

## CRIAÇÃO DE MODELOS 3D EM SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS USANDO VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

Alesandro Gurjão Ribeiro<sup>1</sup>

Clarice Bianchezzi<sup>2</sup>

Adriano Márcio dos Santos<sup>3</sup>

### RESUMO

O uso da tecnologia nas pesquisas arqueológicas teve muitas aplicações nos últimos anos, com destaque na fotogrametria, técnica usada para obter informações de objetos existentes em regiões de interesse sobre terrenos em áreas urbanas ou rurais, através dos processos de: (1) gravação; (2) medição e (3) interpretação das imagens aéreas, utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTs, conhecidos como Drones. Este trabalho teve como principal objetivo, gerar modelos digitais 3D de superfície e de terreno do Sítio Arqueológico Macurany, localizado na comunidade rural homônima, no município de Parintins, estado do Amazonas. Com base na técnica de Aerofotogrametria (subdivisão da fotogrametria) realizou-se o mapeamento aéreo deste sítio, utilizando um drone Mavic 2 Pro da DJI para coletar as imagens de áreas selecionadas desse local, por apresentarem características de ocupação pré-colonial como valas arqueológicas, bosque de castanheiras e artefatos arqueológicos como: vestígios cerâmicos e Terra Preta Antropogênica (TPA). As informações obtidas, a partir dos modelos 3D desenvolvidos neste trabalho, contribuirão para a utilização de drones na captação de imagens de outros sítios arqueológicos localizados no entorno de Parintins, possibilitando a realização de novas pesquisas no âmbito do Grupo de Pesquisas em Educação, Patrimônio, Arqueometria e Ambiente na Amazônia – GEPIA.

Palavra-chave: Modelo digital de terreno e superfície; Mapeamento aéreo com VANTs; Sítio Arqueológico Macurany.

---

1 Universidade do Estado do Amazonas. Centro do Estudos Superiores de Parintins. Graduado em Física. E-mail: [pintoribeiro07@gmail.com](mailto:pintoribeiro07@gmail.com)

2 Universidade do Estado do Amazonas. Centro do Estudos Superiores de Parintins. Professora de História. E-mail: [cbbiachezzi@uea.edu.br](mailto:cbbiachezzi@uea.edu.br)

3 Universidade do Estado do Amazonas. Centro do Estudos Superiores de Parintins. Professor de Física. E-mail: [asantos@uea.edu.br](mailto:asantos@uea.edu.br)



## ABSTRACT

The use of technology in archaeological research has had many applications in recent years, with emphasis on photogrammetry, a technique used to obtain information from existing objects in regions of interest on sites in urban or rural areas, through the processes of: (1) recording; (2) measurement and (3) interpretation of aerial images, using unmanned aerial vehicles – UAVs, known as drones. The main goal of this study is to generate 3D digital surface and terrain models of the Macurany archaeological site, located in the homonymous rural community, in the municipality of Parintins, state of Amazonas. Based on the aerial photogrammetry technique (a branch of photogrammetry), aerial mapping was performed using a DJI Mavic 2 Pro drone to collect images of selected areas of the site, as they presented characteristics of pre-colonial occupation such as archaeological ditches, forest of chestnut trees, and archaeological artifacts such as: pottery fragments and anthropogenic *terra preta* (ATP). The information obtained from the 3D models developed in this work will contribute to the use of drones to capture images of other archaeological sites located in the areas surrounding Parintins, allowing for new research to be conducted within the scope of the Research Group on Education, Heritage, Archaeometry and Environment in the Amazon – GEPIA.

**Keywords:** digital surface and terrain model; aerial mapping with UAVs; Macurany archaeological site.

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho teve como objetivo gerar o Modelo Digital da Superfície (MDS) e o Modelo Digital do Terreno (MDT) do sítio arqueológico Macurany localizado na comunidade rural, no município de Parintins, estado do Amazonas; utilizando técnicas de Fotogrametria e um Drone Mavic 2 Pro da DJI como ferramenta para coletar as imagens aéreas.

Conforme a American Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS (1979), a fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia da obtenção de informações confiáveis sobre objetos físicos e meio ambiente através dos processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas, padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos.

De acordo com Portaria nº 316, de 4 de novembro de 2019 do IPHAN, em seu art. 2º, define que “sítio arqueológico é o local onde se encontram vestígios resultantes de atividades humanas, do período pré-colonial ou histórico, localizados em superfície, subsuperfície ou submersos, passível de contextualização arqueológica”.

