



**MUSEU NACIONAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUEOLOGIA**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**ARTUR JORGE FERNANDES DE MAGALHÃES**

**“ARQUEOFOTOGRAMETRIA”: A APLICAÇÃO DA  
FOTOGRAMETRIA PARA REGISTRO ARQUEOLÓGICO 3D**

**Orientadora: Maria Dulce Barcellos Gaspar de Oliveira**

**RIO DE JANEIRO**

**2018**

**ARTUR JORGE FERNANDES DE MAGALHÃES**

**“ARQUEOFOTOGRAMETRIA”: A APLICAÇÃO DA  
FOTOGRAMETRIA PARA REGISTRO ARQUEOLÓGICO 3D**

Defesa de Mestrado  
submetida ao Programa de Pós  
Graduação em Arqueologia,  
Museu Nacional, Universidade  
Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,  
como requisito necessário à  
obtenção do grau de mestre em  
Arqueologia.

Orientadora: Maria Dulce Barcellos Gaspar de Oliveira

**Rio de Janeiro**

**2018**



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais José António de Sousa Magalhães e Maria do Céu Amaral Fernandes sem os quais não estaria aqui! E que apesar de estarmos separados por um oceano sempre me amaram e apoiaram! Gratidão!!!

À minha esposa, Chayanna Ferreira, por todo o apoio e companheirismo! Pela partilha de desabafos, de angústias (principalmente devido aos equipamentos quebrados), de incertezas e inseguranças. Mas também de muitas alegrias, descobertas e realizações ao longo desta pesquisa de Mestrado. A quem quero deixar público, mais uma vez: AMO-TE! És a mulher da minha vida!

À minha orientadora, Profa. Dra. MaDu Gaspar, obrigada pelo voto de confiança, disponibilidade, pelo aprendizado e palavras sábias que me proporcionou ao longo destes dois anos. A ela a minha eterna gratidão!

A todos os professores do Museu Nacional com quem tive o prazer de aprender nomeadamente: Profa. Dra. Claudia Rodrigues, Profa. Dra. Rita Shell, Professor Orlando Grillo, Profa. Dra. Tânia Andrade Lima e a Profa. Dra. Gina Bianchini. Mas também aos colegas da Pós-Graduação: Ana Luiza Berredo, Gilson Simon Pierre, Jéssica, Rafael, Natacha e Paloma pelos trabalhos em conjunto, pelas conversas, leituras e trocas de ideias, bem como pelos momentos de descontração na Feira de São Cristóvão.

O meu agradecimento vai também para diversos pesquisadores, professores ou administrativos, com os quais fiz contato, troquei dados ou recebi subsídios para a pesquisa: Alenice Baetta (MHN/UFMG), Andersen Lyro (UFRJ), André Strauss (*Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology*), Claudine Leite (UFRJ), Erika Robrahn-González (Documento), Ivo Rodrigues (IPHAN-MG), João Lucas Moreno (PPGarq-Museu Nacional-UFRJ), Ligia Zaroni (Arquetec), Lilian Cardoso (Museu Nacional UFRJ), Mercedes Okumura (PPGarq-Museu Nacional-UFRJ), Nazaré Rezende (UFRJ), Renato Ramos (PPGeo-Museu Nacional-UFRJ) e Rodrigo Torres (Texas A&M).

Aos colegas de arqueologia que me acompanharam ao longo destes trabalhos arqueológicos: Anderson Garcia, André Ávila, Júlio César Marins, Lia Santos, Nelson Almeida, Pedro Narciso e Ricardo Frigoli. Por todas as horas passadas ao lado destes excelentes profissionais da Arqueologia e pelo aprendizado proporcionado o meu sincero bem hajam!!!!

E para todos os flans do meu coração que de alguma forma ajudaram, escutaram e me aconselharam ao longo desta jornada: Dr. Nelson Almeida (excelente arqueólogo e amigo que me ajudou nos momentos em que mais precisei, o meu sincero muito obrigado!), Sonia Simões (arqueóloga e maninha do coração), Carlos Silva (irmão de toda uma vida), Lia Santos (arqueóloga e amiga de longa data), Linda Miriam (por ser a nossa mamazita e pelas palavras de incentivo), Nuno Patrício (por partilhar angustias académicas) e a Tania Pires (por ser uma estrela no meu universo). Mas em especial para a minha querida amiga Lia Nunes, historiadora e pesquisadora, que apesar de estar no outro lado do mundo, na Malásia, fez a revisão final e análise crítica ao texto. A todos um beijo enorme do fundo do meu coração!!!

E por último às minhas duas parceiras inseparáveis pelas horas de companhia Gaya Gandaia e Risca Larù. E claro, como não poderia deixar de ser, a CAPES pelo financiamento da bolsa de mestrado.

## **RESUMO**

MAGALHÃES, Artur Jorge Fernandes de. “ARQUEOFOTOGRAMETRIA”: A APLICAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA PARA REGISTRO ARQUEOLÓGICO 3D. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) - Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

O presente estudo propõe a análise do uso da fotogrametria digital a curta distância, terrestre e aérea, como metodologia de campo para o registro de sítios arqueológicos e dos artefatos e estruturas destes provenientes, enquanto ferramenta de registro arqueológico não invasiva, precisa e de baixo custo. Através do levantamento fotogramétrico de estudos de caso que se destacam no panorama da arqueologia brasileira (dois sambaquis, arte rupestre, estruturas e artefatos de distintas dimensões e materiais) foram criados modelos 3D e outras formas de registro gráfico como ortofotomapas e modelos digitais de elevação/superfície, por meio de software de processamento digital de imagens e geração de dados espaciais tridimensionais. Mediante a análise dos dados obtidos, foi feita comparação metodológica das especificidades e problemas na aquisição de imagens e geração dos modelos identificadas entre o registro fotogramétrico desde a escala macro até a escala micro, representados pelo levantamento aéreo de sítios arqueológicos por meio de Veículo Aéreo Não Tripulado (V.A.N.T.) até ao levantamento de pequenas peças arqueológicas respectivamente. Por último, vão ser contrapostos os resultados dos registros obtidos através de fotogrametria digital aos métodos tradicionais de registro arqueológicos. Propomos uma metodologia para a produção de modelos 3D, através da fotogrametria aplicada a arqueologia, e de como esta técnica pode auxiliar a análise, reconstrução e divulgação do Patrimônio Arqueológico.

**Palavras-chaves:** Arqueologia, Fotogrametria, Modelação 3D, V.A.N.T.

## **ABSTRACT**

MAGALHÃES, Artur Jorge Fernandes de. “ARQUEOFOTOGRAMETRIA”: A APLICAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA PARA REGISTRO ARQUEOLÓGICO 3D. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) - Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

The present study proposes the analysis of short range digital photogrammetry, terrestrial and aerial, as a field methodology for recording archaeological sites, features and artifacts, as a non-invasive, accurate and low cost archaeological recording tool. Through the photogrammetric survey of case studies that stand out in the Brazilian archeology panorama (two shell mounds, rock art, structures and artifacts of different dimensions and materials) will be created 3D models and other forms of graphic registry such as orthophoto maps and digital elevation / surface models, by means of digital image processing software and three-dimensional spatial data generation. Through the analysis of the obtained data, a methodological comparison was made of the differences and problematics of data acquisition and model generation identified between the photogrammetric record in macro and micro scale, represented by the aerial survey of archaeological sites by means of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and the recording of small archaeological pieces respectively. Finally, the results of the records obtained through digital photogrammetry will be contrasted with the traditional archaeological record methods and other forms of 3D recording. Proposing a methodology for the production of 3D models, through photogrammetry applied to archeology, and how this technique can aid in the analysis, reconstruction and dissemination of Archaeological Heritage.

**Keywords:** Archeology, Photogrammetry, 3D models, U.A.V.

## Lista de Abreviaturas

- (3D) - *Tridimensional*, três dimensões.
- (ALS) - *Aerial Laser Scanner*; Escâner a Laser Aerotransportado.
- (ANAC) - Agência Nacional de Aviação Civil.
- (ASP) - *American Society of Photogrammetry*; Sociedade Americana de Fotogrametria.
- (ASPRS) - *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*; Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento.
- (CAD) - *Computer-Aided Design*; desenho assistido por computador .
- (CIPA) - *Comité International de Photogrammétrie Architecturale*; Comité Internaconal de Fotogrametria Arquitectural.
- (CGP) - *Ground Control Points*; Pontos de controle de solo.
- (CONAMA) - Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- (DTM) - *Digital Terrain Model*; Modelos Digitais de Terreno.
- (DGPS) - *Diferencial Global Positioning System*; Sistema Diferencial de Posicionamento Global.
- (DSM) - *Digital Surface Model*; Modelos Digitais de Superfície
- (DSLR) - *Digital Single Lens Reflex*, Câmera Digital de Reflexo por uma Lente.
- (EDM) - *Electronic Distance Measurement*, Medidor de distancia eletrônico.
- (GPS) - *Global Positioning System*, Sistema de Posicionamento Global.
- (Gb) - Gigabit.
- (GHz) - Giga Hertz.
- (ICOMOS) - *International Council of Monuments and Sites*.
- (IPHAN) - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.
- (IMU) - *Inertial Measurement Unit*; Unidade de medição inercial.
- (ISP) - *International Society for Photogrammetry*; Sociedade Internacional de Fotogrametria.
- (ISPRS) - *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*; Sociedade Internacional de Fotogrametria e sensoriamento.
- (LIDAR) - *Ligth Detection and Ranging*; Detector de Luz e medidas.
- (OS) - *Operating system*; Sistema operativo.
- (RTS ) - *Robotic Total Station*; Estações totais robóticas.



(RAM) - *Random Access Memory*; Memória de acesso aleatório.

(RPM) - *Rotations Per Minute*; Rotações por minuto.

(SPHAN) - Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

(SIG) - Sistema de Informação Geográfica.

(SIFT) - *Scale-Invariant feature transform*; Transformação de recurso de escala

Invariável.

(SfM) - *Structure from Motion*, Estrutura a partir do Movimento.

(TB) - Terabit.

(TS) - *Total Station*; Estação total.

(TLS) - *Terrestrial Laser Scanner*; Escâner a laser terrestre.

(UAV) - *Unmanned Aerial Vehicle*; Veículo Aéreo Não Tripulado.

(UNESCO) - *United Nations for Education Science and Culture Organization*;

Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura.

(VANT) - Veículo Aéreo Não Tripulado

(\* .abc) Alembic.

