega-de-paes-em-sao-carlos-sp.html>. Acesso em 06 out. 2021.

ROSA, R. et al. Elaboração de uma base cartográfica e criação de um banco de dados georreferenciados da Bacia do Rio Araguari – MG. In: LIMA, S. do C.; SANTOS, R. J. (Org.) **Gestão Ambiental da bacia do Rio Araguari – rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia / Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, p. 69 – 87, 2004.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do departamento de Geografia - USP**. São Paulo, v.16, 2005. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 18 nov. 2021.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6. Ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. <https://doi.org/10.14393/EDUFU-85-7078-124-6>

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo, **Revista do Departamento Geografia - FFLCH-USP**, São Paulo, n.6, p.17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 8 ed. São Paulo: Contexto, 2007.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T. da.; SILVA, J. M. F. da.; ROSS, J. L. S. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V. 7, n. 2, p. 03-12, 2006. <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.74>

SILVA, D. C.; COSTA, G. C. Aerofotogrametria em Projetos de Estradas. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais**, Recife – PE, jul-2010.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S. C. Elaboração De Um Tutorial De Cartografia Geomorfológica Como Alternativa Para O Ensino De Geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 3, p. 85-94, 2009. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/issue/viewIssue/179/6>. Acesso em: 22 out. 2021.

SIMPSON, A. D. Development of an unmanned aerial vehicle for low-cost remote sensing and aerial photography. **Master of Science Thesis**. University of Kentucky, Lexington, Kentucky 2003. Disponível em: http://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1193&context=gradschool_theses. Acesso em: 02 nov. 2021.

SOUZA, A. O. Mapeamento geomorfológico de detalhe da carta de Belo Jardim -PE: Uma análise a partir dos padrões morfométricos do relevo. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SOUZA, J. L. Geotecnologia como ferramenta de apoio a leis ambientais: sensoriamento remoto e sig. **Revista Olhar**: Revista científica da ESAMC. Sorocaba, SP, v.2, n.1, 2017.

WOLF, P.R. **Elements of Photogrammetry**. McGraw-Hill Book Co., New York, n. 2, p. 637-646, 1983.