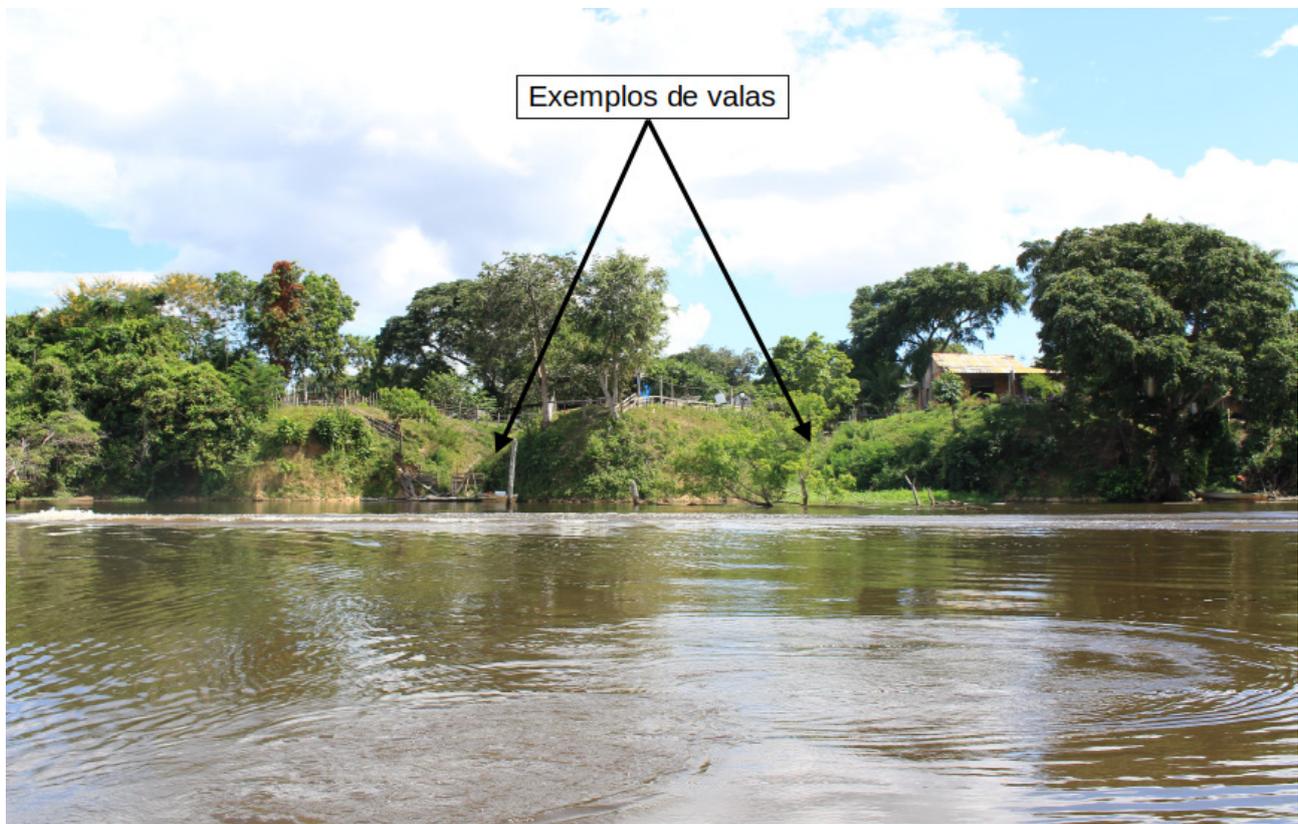
No caso do sítio Macurany, este é classificado como pré-colonial, histórico e localizado as margens do Lago do Parananema – a área está sendo usada pela população local como pastagem e agricultura de subsistência. O sítio apresenta grande extensão Terra Preta de Índio (TPI), indicando uma ocupação de longa duração por toda a planície em acompanhamento as margens do Lago do Parananema (SCIENTIA, 2003; AMBIENTARE, 2021; BIANCHEZZI, 2022). As chamadas Terras Pretas de Índio (TPI) e/ou Terras Pretas Antropogênicas (TPA)

são tipos de solo formados em áreas de concentração de resíduos orgânicos, como ossos de animais de caça, peixes, tracajás e tartarugas, fezes e urina humana, diretamente relacionado a densa e numerosa ocupação humana antiga amazônica (KERN et al, 2009; TEIXEIRA, 2008; ARROYO-KALIN, 2017).

As valas arqueológicas são apontadas, em estudos preliminares de Ellis; Ribeiro; Carvalho e Fisher (2023) como possíveis portos de acesso ao lago Parananema construídos e usados pelos grupos indígenas que ocuparam a região na época do pré-contato colonial.