(\* .dxf) Autodesk DXF

(\* .fbx) Autodesk FBX

(\* .obj) Wavefront OBJ

(\* .3ds) 3DS models

(\* .dae) COLLADA

(\* .ply) Stanford PLY

(\* .stl) STL models,

(\* .u3d) Universal 3D models

(\* .wrl) VRML models

(\* .kmz) Google Earth KMZ

(\* .pdf) Adobe 3D PDF

## Lista de Figuras

- Figura 1 - Exemplo de escavação através do método de Wheeler, na imagem podemos ver a área de escavação do montículo de Taxila-Bhir, 1944. As banquetas serviam para facilitar a circulação sobre a área de escavação e criar vários perfis testemunhos que permitissem uma interpretação vertical da estratigrafia (Wheeler, 1954, Lamina V, p. 80)..... 32
- Figura 2 - Modelo de Terreno Digital (DTM) mostrando uma seleção de sítios projetados como manchas escuras. (Fonte: Harris, 1987, p.164, fig. 16.2)..... 34
- Figura 3 - Mediante o uso de escâners a laser estão sendo realizados trabalhos de digitalização de património cultural pela equipe da CyArq (imagem a), como os Templos Maias de Tikal que podemos ver aqui representados através da nuvem de pontos 3D (imagem b). (Fonte: CyArq - <http://archive.cyark.org/tikal-gallery>)..... 37
- Figura 4 - Princípio do levantamento por LIDAR, no qual um escâner a laser é transportado por uma aeronave disparando um multifeixe de láseres os quais registram a topografia. Todos os pontos são georreferenciados através da combinação de uma unidade de medição inercial (IMU - *Inertial Measurement Unit*) e um GPS de bordo que registram o percurso de voo. Sendo complementados com uma estação de GPS no solo, que serve como referencia para o cálculo diferencial de GPS. (Fonte: Engström, T., & Johansson, M., 2009)..... 38
- Figura 5 - Exemplo da aplicação do LIDAR em Angkor Wat, Camboja. A imagem de cima apresenta uma imagem de satélite convencional comparada a um modelo digital de superfície obtido através de levantamento com LIDAR. Neste último, é possível identificar estradas, canais de irrigação, áreas de plantio e estruturas edificadas que de outra forma se encontravam ocultas pela vegetação. Esta técnica apresenta uma grande vantagem no campo do sensoriamento remoto nomeadamente na sua aplicação para a prospecção arqueológica. (Fonte: Evans et al., 2013:1596)..... 39
- Figura 6 - Método de captura 3D através de escâner de luz estruturada. .... 40
- Figura 7 - Foto aérea (imagem direita) da parte central do fórum tirada por G. Boni em um balão (imagem esquerda) pertencente a Brigada Especialista dos Engenheiros Militares do Exército Italiano (Fonte: Ceraudo, 2004)..... 42
- Figura 8 - Relação entre dados e teoria na arqueologia, segundo Hodder..... 44

Figura 9 - Visualização da posição que os modelos digitais podem tomar dentro da espiral hermenêutica. (Fonte: Lock, 2003, p.7). .....	45
Figura 10 - Fototeodolito de Laussedat. (Fonte: ESPARTEL-1978 <i>apud</i> Silva, 2015, fig.4). .....	49
Figura 11 - A) Primeira fotografia aérea da cidade francesa de Bièvre, realizada por Nadar em 1858. (Fonte: Valero, 2014, fig. 4); B) Fotografia aérea da cidade de Boston tirada também a partir de um balão, em 1860, por James Wallace Black e Samuel Archer King. (Fonte: Wikipedia). .....	50
Figura 12 - Primeiro Esteriocomparador da Zeiss. (Fonte: Zeiss).....	50
Figura 13 - Tomada de fotografias com câmera manual na 1ª Guerra Mundial. (Fonte: Silva, 2015, fig. 12).....	51
Figura 14 - Restituídor Analítico modelo Zeiss P3. (Fonte: Zeiss, 2018). .....	52
Figura 15 - Restituídor Digital no qual todo o processo passa a ser realizado de forma digital no que se refere a aquisição dos dados (imagens digitais ou scannerizadas) bem como a todo o processo de processamento dos dados para geração de ortoimagens ou imagens ortorretificadas e mosaicos digitais. (Fonte: Leica, 2018). .....	53
Figura 16 - Representação das três plataformas de aquisição de imagens digitais (drone, avião e satélite) que compõem as especializações da fotogrametria digital. A fotogrametria a curta distância, aqui representada pelo drone, para levantamentos em que a distância entre a câmera e o objeto varie entre alguns centímetros até 200 metros. A fotogrametria aérea para distâncias acima dos 200 metros. E a fotogrametria de satélite para distâncias ao objeto de cerca de 200 km. (Fonte: Droneapps, 2018). .....	53
Figura 17 - Exemplo do funcionamento do algoritmo SIFT. (Fonte: Lowe, 1999, fig. 4). .....	55
Figura 18 - Exemplo do princípio de captura de pontos através da técnica <i>Structure from Motion</i> (SfM) .....	55
Figura 19 - Exemplo dos três tipos de VANTs mais comuns balões, multirotores e asa fixa, respectivamente. (Fonte: Rodrigues, 2014, fig 1). .....	57
Figura 20 - A esquerda imagem da Nikon D3300 utilizada para fazer os levantamentos fotogramétricos (Fonte: Nikon, 2018). A direita exemplo de levantamento do bloco de sambaqui de Amourins através de câmera estabilizada por tripé (Fonte: foto Bezerra, 2017). .....	62
Figura 21 - Drone Phantom 4 pro da DJI usado nos levantamentos aéreos. ....	63
Figura 22 - Computador Msi usado para o pós-processamento das imagens. ....	65

<p>Figura 23 - À esquerda a bancada utilizada para o registro de pequenos artefatos com fundo infinito preto, iluminação e câmera fixa apoiada por tripe. À direita close up da plataforma giratória que serviu de referencia para a escala do objeto. Note-se que de forma a fixar o artefato na plataforma foi usada massa de modelar (Fonte: foto do autor, 2017).....</p>	66
<p>Figura 24 - A imagem da esquerda apresenta um exemplo de uma má cobertura fotografica de um objeto isolado. A da direita exemplifica um bom levantamento fotogramétrico de um objeto isolado na qual as fotos devem ser tiradas em volta de todo o objeto de forma a cobrir todas as suas partes (Fonte: imagens adaptadas do manual Agisoft, 2018).....</p>	67
<p>Figura 25 - A imagem da esquerda (A) apresenta um exemplo de uma má cobertura fotografica de uma fachada ou superfície única. A da direita (B) exemplifica um bom levantamento fotogramétrico de uma superfície única em que as fotos são tiradas sequencialmente e com um espaçamento entre elas de forma a cobrir todo o painel (Fonte: imagens adaptadas do manual Agisoft, 2018). .....</p>	67
<p>Figura 26 - Exemplo de um planejamento de voo realizado através do Software Drone Deploy para a área do sambaqui Amourins - RJ. ....</p>	68
<p>Figura 27 - Exemplo de imagem com mascara aplicada ao fundo. O uso de máscaras serve também para maximizar o tempo de processamento, focando somente o objeto e descartando áreas da fotografia que não tem interesse. ....</p>	69
<p>Figura 28 - (A) nuvem esparsa de pontos; (B) nuvem densa de pontos; (C) malha poligonal 3D; (D) modelo 3D com textura (MAGALHÃES et al, 2018). ....</p>	70
<p>Figura 29 - A imagem (A) apresenta uma fotografia do bloco de sepultamento com os alvos fotogramétricos colocados em sua volta, em cada fotografia o centro dos alvos foi marcado manualmente para que o programa possa otimizar o alinhamento das imagens. A imagem (B) representa uma vista de topo com os alvos e réguas criadas a partir da distância conhecida entre eles (40 cm) após a otimização do alinhamento (MAGALHÃES et al, 2018).....</p>	70
<p>Figura 30 - Fluxograma onde são representados os processos, utilizados durante esta dissertação, para aquisição de dados e criação de um registro 3D.....</p>	72
<p>Figura 31 - (A) Vista de topo da escavação do Sepultamento C; (B) vista geral da campanha de escavação de 2010 do sambaqui de Amourins (Fonte: adaptado de Gaspar 2011). ....</p>	74

Figura 32 - Mapa de localização do Sambaqui Amourins, Guapimirim, Rio de Janeiro. Mapa: Jasiel Neves.....	75
Figura 33 - a) localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa <i>Photoscan</i> que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.....	76
Figura 34 - Ortofoto retificada da planta baixa do bloco de sepultamento C de Amourins. ....	79
Figura 35 - a) Levantamento aéreo da área do sambaqui Amourins através do uso de drone. b) Detalhe do plano de voo realizado no aplicativo <i>Dronedeploy</i> para cobertura de toda a área do sitio. c) Da esquerda para a direita: Professor Dr. Renato Ramos; Ana Luiza Berredo; Donald. ....	80
Figura 36 - a) Modelo digital de elevação (DEM) com <i>hillshade</i> gerado no <i>Photoscan</i> . Este modo permite simular a incidência de uma fonte de luz sobre o DEM. b) Modelo digital de elevação (DEM) simples gerado no <i>Photoscan</i> . c) Ortofomapa georreferenciado gerado no <i>Photoscan</i> . d/e) Ortofomapa e DEM georreferenciados gerado no <i>Dronedeploy</i> . ....	82
Figura 37 - Imagem de satélite do sambaqui de Cabeçuda com a identificação dos diferentes Locus. Evidenciados a amarelo estão as áreas que foram alvo de registro, a área de escavação 1 (AE1) e perfil 1 (P1) do Locus 1; o perfil 2 (P2) do Locus 2 e a oficina lítica (OL) do Locus 6 .....	84
Figura 38 - Mapa de localização do Sambaqui de Cabeçuda, Laguna, Santa Catarina. Mapa: Jasiel Neves. ....	86
Figura 39 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa <i>Photoscan</i> que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.....	87
Figura 40 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa <i>Photoscan</i> que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.....	89
Figura 41 - A esquerda uma vista da ortofoto do perfil 1 após evidenciação do SEP. 15, onde são visíveis a escala de 2 metros e os 6 alvos fotogramétricos . A direita destaque para o sepultamento 15.....	91
Figura 42 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa <i>Photoscan</i> que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.....	92

Figura 43 - Ortofoto retificada do sepultamento 15 com os dois pontos que serviram como escala.....	94
Figura 44 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa <i>Photoscan</i> que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.....	95
Figura 45 - À esquerda a ortofoto retificada do perfil 1 após escavação da coluna antracológica, onde são visíveis os 6 alvos fotogramétricos . À direita destaque para a estratigrafia da coluna antracológica. ....	96
Figura 46 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Vista em perspectiva do modelo da área de escavação, Locus 1, Sambaqui Cabeçuda, SC. Nesta imagem vê-mos os pontos usados para georreferenciação e as escalas usadas para calcular a margem de erro.....	97
Figura 47 - Ortofotos retificadas da planta baixa e dos perfis da área de escavação 1 (AE1), Locus 1. ....	100
Figura 48 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa <i>Photoscan</i> que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.....	101
Figura 49 - Ortofoto retificada do Perfil 2, Locus 2.....	102
Figura 50 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Ortofoto da Oficina Lítica, Locus 6, Sambaqui Cabeçuda, SC. Nesta imagem vemos os pontos usados para georreferenciação e as escalas usadas para calcular a margem de erro. ....	103
Figura 51 - Vista em perspectiva do modelo 3D da Oficina Lítica, Locus 6, Sambaqui Cabeçuda, SC. Com destaque para os amoladores e bacias de polimento. .	106
Figura 52 - a) Mapa de elevação digital com cotas de nível. b) Mapa de elevação digital versão hillshade. c) Ortofoto retificada da Oficina lítica com os pontos de georreferenciação e escalas. d) Vista aérea do modelo carregado no Google Earth (.Kml) e) Vista de solo do modelo no Google Earth, onde podemos obter uma perspectiva da paisagem que rodeia o sitio em um ambiente 3D imersivo.....	107
Figura 53 – Mapa de localização do Trapiche António Leite, Morro da Saúde, Rio de Janeiro. Mapa: Jasiel Neves.....	109
Figura 54 - a) Sobreposição e localização das câmeras, cada ponto preto representa uma fotografia. b) Exemplo da plataforma elevatória usada para a realização das fotos.....	110