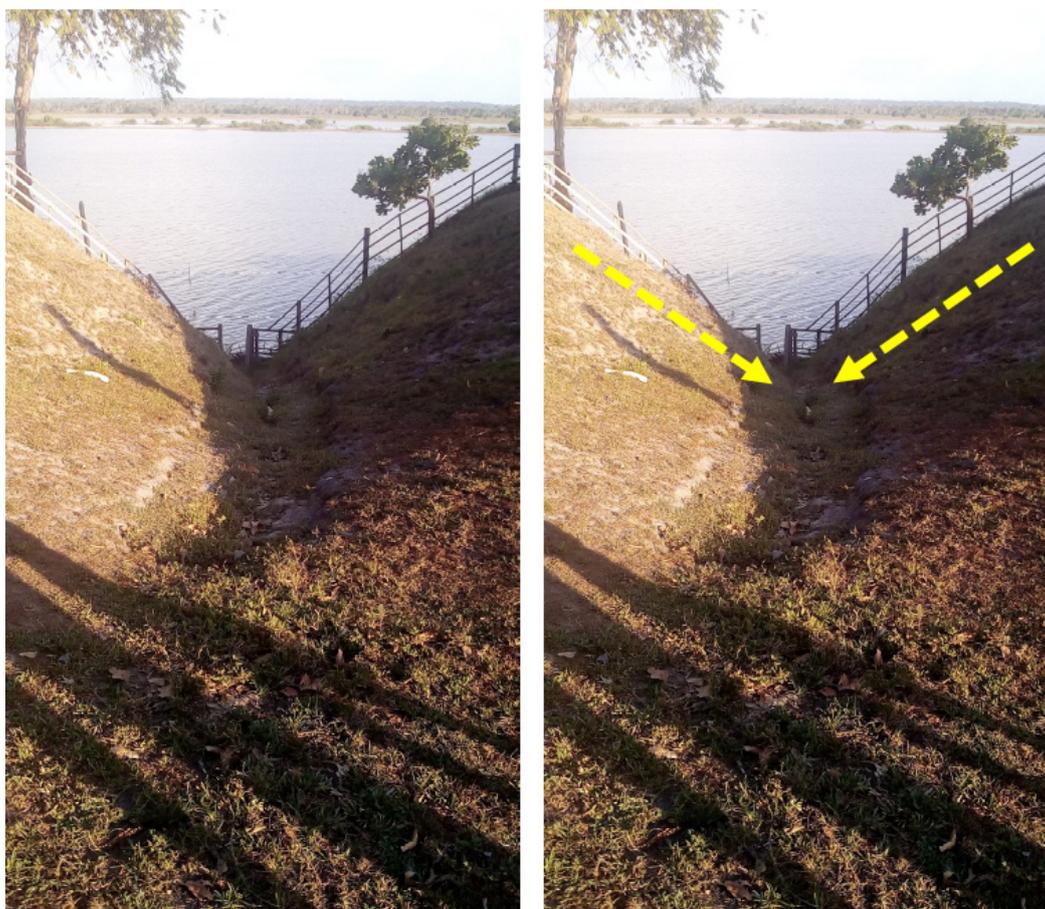
## SÍTIO ARQUEOLÓGICO MACURANY

No município de Parintins, cidade localizada no Estado do Amazonas, a comunidade do Macurany que faz parte da Área de Proteção Ambiental denominada APA do Entorno (PLANO DIRETOR DE PARINTINS, 2006), porção as margens do Lago do Parananema, apresenta uma ampla faixa de Terra Preta de Índio (TPI), com expressiva quantidade de materiais cerâmicos arqueológicos, caracterizando um sítio arqueológico de ocupação multicomponencial de grande potencial para pesquisas no campo da arqueologia (AMBIENTARE, 2021).



**FIGURA 1.** EXEMPLO DE VALA – VISTA PELO RIO.  
FONTE: CRISTIAN SICSU, 2017. ACERVO CLARICE BIANCHEZZI.

São as valas que facilitam o acesso de pessoas do lago a área de terra e apresentam grandes profundidades, às vezes, podem ser confundidas com processos de assoreamento da área costeira do lago, contudo estudos anteriores em outras regiões amazônicas (MORAES; NEVES, 2012) e o número expressivos delas, são indícios contundentes que caracterizam trabalho e ação de grupos humanos que habitaram o local na época do pré-contato colonial de Macurany/Parintins (ELLIS, 2019; BIANCHEZZI, 2022; ELLIS; RIBEIRO; CARVALHO E FISHER, 2023).



**FIGURA 2.** EXEMPLO DE VALA – VISTA EM TERRA.

FONTE: KARLINEY SOUZA DA SILVA, 2016. ACERVO CLARICE BIANCHEZZI.

Outra característica de ocupação humana antiga do local, consiste na presença de um número significativo de exemplares de árvores de castanheiras do Brasil – *Bertholletia excelsa*, apontado por autores como indicativo na região amazônica (NEVES, 2021; FURQUIM, 2021) de ação humana.

“Os conjuntos de castanheiras na Amazônia têm sido apontados como marcadores de ocupação de povos antigos na paisagem, principalmente porque esses adensamentos estão próximos a sítios arqueológicos de ocupação única ou distinta, compondo uma das tantas paisagens antropogênicas na Amazônia.” (BIANCHEZZI, 2022, p. 71)

Tanto o manejo desta espécie de plantas se pautou na coleta de seus frutos utilizados como fonte de alimento pelos grupos humanos no passado e muito apreciada pelas populações amazônicas no presente (Figura 3)



**FIGURA 3.** VISTA DE CASTANHEIRAS – ÁRVORES DE COPADA MAIS ALTA.  
FONTE: ACERVO DO AUTOR.

## **METODOLOGIA**

Nesta seção são apresentados os principais tópicos trabalhados no desenvolvimento deste trabalho, iniciando-se pela fotogrametria, a técnica que embasa todo o estudo teórico para a criação dos modelos 3D; o drone utilizado na obtenção das imagens aéreas e os parâmetros a serem observados antes do voo.

## **FOTOGRAMETRIA**

A Fotogrametria é uma técnica que permite o estudo e a definição das formas, das dimensões e das posições de objetos no espaço, utilizando-se de medições obtidas a partir de fotografias ou imagens digitais.

De acordo com Paredes (1987) a fotogrametria vem do grego que tem como definição as medidas e, ainda descreve que o sentido da palavra está relacionado com as medições gráficas através da luz, sendo uma Ciência para obter medidas de confiança.



Existem inúmeras aplicações para a Fotogrametria, quase todos os problemas que demandam medições podem ser realizados por processos fotogramétricos, entretanto, o produto apresentado nesse trabalho são os modelos 3D do Sítio Macurany.

## MODELOS 3D

Através da técnica de fotogrametria, podemos obter os seguintes modelos digitais: o Modelo Digital da Superfície (MDS) e o Modelo Digital do Terreno (MDT).

O Blog Cpe Tecnologia, menciona que o MDS e o MDT apresentam diferenças em suas funções e execuções, pois, dependem muito da necessidade do serviço, nível do solo, etc.

O MDS é o modelo tridimensional do terreno e, com esse modelo é possível realizar medições de altura, volume e perfil. Já o MDT, diferente do MDS, não representa os objetos acima do solo como casa, pessoas, edifícios ou árvores. Através de um algoritmo é realizado um processo de filtragem destes objetos deixando apenas a representação do terreno ([cpetecnologia.com.br](http://cpetecnologia.com.br)).

## VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT'S)

O termo VANT's é a sigla de Veículos Aéreos Não Tripulados (tradução do termo UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*), utilizado para se referir a todo e qualquer equipamento que acesse o espaço aéreo sem que haja a presença de um ser humano a bordo. Os VANT's, normalmente conhecidos como drones, são ferramentas para capturar as imagens aéreas.

O site Base de Conhecimento, descreve para o Drone a tradução como zangão, pois o som emitido é parecido como este inseto e, que o termo “Drone” é utilizado na forma coloquial popular.

Para este trabalho foi utilizado o drone multirrotor Mavic 2 Pro da DJI para a realização de mapeamento aéreo. Este drone é composto por uma Câmera L1D-20c da Hasselblad, sensor CMOS de 1 polegada e 20 MP, dura até 31 minutos de voo com velocidade máxima de 72 km/h (44,74 mph), Gravação de vídeos 4K HDR de 10 bits com alcance dinâmico maior e cores mais vibrantes, transmissão de vídeo de 1080p a 8 km de distância e Duas frequências de sinal: 2,4/5,8 GHz (Figura 4).



**FIGURA 4.** VISTA DO DRONE MAVIC 2 PRO UTILIZADO NESTE TRABALHO.  
FONTE: ACERVO DO AUTOR.

## PARÂMETROS A SEREM UTILIZADOS NO VOO COM DRONE

Os drones são, na maioria das vezes, pilotados manualmente. Entretanto, para a utilização das imagens no processamento e geração dos produtos cartográficos, alguns parâmetros da fotogrametria como a sobreposição precisam ser respeitados. E neste caso, os voos devem ser realizados no modo automático para garantir a qualidade do produto final.

Para seguir estas recomendações, foram planejados voos automatizados com auxílio de aplicativos que permitiam a seleção da área a ser mapeada, o desenvolvimento dos planos de voo e sua execução.

Alguns parâmetros devem ser observados antes da realização dos voos de mapeamento com drones e, dentre estes, podemos destacar: a consulta da janela de voo, analisar condições meteorológicas, a seleção dos alvos, o tamanho do pixel (GSD), o desenvolvimento do plano de voo, realização do voo, captura e tratamento das imagens obtidas.

A realização de um mapeamento aéreo não gera apenas imagens aéreas, geram dados quantitativos, ou seja, dados contendo informações como distância, áreas, perímetros ou volumes.



## PREPARAÇÃO DO VOO

Antes de realizar o voo com o drone Mavic 2 Pro, foram realizados ajustes prévios com auxílio do site da Dronedeploy (DRONEDEPLOY, 2021) tais como, região para a realização do mapeamento aéreo, plano e altura do voo e GSD (Ground Sample Distance) que é a “distância da amostra do solo”, essa amostra, no caso é cada pixel (menor unidade de informação da imagem digital) da foto capturada com o drone (mappa.ag/blog/gsd), em outras palavras, se o GSD escolhido para o voo for de 1 metro, o pixel da imagem projetada no terreno terá a forma quadrada com 1 metro de arestas.

Também foi realizada uma pesquisa meteorológica do tempo com auxílio do site Sunset and Sunrise (2021) antes de ir ao local. E com base nas informações obtidas pelo site, este procedimento fornece: (1) estimativas da ocorrência de chuvas no dia, que dependendo da intensidade, a data do mapeamento seria alterada; (2) ocorrência de poucas nuvens, indicando pouca influência de sombras nas imagens obtidas; (3) velocidade do vento; (4) horário do nascer e pôr do Sol, dentre outras.

Na Figura 5 é mostrada a janela de voo obtida com auxílio da página da Sunset and Sunrise (2021) e prevista para o dia 04/12/2021, data da realização do mapeamento aéreo no Sítio Arqueológico Macurany.

A área localizada no Sítio Macurany para o mapeamento foi de aproximadamente 20 hectares e localizava-se próximo às margens do Lago Parananema (Figura 6), ao chegar no local do mapeamento foi realizada a calibração da bússola do drone antes de iniciar o voo, utilizando o aplicativo DJI GO 4 (dji.com/br/downloads) instalado no celular e compatível com o sistema Android. Este procedimento serve para otimizar e refinar a precisão da localização do equipamento.