Figura 55 - Ortofoto da área de escavação Polinter 1, POL1, Morro da Saúde, RJ. Nesta imagem vemos os pontos usados para criar as escalas usadas para calcular a margem de erro. Como não existiam escalas no registro fotográfico foram usadas como referencia 3 laterias de sondagens de 1m <sup>2</sup> como referência. ....	112
Figura 56 - Documentação gráfica final da área de escavação da POL1. A ortofoto serve de base para ilustrar as informações interpretativas como números de unidades estratigráficas presentes na área de escavação, bem como a projeção da paleolinha costeira do século XVIII (Narciso, 2012:314 fig. 15). ....	113
Figura 57 - Mapa de localização das Estruturas Portuárias identificadas durante os trabalhos da Transoceânica, Jurujuba, Niterói, RJ. Mapa: Jasiel Neves.....	115
Figura 58 - Sobreposição e localização das câmeras, cada ponto preto representa uma fotografia da série tirada em volta da estrutura 1516. ....	116
Figura 59 - Ortofoto da estrutura 1516, trecho norte da estrutura portuária, Charitas, Niterói. Nesta imagem vemos os pontos usados para georreferenciação do modelo. ....	118
Figura 60 - Sobreposição e localização das câmeras, cada ponto preto representa uma fotografia da serie tirada em volta da estrutura BRT201.....	119
Figura 61 - Ortofoto da estrutura BRT201, trecho sul da estrutura portuária, Charitas, Niterói. Nesta imagem aparecem os pontos usados para georreferenciação do modelo. ....	121
Figura 62 - a) Vista da gruta na extremidade Leste do sítio onde se encontra o painel III, ao fundo depois da árvore localiza-se o painel II. b) Autor e o técnico do IPHAN Igor Rodrigues junto do painel I que foi alvo de registro para esta dissertação. ....	123
Figura 63 - a) Vista do paredão onde se localiza a gruta de Caieiras com as suas duas fendas verticais, voltadas a Leste, e que formam as duas entradas do sítio. No seu interior do lado direito ao fundo encontra-se o painel II. b) Autor e Dr. <sup>a</sup> Alenice Baetta e o Sr. João Barbara (guia local) a frente do painel II que foi alvo de registro para esta dissertação. ....	125
Figura 64 - Mapa de localização das pinturas (Cerca Grande) e gravuras parietais (Caieiras), Mocambo, Matozinhos, MG. Mapa: Jasiel Neves.....	126
Figura 65 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa <i>Photoscan</i> que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras. Note-se que o alvo	

mais a esquerda não foi considerado pois foi movido durante a tomada acabando por ficar duplicado. ....	127
Figura 66 - Ortofoto retificada do Painei II, Abrigo V, Cerca Grande, MG. a) Pinturas sobre grafite preto tradição ballet; b) Fauna tradição planalto; c) Tradição planalto com uma amarela da tradição agreste; d) Geométrico da tradição agreste.....	129
Figura 67 - Exemplo da aplicação de filtros que permitem destacar as figuras presentes no painel permitindo uma melhor visualização e interpretação das pinturas. ....	130
Figura 68 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa <i>Photoscan</i> que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras. Note-se que o alvo mais a esquerda não foi considerado pois foi movido durante a tomada acabando por ficar duplicado. ....	131
Figura 69 - a) Ortofoto retificada do Painei II, Gruta de Caieiras, MG. b) Zoom nas gravuras de cervídeos, antropomorfos e plantas.. ....	133
Figura 70 - Peças da coleção Alice Boer selecionadas para registro fotogramétrico. a) Lesma - Peça nº64207; b) Machado polido - Peça nº64207; c) Ponta de seta - Peça nº64207. ....	135
Figura 71 - Mapa de localização do sítio Alice Boer, Ipeuna, SP. Mapa: Jasiel Neves. ....	136
Figura 72 - Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de pontos após alinhamento das partes 1.....	137
Figura 73 - a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de parte 2. ....	137
Figura 74 - a) Verso da peça lítica, com os pontos 6 e 7 usados para alinhamento das nuvens de pontos. À esquerda da imagem podemos ver os pontos 8 e 9 que foram utilizados para criar a escala de 1 cm. b) Anverso da peça lítica. c) Pontos (1 ao 5) no anverso da peça aproveitando.....	138
Figura 75 - a) Verso. b) Anverso. c) Corte medial. d) Modelo 3D com relevo em destacado. ....	140
Figura 76 - Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de pontos da parte 2. c) Nuvem densa de pontos após alinhamento das duas partes. ....	141



Figura 77 - a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de parte 2. .....	142
Figura 78 - a) Vista lateral da nuvem densa de pontos da peça nº 64.208, onde são visíveis os pontos (1 ao 4) usados para alinhamento das duas partes da peça. Na parte inferior da imagem podemos ver os pontos 5 e 6 que foram utilizados para criar a escala de 1 cm, b) Modelo texturizado com os marcadores evidenciados. Note-se que a base giratória milimetrada que serviu de escala foi apagada antes das fases de criação de malha poligonal e aplicação de textura, mas ainda é possível verem-se os pontos que serviram de referência para colocar a escala o modelo. c) Os pontos foram colocados usando marcas naturais presentes na patina da peça. ....	143
Figura 79 - Medidas tomadas no modelo 3D. a) Comprimento. b) Largura. c) Marca de registro. ....	144
Figura 80- a) Verso. b) Lateral. c) Anverso. d) Corte medial. e) Modelo 3D com relevo em destacado.....	146
Figura 81 - Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de pontos após alinhamento das partes 1.....	147
Figura 82 - a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de parte 2. .....	147
Figura 83 - a) Verso da peça lítica, com os pontos 5, 6 e 7 usados para alinhamento das duas partes. À esquerda da imagem podemos ver os pontos 8 e 9 que foram utilizados para criar a escala de 1 cm. b) Anverso da peça lítica com os pontos. c) Pontos (1 ao 4) no verso da peça aproveitando a marca como referência. ....	148
Figura 84 - Medidas tomadas no modelo 3D. a) Comprimento. b) Largura. ...	149
Figura 85 - a) Verso. b) Lateral. c) Anverso. d) Corte medial. ....	151
Figura 86 - a/b/c) Vista aérea da área do sambaqui de Amourins onde é possível vermos a vegetação alta; d) modelo 3D do sítio onde é possível vermos os buracos na nuvem densa de pontos resultantes das áreas com maior vegetação. ....	153
Figura 87 - a) Distorção das cordas. b) Reflexo dos alvos devido ao fato de este ser plastificado. c) Alvo repetido devido ao seu deslocamento durante a aquisição das fotos. ....	153
Figura 88 - Exemplos de materiais que devido à sua fragilidade ou dificuldade de manipulação beneficiaram com o registro indireto proporcionado pela técnica	

fotogramétrica. a) Modelo 3D de um sepultamento da Lapa do Santo, MG. b) Modelo 3D de boneca Karajá.....	157
Figura 89 - Exemplo da otimização de visualização de profundidade que as múltiplas vistas do modelo 3D oferecem: a) vista da textura foto realista do modelo; b) vista da <i>mesh</i> do modelo.....	158
Figura 90 - Através do registro digital é possível agregar informações ao modelo. Na imagem podemos ver um close-up dos amoladores da oficina lítica do Sambaqui de Cabeçuda, SC.....	159
Figura 91 - a/b) Exemplos de medições de peças através do modelo 3D; c/d) O modelo permite uma melhor noção de profundidade da geometria de sítios e artefato; e) A aplicação de filtros permite manipular as cores realçando figuras, permitindo uma melhor leitura dos grafismos. ....	161
Figura 92 - Nas imagens é possível vermos depredações antrópicas e bioturbações do suporte pétreo: a) pichações e manchas de fezes de morcego (pontos negros); b) gravuras contemporâneas; c) remoção de parte do suporte pétreo e casa de maribondo.....	162
Figura 93 - Modelo 3D do bloco de sepultamento C de Amourins, onde é possível observarmos a marca de estaca (elipse amarela) e a medição dos fácies que se encontravam acima desta.....	163
Figura 94 - a) Ilustração da primeira hipótese levantada, na qual as estacas (E3, E4 e E5) serviriam para sustentação do corpo. b) Ilustração da segunda hipótese interpretativa, onde as estacas funcionam como delimitadoras do espaço de sepultamento. Desenhos Henrique Vences (Fonte: Berredo (2018), fig. 77 e 84). ....	164
Figura 95 - Imagem dos objetos que foram digitalizados e que podem ser visualizados através de aplicativo baixado para o celular. Este faz a leitura do QR code e gera uma vista fixa do modelo 3D que pode ser manipulada. ....	166
Figura 96 - Imagem do autor experienciando uma realidade virtual imersiva, navegando em um modelo 3D, através dos olhos 3D .....	167
Figura 97 - Vista da plataforma online de armazenamento e partilha <i>Sketchfab</i> . ....	169
Figura 98 - Na imagem podemos ver o pesquisador Antonio Iaccarino Idelson e os dois bustos após o seu restauro (Fonte: 3ders.org, 2017). ....	171
Figura 99 - Pormenor da peça impressa e dos ímanes que servem para a junção das suas partes (Fonte: 3ders.org, 2017).....	171

## SUMÁRIO

<b>Agradecimentos.....</b>	<b>4</b>
<b>Lista de abreviaturas.....</b>	<b>8</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>1. HISTÓRICO DA DOCUMENTAÇÃO ARQUEOLÓGICA .....</b>	<b>30</b>
1.1 O Registro Analógico.....	30
1.2 O desenvolvimento do Registro Digital.....	33
1.3 Questões teóricas sobre o uso do registro 3D em Arqueologia .....	42
1.4 Em Suma .....	46
<b>2. FOTOGRAMETRIA.....</b>	<b>48</b>
2.1 Conceito .....	48
2.2 Histórico.....	49
2.2.1 Fotogrametria Analógica .....	50
2.2.2 Fotogrametria Analítica .....	51
2.2.3 Fotogrametria Digital.....	52
2.3 Fotogrametria de curto alcance .....	54
2.4 Fotogrametria de curto alcance através do uso de drones.....	56
2.5 Aplicações na Arqueologia .....	58
2.6 Em Suma .....	60
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>61</b>
3.1 Materiais e considerações prévias .....	61
3.2 Coleta de dados .....	65
3.2.1 Pequenos objetos .....	66
3.2.2 Objetos isolados.....	66
3.2.3 Objetos de superfície única.....	67
3.2.4 Levantamento de grandes áreas .....	67
3.3 Processamento dos dados.....	68
3.4 Em Suma .....	71

<b>4. CASOS DE ESTUDO .....</b>	<b>73</b>
4.1 Sambaqui Amourins .....	73
4.1.1 Bloco de Sepultamento .....	76
4.1.2 Levantamento aéreo do sambaqui Amourins .....	79
4.2 Campanha de escavação sambaqui de Cabeçuda 2017 .....	83
4.2.1 Levantamentos fotogramétricos.....	87
4.2.2 Locus 1 - Perfil 1- 27 de Junho de 2017 .....	87
4.2.3 Locus 1 - Perfil 1- 29 de Junho de 2017 .....	89
4.2.4 Locus 1 - Sepultamento P15 .....	92
4.2.5 Locus 1 - Perfil 1- 05 de Julho de 2017.....	95
4.2.6 Locus 1 - Área de escavação .....	97
4.2.7 Locus 2 - Perfil 2 .....	101
4.2.8 Locus 6 - Oficina Lítica .....	103
4.3 Estruturas portuárias Porto Maravilha .....	108
4.3.1 Área de escavação Polinter 1 .....	110
4.4 Estruturas portuárias Transoceânica .....	114
4.4.1 Estrutura 1516.....	116
4.4.2 Estrutura BRT 201 .....	119
4.5 Painéis de arte rupestre - Lagoa Santa .....	122
4.5.1 Cerca Grande - Painel de pinturas rupestres.....	127
4.5.2 Caieiras - Painel de gravuras rupestres .....	131
4.6 Material lítico Alice Boer.....	134
4.6.1 Peça nº 64.207 - Raspador plano-convexo (Lesma) .....	137
4.6.2 Peça nº 64.208 - Machado polido .....	141
4.6.3 Peça nº 64.195 - Ponta de flecha .....	147
<b>5. DISCUSSÃO E APLICAÇÕES DOS MODELOS 3D .....</b>	<b>152</b>
5.1 Pontos Negativos.....	152
5.2 Pontos Positivos .....	155
5.3 Aplicações dos Modelos .....	160
5.3.1 Documentação Gráfica .....	160
5.3.2 Ferramenta de análise e interpretação.....	160

5.3.3 Difusão do Patrimônio Arqueológico .....	165
5.3.3.1 Realidade Virtual imersiva / aumentada e impressão 3D .....	165
5.3.3.2 Acervos científicos Digitais e bases de dados .....	168
5.3.4 Conservação e Restauro.....	170
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>172</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>175</b>

## INTRODUÇÃO

Esta dissertação surge da junção de dois interesses: a Arqueologia e as novas tecnologias digitais para o registro 3D. Foi através do contato em campo com um escâner de varrimento a laser, em 2013, que nasceu o gérmen deste trabalho. Ficando fascinados com a celeridade e rigor de registro do mesmo.