Ao final desta calibração, o aplicativo DJI GO 4 foi fechado e passou-se a utilizar o aplicativo de planejamento de voo Dronedeploy. Uma vez que o aparelho celular estava sincronizado com o drone, deu-se início ao mapeamento aéreo do local a uma altura de 100 m e um GSD de aproximadamente 2,3 cm/px. Para este mapeamento, o tempo estimado de voo foi de 14 min e 19 segundo e, as imagens obtidas ao longo desse voo – num total de 270 – salvas no cartão de memória embarcado no equipamento e utilizada apenas uma bateria do drone.

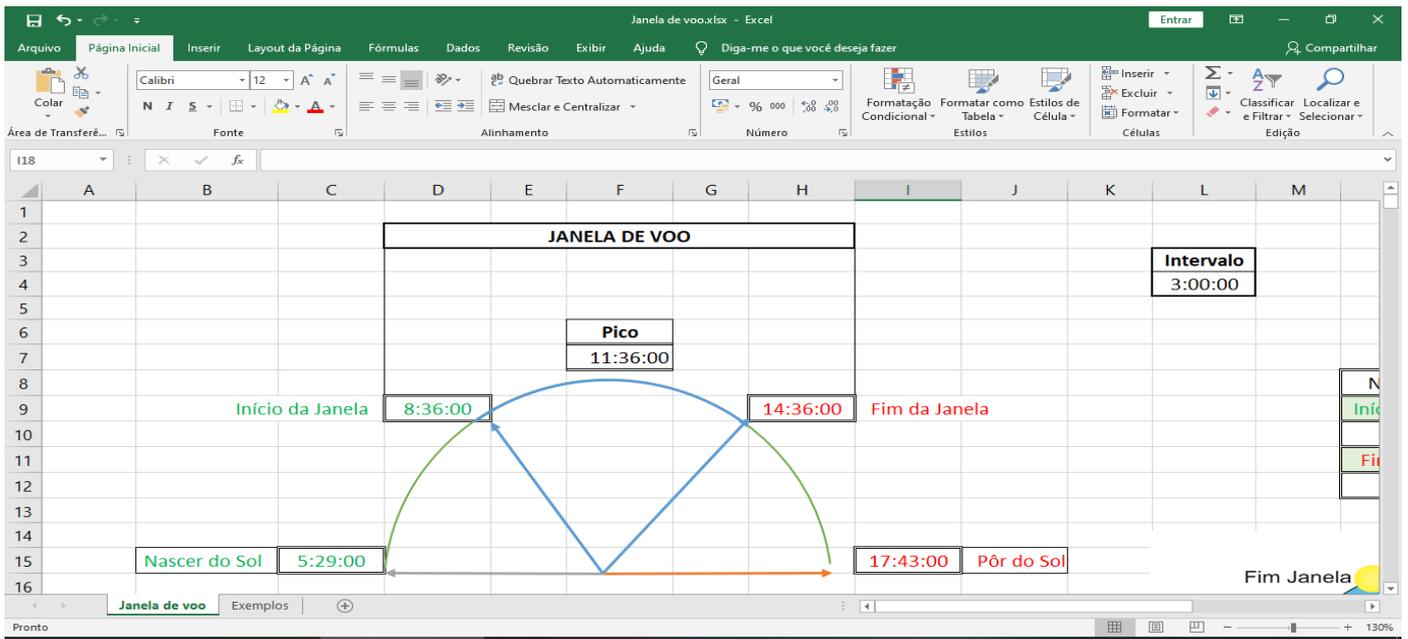


FIGURA 5. JANELA DE VOO.  
FONTE: [SUNSET AND SUNRISE, 2021](#)

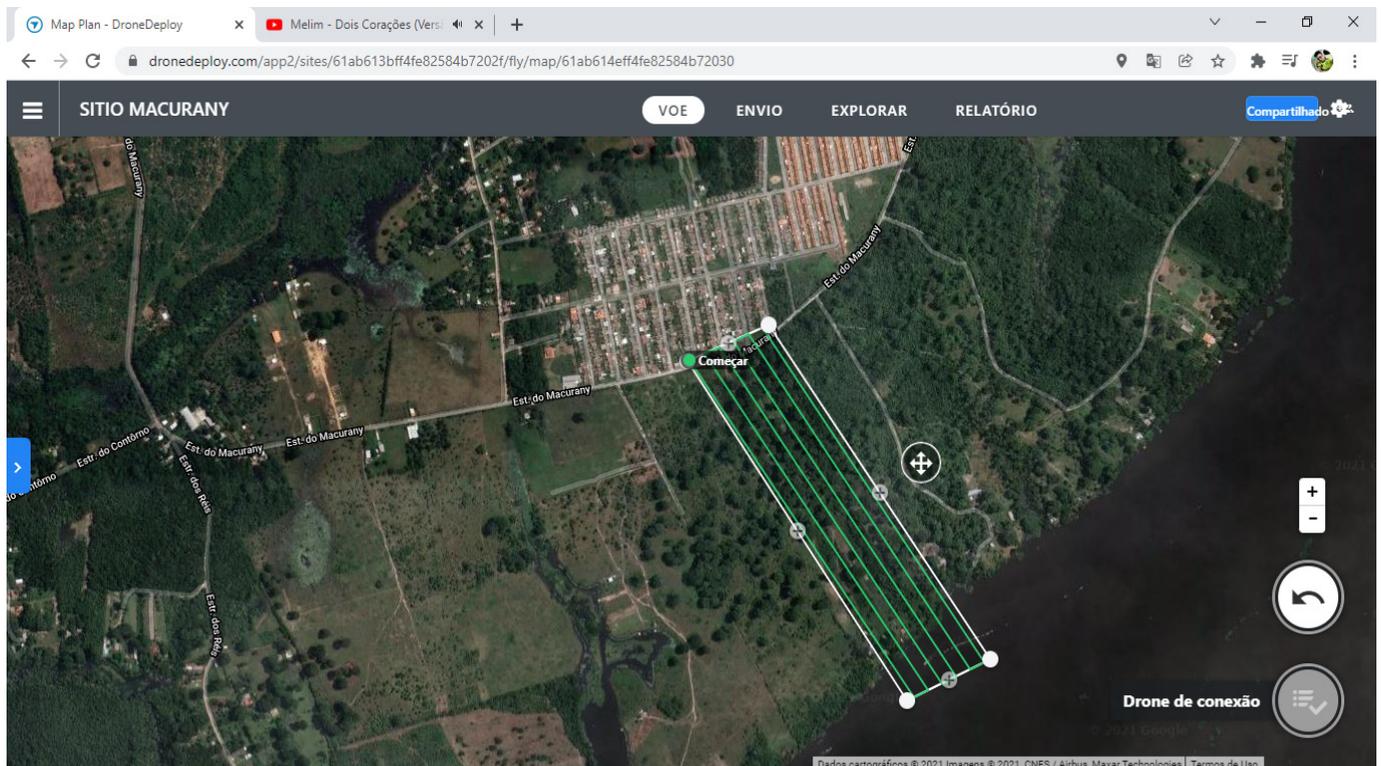


FIGURA 6. VISTA DO PLANO DE VOO PREPARADO COM AUXÍLIO DO DRONEDEPLOY.  
FONTE: ACERVO DO AUTOR.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da técnica da fotogrametria foi realizado o mapeamento aéreo com 100 m de Altura de Voo e GSD de 2,3 cm/px. As imagens aéreas que estavam no cartão de memória do drone foram exportadas para um computador de mesa do tipo PC gamer com as seguintes especificações: Placa mãe Asus B450, Processador AMD Ryzen 5 6 core, 12 threads, cache 16 megas, Memória 32 GB DDR4 2133 Mhz em dual channel, Placa de vídeo Asus Rx 5500 XT 8 GB GDDR6, SSD Corsair MP600 PCIe 500 GB read 4950 MB/s write 4250 MB/s e Fonte de alimentação Corsair 550W.

O tratamento das imagens, foi realizada via *software* Agisoft Matashape professional – que consiste em salvar projeto, exportar imagens aéreas obtidas pelo drone, converter para o sistema de referência, alinhamento de fotos para a primeira impressão do terreno, densificação e classificação da nuvem de pontos para obtenção do produto base usado nas informações cartográficas.

Na sequência, foi realizada uma triagem dos pontos pertencentes e não pertencentes (pontos elevados) ao terreno, através de classificação da nuvem de pontos e obtidos como resultados desse processamento os modelos MDS e MDT apresentados nas Figuras 7 e 8 respectivamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento aéreo ocorreu em uma região do sítio arqueológico Macurany na cidade de Parintins – Amazonas, por apresentar grande importância na arqueologia e diversidade de material arqueológico como: Terra Preta do Índio (TPI), vestígios cerâmicos, valas arqueológicas e castanheiras, ação empreendida pelos grupos humanos que viveram ao longo do tempo naquele local.

As informações obtidas, a partir dos modelos 3D desenvolvidos neste estudo, abrem um leque de possibilidades para a utilização de drones na captação de imagens de outros sítios arqueológicos na região Amazônica, e, os sítios localizados na região do Baixo Amazonas que tem sido campo pesquisas no âmbito do Grupo de Pesquisas em Educação, Patrimônio, Arqueometria e Ambiente na Amazônia – GEPIA.

O Mapa Arqueológico de Parintins (MapArqPin, 2023), desenvolvido por Batista Filho (2022), é um desses exemplos de pesquisas desenvolvidas no âmbito do GEPIA que podem ser beneficiado com a possibilidade de adicionar as imagens registradas com auxílio dos modelos tridimensionais de sítios arqueológicos, ampliando o conteúdo virtual e interativo deste mapa, com maior riqueza de informações a respeito de cada sítio.