Tal fato fez com que iniciássemos uma pesquisa sobre as diferentes técnicas e aparelhos para o registro 3D disponíveis no mercado. Ao longo dessa pesquisa foi possível constatar que este tipo de ferramenta constitui uma vantagem, relativamente aos métodos de registro analógicos convencionais, devido à sua rapidez de aquisição de dados e à sua precisão, que pode atingir a ordem de milímetros. Contudo, os preços destes aparelhos eram impraticáveis para a maior parte das pesquisas, apenas acessíveis para grandes empresas ou instituições de ensino, o que punha em causa a sua aplicação *lato sensu*.

Concomitantemente a esta pesquisa, dá-se o aparecimento dos Veículos Aéreos Não Tripulados (V.A.N.T.s), vulgo *drones*, para uso civil. De baixo custo, estes vieram potenciar ainda mais esta técnica permitindo o levantamento fotogramétrico aéreo de grandes áreas, essenciais para o registro espacial. Percebendo o potencial que este tipo de aparelho teria aplicado a fotogrametria, adquirimos um *drone* em 2014.

Munidos de tais ferramentas, verificamos que era possível através da fotogrametria documentar tanto pequenos objetos, como grandes áreas arqueológicas, capturando as suas três dimensões de tal forma que podem obter-se reproduções com grande precisão e rapidez através de equipamentos relativamente acessíveis o que possibilita a sua ampla aplicação dentro do registro arqueológico.

Nesta dissertação será tratado como objetivo central o uso da fotogrametria a curta distância como ferramenta precisa da documentação arqueológica, ou seja, qual a precisão efetiva da fotogrametria? Mas pretendemos, também, que este trabalho sirva como um guia prático, em português, para o uso da fotogrametria na arqueologia. Desta forma, esperamos contribuir para um melhor entendimento da metodologia necessária para a produção de modelos 3D através da fotogrametria de curto alcance aplicada à arqueologia, tentando entender qual o grau de precisão desta e se a mesma, além de cumprir um papel como ferramenta de reconstrução virtual, pode vir a ser compreendida como uma ferramenta de registro arqueológico.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Com o intuito de obtermos dados empíricos que fundamentem a prática da fotogrametria digital (terrestre e aérea) como uma forma rápida, precisa e de suporte duradouro de documentação arqueológica, vão ser alvo de registro, através deste método, como casos de estudo de levantamento de grandes áreas:

- O sambaqui de Amourins, Rio de Janeiro (RJ), através do projeto “Sambaquis médios, grandes e monumentais: estudo sobre as dimensões dos sítios arqueológicos e seu significado social” (2010), coordenado por Maria Dulce Gaspar e apoiado pela FAPERJ/PRONEX (Processo: E-26/110.569/2010). Tal projeto teve *“o objetivo de recuperar, revisar e sistematizar dados sobre sambaquis do Rio de Janeiro e Santa Catarina, com o intuito de trazer nova contribuição para a interpretação da ocupação pré-histórica do litoral”* (Gaspar, 2013:8).
- A área de escavação da Polinter 1, Rio de Janeiro (RJ), que foi tema do projeto de mestrado de Pedro Narciso, colega do PPGARQ do Museu Nacional, intitulado “O TRAPICHE DE ANTÔNIO LEITE: (des)continuidades de uma infraestrutura portuária dos arrabaldes do Rio de Janeiro dos séculos XVIII e XIX”.<sup>1</sup> Estas pesquisas arqueológicas inserem-se no Programa Arqueológico do Porto Maravilha, com coordenação científica da Dra. Erika Marion Robrahn-González,

Já para a escala média (10m a 50cm) serão objeto de estudo:

- O sambaqui de Cabeçuda realizado no âmbito do projeto de pesquisa *Gente, plantas e bichos: uma investigação multidisciplinar sobre o ritual funerário em dois importantes sambaquis do sul de Santa Catarina (Jabuticabeira-II e Cabeçuda)*, financiado pelo CNPq (Edital Universal, 2010) e coordenado por Rita Scheel-Ybert e Claudia Rodrigues-Carvalho (Departamento de Antropologia, Museu Nacional, UFRJ) e do projeto de doutorado da Lilian Cardoso, colega do Museu Nacional, intitulado “Ossos e conchas: o processo de formação do sambaqui de Cabeçuda (Laguna, SC) sob um olhar zooarqueológico”.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Realizada no Programa de Pós-Graduação em Arqueologia do Museu Nacional, UFRJ, sob a orientação da Dra. Maria Dulce Gaspar.

<sup>2</sup> Projeto em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Arqueologia (Museu Nacional, UFRJ), desde setembro de 2013, sob orientação da Dra. Rita Scheel-Ybert.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

- Os painéis de pinturas da Cerca Grande e de gravuras do sítio Caeiras, provenientes de uma das mais expressivas regiões cársticas do Brasil, a Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa. Ambos os sítios se localizam no município de Matozinhos, próximo a cidade de Mocambo, Estado de Minas Gerais. E foram pesquisados no âmbito do projeto de Doutorado de Alenice Baetta, intitulado: *Os grafismos rupestres e suas unidades estilísticas no Carste de Lagoa Santa e Serra do Cipó - MG*.
- Estruturas portuárias, identificadas em 2016, no decurso do *Projeto de Prospecção e de Identificação Arqueológica e Patrimonial na Área do Corredor Viário Transoceânica, Município de Niterói, RJ*, sob a coordenação científica da Dra. Ligia Zaroni.
- Um de bloco sepultamento do sambaqui Amourins (RJ), que foi objeto de pesquisa no âmbito do projeto de mestrado de Ana Luíza Berredo, colega do Museu Nacional, intitulado *Arqueologia funerária no sambaqui de Amourins (Guapimirim/RJ)*<sup>3</sup>.

E para a escala pequena:

- Um conjunto de peças líticas provenientes do sítio arqueológico Alice Boer (Rio Claro, SP), pertencentes à reserva técnica do Museu Nacional. Realizado no âmbito do projeto de pesquisa de doutorado de João Carlos Moreno de Sousa, colega do Museu Nacional, intitulado: *TECNOLOGIA DE PONTA: Mudanças culturais durante o Holoceno em indústria líticas do Sudeste e Sul do Brasil*<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Projeto desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Arqueologia (Museu Nacional, UFRJ), defendida e aprovada em março de 2018, sob orientação da Dra. Maria Dulce Gaspar.

<sup>4</sup> Projeto em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Arqueologia (Museu Nacional, UFRJ), desde setembro de 2015, sob orientação da Dra. Mercedes Okumura.



## Justificativa

As legislações internacionais e nacionais de preservação dos monumentos e sítios arqueológicos são a fundamentação da importância da documentação através da fotogrametria.

O registro arqueológico comparece nas preocupações da UNESCO, tem lugar nas recomendações de Nova Deli (1954) e, mais recentemente, na carta de Laussane (1990), onde encontramos as principais definições quanto à sua amplitude e proteção (Bastos, 2011). Considerando a recomendação do ICOMOS, a proteção do patrimônio arqueológico é indispensável por permitir que arqueólogos e cientistas possam estudá-la e interpretá-la em nome das gerações presentes e futuras (Duarte, 2004).

Já no âmbito nacional as principais leis e decretos federais de proteção do patrimônio arqueológico no Brasil são: Lei n.º 3924/61, Lei n.º 7.554/86, Resolução CONAMA n.º 001/86, Constituição Federal 1988 (artigos 20, 23, 215 e 216), Portaria SPHAN n.º 007/88, Lei de Crimes Ambientais n.º 9.605/98 e Portaria IPHAN n.º 230/02. O objetivo das mesmas é garantir a preservação e regulamentar as pesquisas arqueológicas no país. Destacam-se, de entre estas, a Constituição Federal de 1988 a qual “estabelece como mecanismos de proteção do patrimônio cultural brasileiro: 1) inventários, 2) registros, 3) vigilância, 4) tombamento, 5) desapropriação, e 6) outras formas de acautelamento e preservação”.

O registro na arqueologia assume uma posição fulcral pois é através deste e da sua análise que se constroem ideias e que são feitas comparações e interpretações das sociedades do passado. O rigor e exatidão da documentação gerada é de suma importância no registro arqueológico. Ao longo do desenvolvimento da arqueologia como disciplina científica, os pesquisadores têm procurado sempre melhorar as formas de registro existentes (desenhos, anotações, medições e fotos), bem como implementar novas tecnologias sempre que estas possam acrescentar mais dados qualitativos e quantitativos (teodolito, estação total e varrimento a laser), com o intuito de se obter um registro o mais aproximado daquilo que se observou em campo ou no laboratório.

Desde a sua criação, no séc. XIX, que a fotografia/fotogrametria e, posteriormente, a aerofotogrametria servem como ferramentas no registro arqueológico.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Segundo Oliveira (2008:89):

A fotogrametria terrestre pode ser considerada como a única técnica capaz de produzir um documento autêntico, como requer a Carta de Veneza, por intermédio do qual podemos empreender uma ação de anastilose responsável. Se bem executada, consegue resgatar a forma exata do edifício, sendo referência para se observar o andamento de deformações estruturais, ocorrência de lacunas e degradações dos materiais da fábrica. É, por isto mesmo, uma técnica recomendada pelos organismos internacionais que congregam a comunidade dos restauradores.

Apesar do autor se referir apenas ao patrimônio edificado, será possível verificar ao longo do trabalho que a fotogrametria pode ser, também, aplicada ao patrimônio arqueológico em suas diferentes manifestações (pinturas rupestres, coleções de artefatos, registro estratigráfico, *e.g.*).

Com o desenvolvimento das tecnologias digitais, nomeadamente da fotogrametria de curto alcance, é possível a construção de um modelo 3D *in situ*, a partir de um grupo de fotografias, necessitando apenas de uma câmera digital e de software de modelagem 3D. Para Matthews (2008:1),

“a rápida evolução das câmeras digitais e crescentes capacidades de computação e de software analítico expandiu dramaticamente a variedade de situações a que a fotogrametria pode ser aplicada, ao mesmo tempo, que diminuíram os custos de aquisição, processamento e análise”.

Contudo, este tipo de registro exigia, no passado, a disponibilidade de equipamentos dispendiosos e muito técnicos, acessíveis apenas ao setor privado ou a grandes centros de pesquisas, como universidades.

A importância da fotogrametria como uma ferramenta de documentação arqueológica não se restringe somente à precisão. O uso de um modelo 3D permite observar de maneira rápida e de diferentes perspectivas, as relações existentes entre unidades de escavação e seus componentes, sem a necessidade de consultar distintas fichas e desenhos (Losier, 2007:15).

No caso de patrimônio arqueológico que está exposto aos elementos naturais, bem como a possíveis depredações antrópicas, a criação de um modelo 3D servirá de testemunho o qual pode ser comparado a levantamentos futuros o que permite acompanhar o seu grau de deterioração ao longo do tempo ou, permitindo também, o estudo rigoroso do objeto após a perda total ou parcial do mesmo. É ainda uma forma de realizar documentação sem o contato direto com o objeto, o que auxilia a sua preservação. Tais princípios foram considerados na escolha dos painéis de arte rupestre como estudo de caso, pois encontram-se expostos ao tempo.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Já para o caso do sepultamento em bloco proveniente do sambaqui Amourins, a importância do seu registro advém do fato deste permitir conservar virtualmente a estratigrafia de um bloco que após a sua escavação deixará de existir pois, apesar de fundamental para a pesquisa, a escavação não deixa de ser um processo destrutivo.