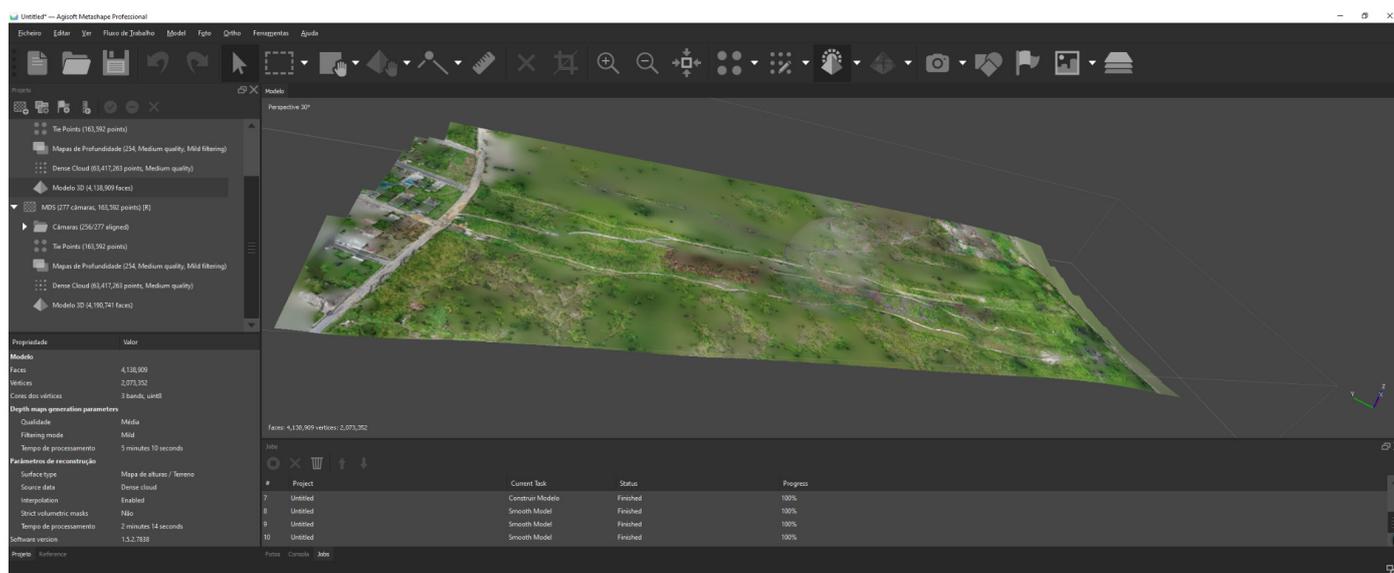


FIGURA 7. MODELO 3D DO MDT (100M; 2,3 CM/PX) NO AGISOFIT MATASHAPE PROFESSIONAL. FONTE: ACERVO DO AUTOR.

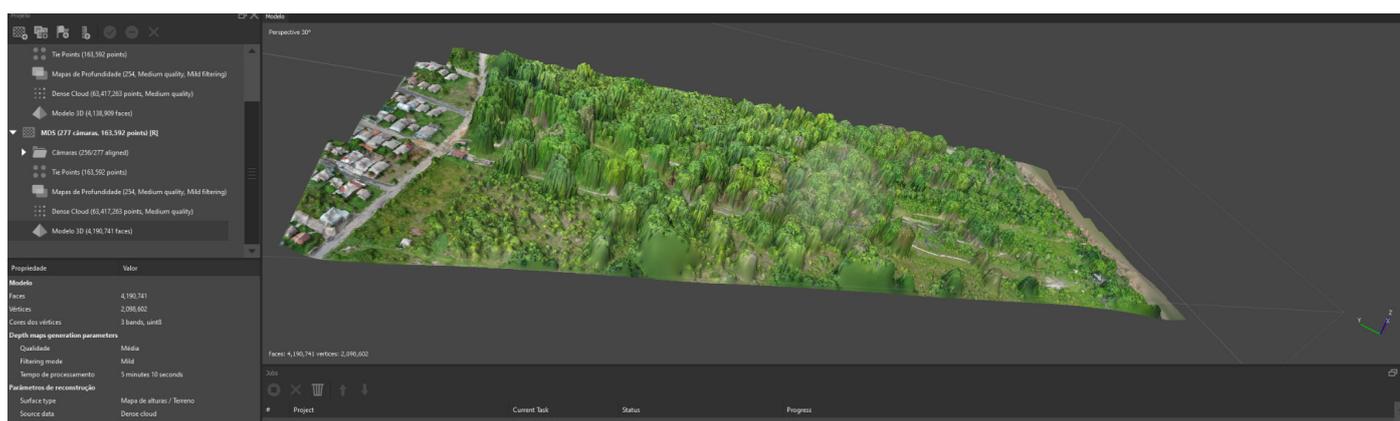


FIGURA 8. MODELO 3D DO MDS (100M; 2,3 CM/PX) NO AGISOFIT MATASHAPE PROFESSIONAL. FONTE: ACERVO DO AUTOR.

## REFERÊNCIAS

AMBIENTARE. Soluções Ambientais Ltda. Relatório Parcial III: Prospecção Complementar da Linha de Transmissão da LT 230kV Oriximiná - Parintins subestações associadas & Resgate Arqueológico do Sítio Macurany. Brasília, julho de 2021.

ARROYO-KALIN, M. 2017. Las tierras antrópicas amazónicas: algo más que un puñado de tierra. In *Las Siete Maravillas de la Amazonía precolombina*. pp. 99-117. Organizado por S. Rostain e C. Jaimes Betancourt. La Paz, 4-EIAA/BAS/Plural Publicaciones.