Pelo que ficou acima demonstrado, através da fotogrametria é possível um registro de qualidade, capaz de criar um “*documento autêntico*”, maximizando tempo e custos. Desta forma as pesquisas podem tornar-se mais ambiciosas, definindo metas mais complexas, com a obtenção de um número maior de dados com mais variáveis e amostras cada vez maiores, de maneira a compreender melhor o passado que nos é revelado através das investigações arqueológicas, salvaguardando de forma mais eficiente o patrimônio cultural.

## Objetivos

### Objetivo Geral

Pretendo nesta dissertação demonstrar o potencial da fotogrametria digital de curto alcance (terrestre e aérea), enquanto ferramenta de registro arqueológico não invasivo, no âmbito da documentação do Patrimônio Cultural, permitindo fazer correlações que só se apresentam com o desenvolvimento das escavações.

### Objetivos Específicos

- 1) Levantar exemplos nacionais e internacionais de trabalhos fotogramétricos aplicados à área de arqueologia.
- 2) Utilizar técnicas de fotogrametria com uso de VANT para realizar o levantamento aéreo fotográfico de um sítio arqueológico de forma a criar através de *software* um ortofotomapa e modelo 3D do terreno.
- 3) Utilizar técnicas de fotogrametria para realizar o levantamento fotográfico de peças arqueológicas, de diferentes dimensões e materiais, de forma a criar através de *software* um modelo 3D das peças.
- 4) Analisar e comparar as diferenças metodológicas dos levantamentos fotogramétricos entre as escalas macro e micro.
- 5) Comparar as vantagens e desvantagens, do registro fotogramétrico relativamente aos métodos tradicionais de registro arqueológico.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

- 6) Propor uma metodologia para a produção de modelos 3D através da fotogrametria que se aplique especificamente a arqueologia.
- 7) Agregar conhecimento.

## **Estrutura**

Esta dissertação está estruturada em 5 capítulos, distribuídos da seguinte forma:

*Capítulo 1:* Apresenta a fundamentação teórica, de modo a aprofundar e conhecer os temas a serem abordados na dissertação. Neste capítulo será apresentado um breve histórico do desenvolvimento da documentação de campo. Abordando os conceitos de registro arqueológico, porque se registra, o que se registra e como se registra ao longo do tempo. De forma a demonstrar como a documentação evoluiu paralelamente ao progresso tecnológico, desde o início da disciplina até aos nossos dias e de como este impactou os paradigmas teóricos da disciplina.

*Capítulo 2:* Aponta a origem e exprime a utilidade da Fotogrametria na Arqueologia, não só como ferramenta preliminar que subsidia os trabalhos de campo, mas também como ferramenta poderosa de gestão do património arqueológico e democratização do conhecimento. Neste capítulo são apresentadas de uma forma sucinta as diferentes fases da fotogrametria (analógica, analítica e digital), com especial enfoque na fotogrametria de curta distância e na sua aplicação no âmbito da Arqueologia.

*Capítulo 3:* Apresenta a metodologia seguida para atingir a finalidade da dissertação, sendo expressa tanto a metodologia científica seguida para o levantamento fotogramétrico nas etapas de campo (prospecção e escavação), bem como as diferentes estratégias, técnicas subjacentes a cada um dos distintos tipos de artefatos levantados em laboratório. Expondo as várias etapas do processamento das imagens (no que se refere ao tratamento da luz, saturação, cor, correção de distorção de lente e criadas máscaras nas fotos em que apareçam objetos em movimento, sombras, outros objetos, reflexos ou falta de textura) e o posterior processamento destas através do uso de *software* especializado para construção do modelo 3D (detecção da posição de pares de fotografias, alinhamento dos pontos idênticos entre elas, construção da geometria e aplicação de textura ao modelo).

*Capítulo 4:* Apresenta os estudos de caso com o intuito de se obterem dados empíricos que fundamentem a prática da fotogrametria digital (terrestre e aérea) como uma forma rápida, precisa e de suporte duradouro de documentação arqueológica. Neste

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

capítulo será feita uma análise metodológica comparativa entre a criação de modelos 3D de grandes áreas (como sítios, patrimônio edificado e painéis de arte rupestre) e os objetos de média / pequena dimensão (como blocos de sepultamento e pequenos artefatos). No final deste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na restituição fotogramétrica dos estudos de caso e elaborada uma proposta de sistematização da fotogrametria no registro arqueológico 3D.

*Capítulo 5:* Desenvolve uma discussão crítica dos resultados obtidos pela técnica ao longo dos casos de estudo, contrapondo suas vantagens (*e.g.* o aumento da precisão, a informação retirada do registro é mais completa, os custos e tempo de levantamento reduzidos, além de tratar de uma forma de registro indireto, não invasivo) e desvantagens relativamente ao patrimônio material. Este capítulo abordará também o uso de modelos 3D para fins de pesquisa como ferramenta analítica e interpretativa; de difusão/exposição ou como meio de monitoramento e restauro. Através da constituição de acervos científicos digitais, os quais podem ser alvo de estudos ou utilizados como referência de acervo por parte de pesquisadores; da criação de realidades virtuais potencializando a acessibilidade e divulgação de museus e acervos, diminuindo os riscos e custos inerentes a exposição de artefatos. No uso da realidade aumentada, imersiva transportando o patrimônio até aos indivíduos ou estes até ao patrimônio. E até mesmo da impressão 3D que através da reprodução de artefatos permite o seu estudo indireto bem como, num âmbito mais didático, o manuseio de réplicas de peças arqueológicas para uso em sala de aula.

## 1. HISTÓRICO DA DOCUMENTAÇÃO ARQUEOLÓGICA

A arqueologia, bem como muitas outras disciplinas, está passando por uma "revolução digital", mas antes da introdução dos instrumentos de registro digitais, os métodos analógicos eram o padrão há muitas décadas. Neste capítulo será feita uma breve síntese histórica do *modus operandi* que os arqueólogos empregaram no registro arqueológico no passado até a atualidade. Hoje dispomos de várias ferramentas digitais que potencializam as suas antecessoras analógicas, agilizando a forma como realizamos o registro espacial em campo, bem como a sua precisão. Estas, permitem-nos obter leituras dos dados ainda em campo, transformando estes instrumentos em poderosas ferramentas analíticas. Este capítulo será dividido em três partes, a primeira irá descrever o desenvolvimento dos métodos de registro espacial arqueológico para mostrar como os métodos utilizados hoje evoluíram a partir de um similar analógico até um estado digital. A segunda parte vai mostrar o estado atual das técnicas de documentação espaciais em arqueologia, com foco nas digitais. E por último, será demonstrado como estas mudanças impactaram ou foram impactadas pelos paradigmas teóricos da disciplina.

### 1.1 O registro analógico

A evolução dos métodos de registro e práticas de campo arqueológicas remetem aos inícios da própria disciplina. Conforme nos indica Harris (1989:15), ainda no século XIX, a arqueologia estava associada ao colecionismo e a antiquários. O método de escavação, ou a ausência de um, baseava-se na abertura de buracos ou valas ao acaso na busca de objetos antigos de valor estético ou monetário ao estilo da caça ao tesouro.

Somente na virada do século XIX para o século XX é que começa a existir uma preocupação com o registro de todos os objetos advindos de uma escavação. O General Augustus Lane-Fox Pitt-Rivers (1827-1900) foi o pioneiro nas técnicas de registro de escavações, tendo trazido o seu rigor e precisão militares para o campo. Segundo Renfrew e Bahn (1997:31), Rivers produziu:

Planos, secções e até mesmo modelos foram feitos e a posição exata de cada objeto foi registrada. Ele não estava preocupado em recuperar belos tesouros, mas todos os objetos por mais mundanos que fossem. Ele foi um pioneiro na sua insistência no registro total.

Renfrew e Bahn (1997:32), apresenta-nos também Sir William Flinders Petrie (1853-1942), contemporâneo de Pitt-Rivers, que também prezava pelo registro detalhado de suas escavações e por seu sistema de seriação cronológica.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

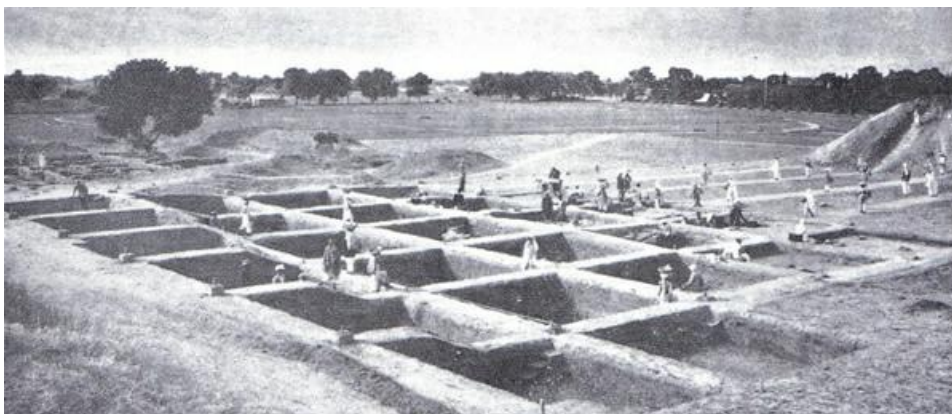
No manual de Arqueologia Pré Histórica, Nuno Bicho (2006:59-60) indica que Petrie, não possuindo experiência, criou o seu próprio método de investigação baseado em quatro princípios: 1) cuidado com os monumentos escavados e preocupação com futuros pesquisadores e visitantes; 2) descrição detalhada de tudo o que encontrava; 3) planos e mapas detalhados dos monumentos e escavações; 4) publicação completa dos resultados.

Em 1904, Petrie publica o livro *Methods and Aims in Archeology*, no qual aponta como objetivos de uma escavação "... obter planos e informações topográficas, e ... antiquários portáteis" (Flinders Petrie, 1904: 33). Através deste livro, Petrie define pela primeira vez os objetivos da Arqueologia e os protocolos necessários para alcançar tais objetivos.

Apesar destes terem sido pioneiros na criação de metodologias de registo de campo, tendo inclusive demonstrado grande rigor ao registrar a posição tridimensional dos objetos como nos indica Harris (1989:23):

Os objetos não eram, contudo, registrados em relação a níveis ou a camadas arqueológicas numeradas. Eles eram registrados em medidas tridimensionais. A elevação dava a altura absoluta do ponto e duas outras medidas colocavam o objeto no plano horizontal.

Segundo o autor, ainda não existia uma preocupação efetiva com a estratigrafia e os níveis escavados eram arbitrários (Harris, 1989:16). A preocupação com a estratigrafia surgiria apenas em 1930 através do método de Wheeler, de Mortimer Wheeler (1890-1976), general do exército, publicada no seu livro "*Archaeology from the Earth*", de 1954. Esta nova metodologia, conhecida também como método da quadrícula (*vide* figura 1), consiste na implantação de quadras alfanuméricas introduzindo uma parede testemunho entre cada quadricula de forma a ter um registro vertical e conseqüentemente um controle da estratigrafia. Harris (1989:18) afirma que com este novo método Wheeler esperava obter um registro de escavação que atendesse aos dois quesitos horizontal e vertical.



**Figura 1 - Exemplo de escavação através do método de Wheeler, na imagem podemos ver a área de escavação do montículo de Taxila-Bhir, 1944. As banquetas serviam para facilitar a circulação sobre a área de escavação e criar vários perfis testemunhos que permitissem uma interpretação vertical da estratigrafia (Wheeler, 1954, Lamina V, p. 80).**

O método de Wheeler foi amplamente aceite pela comunidade arqueológica e transformou-se numa referência no que diz respeito a métodos de escavação e registro. Contudo, algumas críticas surgiram indicando que o método valorizava demasiadamente o registro vertical em detrimento do horizontal e que os perfis testemunho muitas vezes dificultavam ou ocultavam a leitura das camadas/estruturas (Renfrew et al., 1997:108; Barker, 1993:25).

Um dos principais críticos do método de Wheeler foi Philip Barker (1920-2001) que, em 1960, defendia o método de escavação em área aberta. Este método caracteriza-se pela escavação dos níveis estratigráficos naturais em extensão de forma a obterem-se planos detalhados da composição, e em três dimensões, de cada camada estratigráfica (Barker, 1993:25). Segundo Renfrew et al. (1997:109), Barker introduz também o conceito de secção cumulativa eliminando assim a necessidade de manter perfis testemunho, criando uma representação gráfica final que era composta por um conjunto de desenhos de diversos perfis. Além das secções contínuas, o registro vertical era feito através de medidas do topo e base de cada camada, e desenhando as secções posteriormente ao processo de escavação.

O próximo avanço nos métodos de registro arqueológico seria dado por Edward Harris através da publicação do seu livro *Principles of Archaeological Stratigraphy* (1979). Segundo Bicho (2006:180), foi durante os seus trabalhos no sítio histórico de Lower Brook Street em 1973 que Harris, compreendendo a importância que o impacto antrópico tinha na estratificação dos sítios, decidiu criar uma "ferramenta analítica" que lhe permitisse sintetizar a informação de milhares de notas num único documento. A matriz de Harris, como ficaria conhecida, consistia na representação das camadas



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

estratigráficas através de um diagrama, ao invés do seu desenho detalhado, que serviria como base para a interpretação das relações estratigráficas (Barker, 1993:157).

Desta forma, Harris cria as leis da sucessão estratigráfica, bem como os conceitos de unidade estratigráfica arqueológica e de *interface*, introduzindo fichas de registro para a descrição sistemática das diferentes relações estratigráficas de forma a simplificar a consulta dos dados e, conseqüentemente, a interpretação do sítio (Harris, 1979:34).

No que se refere aos equipamentos utilizados no registro arqueológico, o lápis, o papel e a trena eram as principais ferramentas para a realização manual dos desenhos, tomada de medições e anotações. Este tipo de registro convencional, feito a mão, ainda é utilizado nos dias de hoje pois é simples e de baixo custo, porém é um método de registro direto, que necessita que o arqueólogo muitas vezes toque ou caminhe sobre a estrutura alvo de registro, de baixa precisão e demorado (Pavlidis, 2007:96). Contudo, equipamentos como as câmeras fotográficas e os teodolitos foram sendo introduzidos no registro de campo, ainda que de forma reduzida devido ao fato de serem equipamentos caros, frágeis e que exigiam mão de obra técnica especializada.

Segundo Silva et al. (2012) a expedição de R. Lepsius ao Egito, entre 1842 e 1845, foi a primeira campanha arqueológica a fazer uso de fotografia em campo (*vide* histórico Silva et al., para mais informações sobre o desenvolvimento fotografia). E em 1904, Petrie já indicava no seu livro *Methods and Aims in Archeology* os protocolos para o uso de câmeras em campo, dedicando um capítulo (VII) ao uso da fotografia como forma de registro arqueológico. Ao longo deste capítulo, Petrie indica com grande detalhe o funcionamento e características da câmera, posicionamento dos objetos, tipos de luz e uso de refletores, fotografia estereográfica e revelação (Flienders Petrie, 1904:73/84).

## 1.2 O desenvolvimento do registro digital

A aplicação das tecnologias digitais ao registro arqueológico viria a acontecer já na década de 1970, na elaboração de bases de dados e de análises estatísticas. De fato, grandes computadores para cálculos já vinham sendo desenvolvidos desde a década de 1940. Mas seria apenas com a criação dos microprocessadores pela *Intel* (1971) e com o surgimento dos primeiros micro computadores (Apple II 1977 e IBM-PC 1980) que assistiríamos à difusão dos computadores pessoais (PCs) em ampla escala (Ribeiro, 2001:41-42; Lock, 2003:11).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

De fato, a busca por um maior rigor e interdisciplinaridade da corrente Pós-Processualista levaria a um crescente interesse no uso das tecnologias digitais. Com a popularização dos computadores assistiríamos a uma crescente aplicação dos PCs para "*gerir e organizar a informação arqueológica de um modo cada vez mais rigoroso*", nomeadamente na construção de bases de dados, ao longo da década de 1980, e na criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG ou GIS - Geographic Information System) na década de 1990 (Ribeiro, 2001:43).

Um exemplo do uso dos SIG no âmbito da arqueologia é apresentado por Harris (1989), que escreve sobre o uso de modelos digitais de terreno (DTM - *Digital Terrain Model*) para a "*reprodução de superfícies topográficas*" sobre as quais "*dados espaciais arqueológicos*" podem ser projetados (*vide* figura 2). Segundo Harris, os DMT permitem "*a geração de imagens representativas das massas de terra*", as quais podem ser vistas de múltiplas perspectivas, rotacionadas e ampliadas sem alterar a sua escala. Podendo ainda ser usados para verificar a "*intervisibilidade entre sítios*". Aponta ainda que os modelos podem ser usados à escala de uma escavação para "*plotar tridimensionalmente artefactos e camadas estratigráficas correlacionando-as através de uma base de dados SIG*". Por último, refere ainda o potencial destes modelos 3D para testar hipóteses (*e.g.* variações do nível do mar) e como uma forma de representação dos dados arqueológicos que permite uma interpretação mais direta por parte do público (Harris, 1989:161-168).

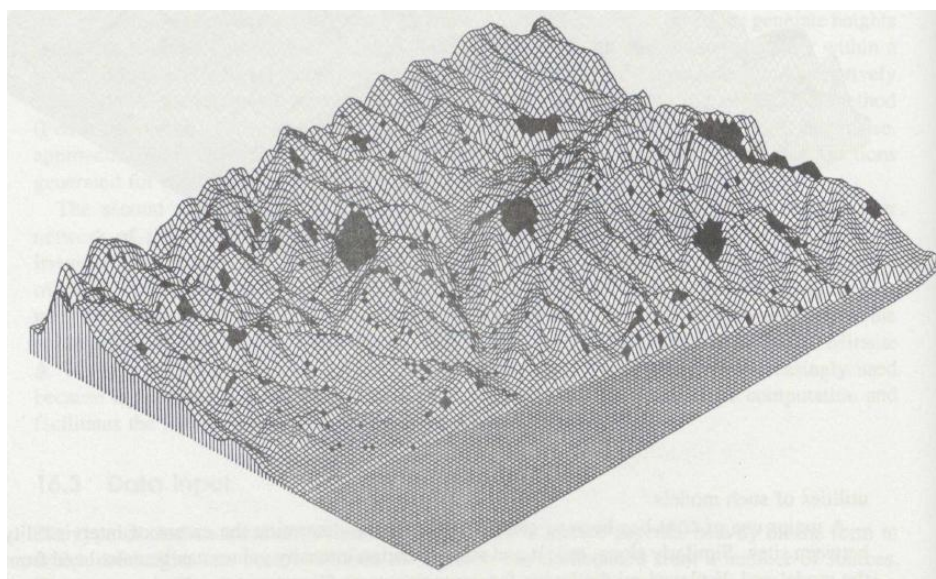


Figura 2 - Modelo de Terreno Digital (DTM) mostrando uma seleção de sítios projetados como manchas escuras. (Fonte: Harris, 1987, p.164, fig. 16.2).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Como pudemos ver através do exemplo supracitado, um SIG nada mais é do que um mapa que possui uma interface com uma base de dados espaciais através da qual é possível armazenar diversos tipos de dados, selecionando e analisando diferentes características. Através destes, é possível serem criados modelos preditivos que subsidiam na localização de sítios e permitindo ainda, segundo Renfrew et al. (2000:89-89), auxiliar na "*compreensão da distribuição de sítios arqueológicos na paisagem e na proteção e gestão de vestígios arqueológicos no âmbito da gestão de recursos Culturais*".

Os SIG tem servido desde então como ferramenta arqueológica de análise espacial originando uma especialização dentro da própria disciplina que lida com as implicações práticas e teóricas do SIG na arqueologia (ver histórico Van Riel, 2016:7).

Mas não foi apenas o mundo computacional que contribuiu para o desenvolvimento do registro arqueológico. Várias ferramentas de registro digitais surgiram desde a década de 1980 e vieram maximizar a precisão e rapidez com que os levantamentos são efetuados.

É o caso do GPS (*Global Positioning System*), um sistema de navegação e posicionamento em tempo real, lançado em 1978, e que opera através de um conjunto de 21 satélites (Bicho, 2006:124). Autores como Barker (1993:181), Renfrew (2000:88), Lock (2003:66), Bicho (2006:125) e Connolly and Lake (2006:63) têm atestado a utilidade deste tipo de ferramenta para o registro arqueológico. De fato, segundo Bicho (2006:125) "*são instrumentos ideais para a localização de sítios arqueológicos; podem ser usados para a medição de certas distâncias dentro do sítio e servir no seu mapeamento preliminar*". Nos últimos anos, os dados de GPS têm servido para subsidiar as bases de dados espaciais dos SIGs ou vêm sendo usadas de forma integrada com tecnologias de sensoriamento remoto (ver histórico Lei Luo et al., 2014:179). Contudo, alguns autores (Bicho, 2006:125-126; Connolly et Lake, 2006:63-64) salientam que, apesar da sua grande portabilidade, este tipo de aparelho apresenta algumas limitações, nomeadamente na aquisição de satélites em áreas urbanas ou de vegetação alta nas quais o sinal pode ser diminuído e com isso afetar o grau de precisão do aparelho. Já no que se refere à precisão propriamente dita, existem dois tipos de aparelhos: o GPS comum, com margens de erro que variam de um até alguns metros, e o DGPS (*Diferencial Global Positioning System*), que apresenta erros na ordem dos centímetros, sendo mais indicado para o registro topográfico de sítios e artefatos.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Apoiado nas reflexões de Bicho (2006:126-127), outro grande avanço foi o desenvolvimento do medidor eletrônico de distância (EDM - *Electronic Distance Measurement*), o qual permitiu que os teodolitos ópticos evoluíssem para estações totais. Tanto a estação total (TS - *Total Station*) como a sua versão analógica servem para medir os ângulos horizontais (azimutal) e verticais (zenital) entre o aparelho e um ponto que se queira registrar. O grande diferencial da sua versão digital é que o EDM permite, através de um laser, tomar medidas horizontais diretas de um ponto e realizar os cálculos taqueométricos automaticamente, registrando assim as coordenadas X,Y,Z do ponto, sem a necessidade de cálculos manuais posteriores os quais podem originar erros. Estes pontos são depois armazenados em um cartão de memória e posteriormente podem ser descarregados em um computador de forma a subsidiar a base de dados espaciais de um SIG.

Segundo Bicho (2006:127), este tipo de ferramenta digital é bastante eficaz para a Arqueologia pois:

permite fazer a localização rápida de um sítio arqueológico em relação a um marco geodésico, fazer a topografia do sítio, bem como o levantamento tridimensional dos artefatos ou estruturas durante as escavações, tudo isto apenas com duas pessoas, uma que trabalha com a estação total e outra que segura o prisma.