AZEDO, Edilena. 2017. *Sítio Macurany*: apontamentos sobre uma coleção particular de fragmentos de cerâmica pré-colonial. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em História. Universidade do Estado do Amazonas. Parintins.



Base de Conhecimento. Qual a diferença entre Drone Vant e RPAS?, publicado em 03 de abril de 2019. Acesso em 11 de novembro de 2021.

BATISTA FILHO, Arnoud de Oliveira. Viajando virtualmente entre vestígios ancestrais: Mapa Interativo Parintins Arqueológico. Relatório Final de Iniciação Científica edição 2021/2022. Universidade do Estado do Amazonas, Parintins. 2022.

BIANCHEZZI, Clarice. 2018. *Entre cacos de cerâmica e flores: as paisagens no sítio Macurany, Amazônia*. In: *Caderno 4 Campos – PPGA/UFPA [Número II | 2018 | Volume I]*. 36-39.

BIANCHEZZI, Clarice. **Entre cacos e flores: apropriações, usos e significados dos vestígios arqueológicos pelos moradores do sítio Macurany, Parintins, Amazonas**. Tese (Doutorado em Antropologia). Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

BRASIL/IPHAN. Portaria nº 316, de 4 de novembro de 2019. **Estabelece os procedimentos para a identificação e o reconhecimento de sítios arqueológicos pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional- IPHAN**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-316-de-4-de-novembro-de-2019-225612769>. Acesso em 10 de março de 2022.

DRONEDEPLOY, 2021. Consulta dos dispositivos suportados (Móvel e Tablet) pelo software. Disponível em: <https://help.dronedeploy.com/hc/en-us/articles/1500004964862-Supported-Devices-Mobile-and-Tablet->. Acesso em: 08 de dezembro de 2021.

DRONENG, 2020. **Fotogrametria com imagens de Drones** [Apostila de sala de aula].

ELLIS, M. Grace. 2019. *Anthropogenic landscapes of Amazonia: a spatial analysis of landscape modification and settlement organization at Macurany, Brazil*. Thesis (MA in Anthropology), Department of Anthropology University of Louisville, Kentucky.

ELLIS, M. Grace, Anna T. Browne Ribeiro, Michel Carvalho, and Christopher T. Fisher. 2023. A Port by Any Other Name: A Preliminary Spatial Analysis of Ancient Infrastructural Landscapes and Settlement Organization at Macurany, Brazil. *Latin American Antiquity*. <https://doi.org/10.1017/laq.2023.6>.

FURQUIM, L. P. 2021. O acúmulo das diferenças: nota arqueológica sobre a relação entre sócio e biodiversidade na Amazonia antiga. In *Vozes Vegetais: diversidade, resistência e histórias da floresta*. p.125-139. Organizado por J. C. de Oliveira; Amoroso, M.; Lima, A.G. M de.; Shiratori, K.; Marras, S.; & Emperaire; L. São Paulo: IRD Editions e Ubu editora.

KERN D. C.; KÄMPF, N.; WOODS, W.; DENEVAN, W.M.; COSTA, M. L.; FRAZÃO, F.J.L.; Sombroek, W. (in memoriun). 2009. Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio. In *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. pp. 72-81. Editado por Teixeira, W.G; Kern, D. C.; Madari, B. E.; Lima, H.N. & Woods, W. 1 ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental.

Lei Municipal nº 375/2006. Plano Municipal de Parintins, publicado em 06 de outubro de 2006.

MapArqPin, 2023. Mapa Arqueológico de Parintins. Disponível em: <http://www.gepia.com.br/>. Acesso em: 15 de julho de 2023.

NEVES, E. G. 2021. Castanha, pinhão e pequi ou a alma antiga dos bosques do Brasil. In *Vozes Vegetais: diversidade, resistência e histórias da floresta*. p.109-123. Organizado por J. C. de Oliveira; Amoroso, M.;



Lima, A.G. M de.; Shiratori, K.; Marras, S.; & Empeaire; L. São Paulo: IRD Editions e Ubu editora.

PAREDES, E. A. Introdução a aerofotogrametria para engenheiros. Maringá/PR. CNPq. 1987. 493pp.

SCIENTIA CONSULTORIA CIENTIFICA. Relatório final: levantamento arqueológico na área de intervenção do projeto de mineração Juruti, PA. São Paulo, 2003.

SILVA, Karliney Souza da. 2016. *Sítio arqueológico do Macurany: da “invisibilidade” à espaço de ações educativas*. Trabalho de Conclusão de Curso de História. Universidade do Estado do Amazonas. Parintins.

Site CPE Tecnologia. MDT e MDS: você sabe a diferença? 2019. Acesso em 07 de outubro de 2021.

SUNRISE AND SUNSET, 2021. Consulta de horários do Sol a pino em cidades do Brasil e do mundo. Disponível em: <https://www.sunrise-and-sunset.com/pt/sun/brasil/parintins/2021/dezembro>. Acesso em: 08 de dezembro de 2021.

TEIXEIRA, W. G. 2008. Terra Preta de Índio: fatos e mitos dos solos antrópicos da Amazônia. In *Anais da FertBio 2008: desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental*. pp. 1- 11. Londrina: Embrapa Soja: SBCS: IAPAR, UEL.