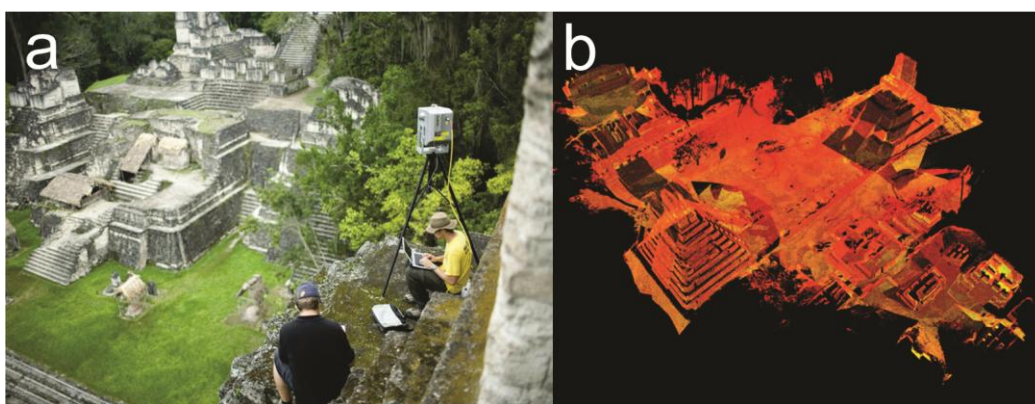
De fato, uma das grandes limitações apontadas por Lock (2003:62-63), relativamente ao uso das estações totais comparativamente ao GPS, é que a aquisição de pontos necessita de duas pessoas para realizar o registro e de intervisibilidade entre a estação e o prisma, o que nem sempre é possível. Hoje em dia já existem versões mais modernas destes aparelhos que permitem o registro de pontos com um único operador, tratam-se das estações totais robóticas (RTS - *Robotic Total Station*), que permitem levantamentos mais rápidos; contudo este tipo de aparelhos é substancialmente mais caro.

Segundo Donneus e Neubauer, estas ferramentas digitais permitiram uma redução significativa no tempo de aquisição de pontos e uma diminuição nos níveis de erro de centímetros para milímetros. Mas ainda era necessário registrar cada ponto individualmente, pelo que a sua utilidade se restringia ao levantamento de pontos, vértices e contornos das estruturas ou topografias simples dos sítios arqueológicos, pois levantamentos mais complexos requeriam muito tempo. Os autores referem ainda que o método, por ser direto, não é o mais indicado para superfícies vulneráveis pois exige um

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

caminhamento sobre as estruturas para posicionamento do prisma (Donneus et al., 2005:229).

O próximo salto tecnológico seria dado através dos escâneres a laser (TLS- *Terrestrial Laser Scanner*) que, durante a década de 1990, começaram a ser aplicados à arqueologia com excelentes resultados, principalmente para o levantamento topográfico de grandes áreas, de planos verticais e de superfícies complexas, como é o caso das cavernas (Hoffmaister, 2018:195). Os TLS vieram colmatar as limitações das TS, apresentando-se como um método indireto, que não necessita de contato direto com o objeto de registro, e diminuindo o tempo de aquisição, já que milhares de pontos georreferenciados são tomados em um único levantamento (*vide* figura 3).



**Figura 3 - Mediante o uso de escâneres a laser estão sendo realizados trabalhos de digitalização de património cultural pela equipe da CyArq (imagem a), como os Templos Maias de Tikal que podemos ver aqui representados através da nuvem de pontos 3D (imagem b). (Fonte: CyArq - <http://archive.cyark.org/tikal-gallery>).**

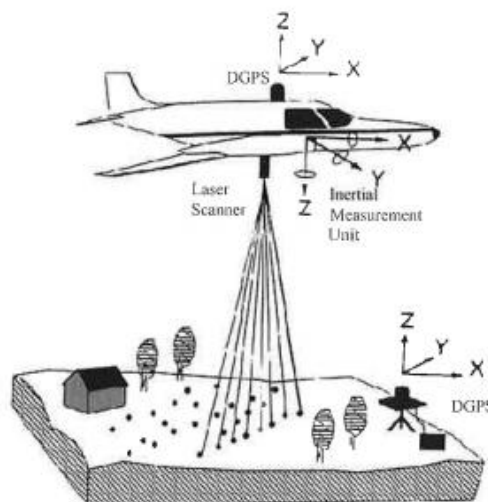
O alcance destes aparelhos (de alguns centímetros a alguns quilómetros) e a sua precisão (de microns até alguns milímetros) vieram também aumentar significativamente as capacidades de registro espacial na arqueologia (*vide* tabelas 2 e 3, Remondino 2011:1107-1108, para mais informações acerca do alcance e precisão dos vários TLS disponíveis no mercado). Contudo, apesar da rapidez de levantamento e precisão, os TLS ainda são equipamentos caros, pesados e com uma textura de baixa resolução (Pavlidis, 2007:97; Lerma et al., 2010:501; Remondino et Rizzi, 2010:88; Remondino, 2011:1106; Ortiz et al., 2013:213) e geram grandes volumes de dados que exigem muito tempo de pós-processamento das nuvens de pontos (Forte et al., 2015:10), sendo mais recomendados para o levantamento de grandes áreas do que de pequenas estruturas ou objetos.

Existe ainda uma versão aerotransportada do escâner a laser (ALS - *Aerial Laser Scanner*) também conhecida como LIDAR (*Ligh Detection and Ranging*) que, apesar

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

de dispor das mesmas características que o laser escâner, possui um sensor diferenciado (em conjunto com um GPS e um IMU) devido ao fato de ser um sensor em movimento contrariamente ao seu análogo terrestre (Remondino et Rizzi, 2010:10; Remondino 2011:1109).

Esta tecnologia começa a ser utilizada na arqueologia na virada para o século XXI (Fernandez-Diaz et al., 2014:9995) e apesar de ser um equipamento caro, que exige pessoal altamente especializado, e de gerar grandes quantidades de dados aumentando o tempo de pós processamento (Hammerle, 2018:167), veio revolucionar o modo de aquisição de modelos digitais de superfície (DSM - *Digital Surface Model*) bem como de modelos digitais de terreno (DTM - *Digital Terrain Model*), permitindo aos arqueólogos ter uma visão do terreno em áreas de vegetação densa e alcançar áreas que o sensoriamento remoto previamente não cobria (Chase, 2012:394).



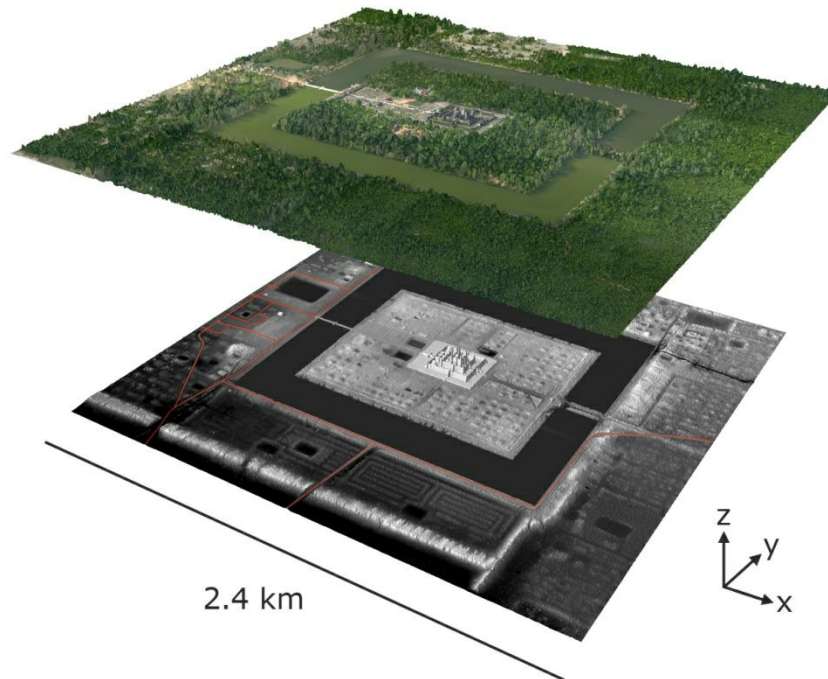
**Figura 4 - Princípio do levantamento por LIDAR, no qual um escâner a laser é transportado por uma aeronave disparando um multifeixe de lasers os quais registram a topografia. Todos os pontos são georreferenciados através da combinação de uma unidade de medição inercial (IMU - *Inertial Measurement Unit*) e um GPS de bordo que registram o percurso de voo. Sendo complementados com uma estação de GPS no solo, que serve como referência para o cálculo diferencial de GPS. (Fonte: Engström, T., & Johansson, M., 2009).**

Segundo Chase et al. (2012:388), os dados obtidos através deste tipo de tecnologia "*superaram a prospecção terrestre realizada ao longo de 25 anos no sítio Maia de Caracol (Belize), revelando uma paisagem muito modificada que liga o sítio através de estradas a terraços agrícolas e outras áreas de assentamento*".

Bewley et al. (2005:645), afirma ainda que esta é uma ferramenta ideal na gestão de recursos arqueológicos, bem como "*para a descoberta de novos sítios ou para fornecer novos dados sobre a extensão de sítios já conhecidos*", como Stonehenge (Bewley et al., 2005), Ankor Wat (Evans et al., 2013, *vide* figura 5) e, mais

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

recentemente, nas ruínas Maias da floresta tropical de Petén, no Norte da Guatemala, onde os trabalhos desenvolvidos por Marcello Canuto e Francisco Estrada, no âmbito do projeto de LIDAR da fundação Pacunam (Fundación Patrimonio Cultural y Natural Maya), evidenciaram mais 60 mil estruturas, entre casas, palácios, estradas e áreas de cultivo (National Geographic, 2018).



**Figura 5 - Exemplo da aplicação do LIDAR em Angkor Wat, Camboja. A imagem de cima apresenta uma imagem de satélite convencional comparada a um modelo digital de superfície obtido através de levantamento com LIDAR. Neste último, é possível identificar estradas, canais de irrigação, áreas de plantio e estruturas edificadas que de outra forma se encontravam ocultas pela vegetação. Esta técnica apresenta uma grande vantagem no campo do sensoriamento remoto nomeadamente na sua aplicação para a prospecção arqueológica. (Fonte: Evans et al., 2013:1596).**

Um outro tipo de escâner de registro 3D é o de luz estruturada, no qual um padrão de luz é projetado sobre um objeto de forma a se extrair informação geométrica através de uma câmera que detecta as deformações do padrão sobre o objeto alvo de registro, estas imagens são depois processadas obtendo-se uma nuvem de pontos (*vide* figura 6). Conforme Pavlidis (2007:95) trata-se de um aparelho portátil e fácil de usar.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

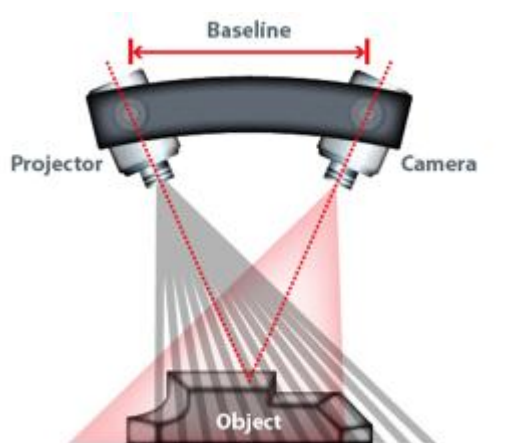


Figura 6 - Método de captura 3D através de escâner de luz estruturada.

(Fonte: <http://3dscanningservices.net/blog/need-know-3d-scanning/>).

Segundo MacPerron et al. (2009:21), esta técnica é capaz de produzir resultados com uma precisão abaixo dos milímetros, porém apresenta duas grandes limitações no que se refere ao controle da luz e da calibração. No que diz respeito a luz ela tem que ser sempre controlada pois, caso o padrão projetado sobre o objeto seja ofuscado por luz intensa (*e.g.* sol direto), o escâner não consegue operar ou poderá diminuir sua precisão. Desta forma, em campo, são usados panos pretos para sombrear a área alvo de registro. Relativamente a calibração, esta é necessária sempre que o aparelho seja movido, o que pode consumir bastante tempo, principalmente quando se utiliza o escâner no exterior onde este vai ter que ser deslocado várias vezes de forma a cobrir todas as faces do sítio arqueológico, *"o que nem sempre é possível, criando lacunas no registro"*. Em laboratório este problema pode ser contornado *"mantendo o escâner fixo e girando o objeto em um torno de forma a registrar todas as suas faces, ou no caso de objetos maiores o escâner pode girar ao redor deste a uma distância fixa"* eliminando a necessidade de calibração.

Segundo Grillo, o volume e o peso dos equipamentos necessários para operar um escâner em campo não compensam a sua utilização no exterior, sendo mais eficaz o uso da fotogrametria nestes casos (2017, comunicação oral). Ainda segundo o pesquisador este tipo de aparelho, quando usado em laboratório, demonstra ser rápido e bastante preciso, contudo alguns modelos não capturam texturas e, mesmo quando as capturam, a sua resolução ainda fica aquém das câmeras digitais de alta resolução (2017, comunicação oral).



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Por último, será apresentada a fotogrametria como forma de registro 3D aplicado à arqueologia, nesta secção vamos apenas tecer um breve comparativo das vantagens e desvantagens relativamente às técnicas previamente discutidas (para informações mais detalhadas sobre a fotogrametria *vide* capítulo 2).

Embora segundo Campana (2014:9) o uso da fotogrametria na arqueologia remonte ao ano de 1956, quando Castagnoli e Schmidt aplicaram o método no estudo da paisagem urbana de Norba na Itália, seria apenas com o desenvolvimento das câmeras digitais, melhoria das capacidades analíticas de softwares de pós processamento e aumento das capacidades computacionais que a fotogrametria passaria a ocupar um lugar de destaque como ferramenta de registro arqueológico 3D (Matthews, 2008:25).

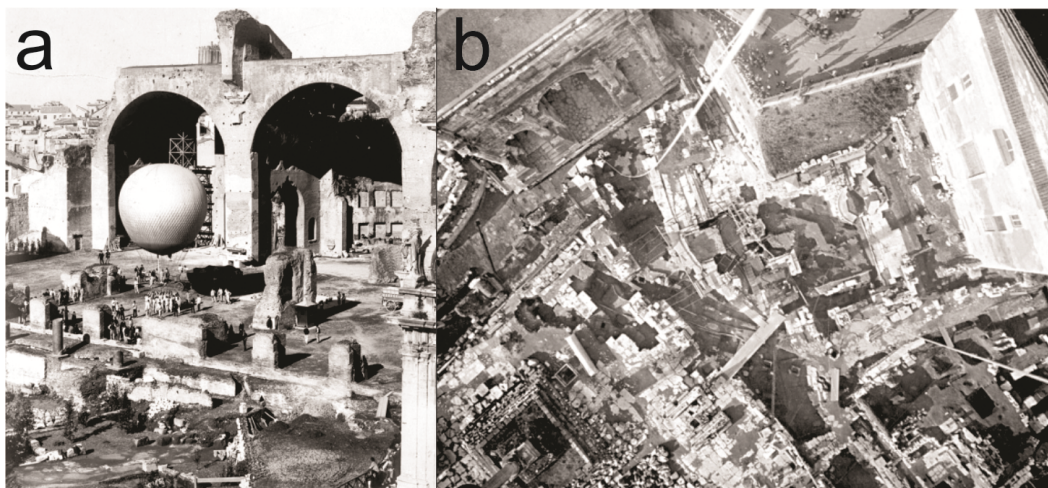
Segundo Remondino (2010:88), a fotogrametria é obtida a partir de um conjunto de fotografias e pode ser terrestre, aérea ou de satélite conforme o sensor de captura de imagens. Ainda segundo o autor, é um método de registro rápido, preciso, portátil, de baixo custo e fácil de usar; ideal para documentação 3D, mapeamento, análise de deformação/desgaste de monumentos e conservação digital (Remondino, 2010:90-91). A fotogrametria é capaz de providenciar um registro em diferentes escalas (paisagens, estruturas e objetos) e de criar modelos 3D híbridos (Remondino, 2011: 1127). Já segundo Pavlidis (2007: 97), é indicada para superfícies frágeis ou quando o acesso ao monumento é restrito, por ser um tipo de registro indireto.

Hoje em dia ela é bastante utilizada na sua versão aérea, através do uso de veículos aéreos não tripulados (VANT<sup>5</sup>), vulgo *drone*. De fato, o interesse da arqueologia pela fotografia aérea já vem desde finais do século XIX. Segundo Ceraudo (2013:11)<sup>6</sup>, em 1879, Friedrich Stolze usou pela primeira vez a fotografia a partir de um ponto elevado para registrar as escavações de Persépolis, duas décadas depois, em 1899, Giacomo Boni realizava o primeiro voo arqueológico, em um balão de ar quente, para registrar o Forum Romanum tendo sido sucedido pelo voo de R.H. Sharpe em 1906 para registro do Stonehenge (ver figura 7).

---

<sup>5</sup> UAV - *Unmanned Aerial Veicules* na sua versão em inglês.

<sup>6</sup> Para uma visão geral do uso da fotografia aérea em arqueologia ver Ceraudo, 2013.



**Figura 7 - Foto aérea (imagem direita) da parte central do fórum tirada por G. Boni em um balão (imagem esquerda) pertencente a Brigada Especialista dos Engenheiros Militares do Exército Italiano (Fonte: Ceraudo, 2004).**

Lock (2003:17) e Ceraudo (2013:17) destacam que além do seu uso como instrumento de registro cartográfico, nas últimas décadas o uso da fotografia aérea como ferramenta de prospecção arqueológica aumentou o número de sítios arqueológicos identificados, através da fotointerpretação de sombras, marcas de solo e marcas de colheita.

Para Campana (2017:6), o uso dos VANT está diretamente relacionado com a obtenção de imagens aéreas para criação de ortofotomapas e modelos digitais de superfície (MDS) de paisagens/sítios arqueológicos ou de registros 3D de monumentos ou escavações arqueológicas.

### **1.3 Questões teóricas sobre o uso do registro 3D em Arqueologia**

Como pudemos verificar ao longo deste capítulo, a evolução do registro arqueológico está pautada pela evolução das tecnologias de registro espaciais e visuais. Estas tiveram um impacto direto no desenvolvimento da disciplina e conseqüentemente nos seus paradigmas teóricos. Nesta secção, nos dedicaremos à evolução dos paradigmas teóricos da arqueologia e de como estes influenciaram, ou foram influenciados, pelos desenvolvimentos tecnológicos.

Wheatley (2002:4) e Lock (2003:2) ressaltam que na fase histórico culturalista, com suas ideias difusionistas, acreditava-se que a descrição exaustiva e comparação dos dados conduziria de forma indutiva ao processo interpretativo através da avaliação visual de mapas e de planos.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Na década de 1960 surgiria o Processualismo, baseado numa interpretação hipotético dedutiva de carácter mais objetivo e científico. Assistiríamos também ao nascimento da computação e a sua apropriação, como ferramenta analítica, por parte da corrente de pensamento processualista (Lock, 2003:9). De fato, conforme Wheatley (2002:5), o processamento estatístico computacional seria a primeira ferramenta digital aplicada à arqueologia, indo além da avaliação visual dos dados, meramente descritiva, procurava explicar padrões espaciais e a forma dos objetos através de análises quantitativas.

Segundo Forte (2010:11), o aumento das capacidades de computação conduziram a uma evolução dos métodos quantitativos no sentido de adquirir e processar grandes quantidades de dados para, por exemplo, realizar análises taxonômicas. Contudo, segundo o autor (*op. cit.*), *"foi dada demasiada atenção a capacidade do processo e menos ao conteúdo dos modelos"*.

Já na década de 1980, assistiríamos ao surgimento de uma nova corrente do pensamento arqueológico, o Pós-Processualismo, que em clara oposição a sua antecessora, era subjetiva, focada no indivíduo e na interpretação dos dados.

No campo da Arqueologia Digital, Forte (2010:12-13) considera este período como uma fase *"analógica"* da *"Arqueologia Virtual"*, na qual ferramentas digitais como os SIG e o desenho assistido por computador (CAD – *Computer Aided Design*) foram gradualmente introduzidas na arqueologia de forma a se criarem modelos 3D, os quais *"se baseavam principalmente em desenhos manuais, metadados ou feitos por comparações culturais, imaginação ou hipóteses puramente gráficas"* e que tinham funções meramente *"visuais, gráficas e representacionais"*.

Segundo Zubrow (2006:9), desta oposição entre a corrente Processualista e Pós-Processualista surgiriam duas visões antagônicas acerca das tecnologias digitais. A primeira considera estas ferramentas como meramente metodológicas, que servem para resolver problemas teóricos. A segunda sugere que *"os avanços digitais criam, ou ajudam a criar, teoria"*, influenciando o paradigma atual através de uma *"revolução digital"*.

Zubrow (2006:9) indica cinco aspetos através dos quais esta revolução digital está impactando o paradigma atual:

Primeiro, as tecnologias digitais oferecem uma maneira de representar o mundo real - seja físico, sonoro ou de imagem - em um pacote compacto e eficiente. Em segundo lugar, permitem contar, fazer estatísticas, manipular e avaliar medidas em uma variedade de parâmetros resumidos e analíticos. Em

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

terceiro lugar, permitem modelar e simular eficientemente processos do mundo real para compreender processos interativos e complexos de seres humanos em seus ambientes. Em quarto lugar, possibilitam a criação de mundos virtuais que são independentes da realidade. Em quinto lugar, as tecnologias digitais permitem transmitir todas essas manipulações, representações e palavras ao redor da Terra em quase a velocidade da luz para um público cada vez mais mundial.

O autor segue dizendo que todos estes aspectos contribuem para a criação de uma "aldeia digital" onde as barreiras entre pesquisadores, objetos de estudo e público estão desaparecendo (Zubrow, 2006:10).

Zubrow (*op. cit.*:22) aponta também que o Pós-Processualismo relega o uso das tecnologias digitais a um papel de meras ferramentas de campo, por serem consideradas sinônimo de objetividade, precisão e reconstrução, não contribuindo para a "*interpretação da mente do indivíduo*". Porém, esta corrente de pensamento arqueológico considera os meios digitais como uma boa forma de promover a democratização do conhecimento e a divulgação arqueológica, "*enfatizando a participação do público no processo de digitalização*".

Porém este tipo de pensamento é minimalista pois, como ressalta Hodder (1999:80-84), a própria escolha do que se deve registrar e como se registrar, é em si subjetiva e está atrelada a pré-compreensão do contexto, do registro e dos pressupostos teóricos, *vide* figura 8.

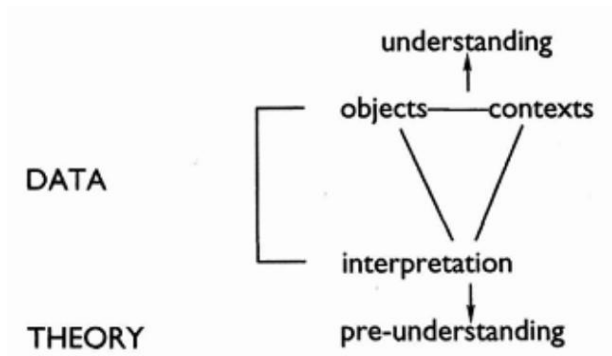


Figura 8 - Relação entre dados e teoria na arqueologia, segundo Hodder.

(Fonte: Hodder, 1999, p.84).

O mesmo é proposto por Lock (2003:7) para as ferramentas digitais e seus modelos, que segundo o autor "*não são ferramentas passivas mas fazem parte da espiral hermenêutica do processo interpretativo*". Este é iniciado através de julgamentos e conceitos pré-concebidos onde o interprete faz conexões com os dados,

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

envolvendo "uma escolha criativa", ou seja, esta escolha "é uma aceitação da sua humanidade em oposição a objetividade" (vide figura 9).

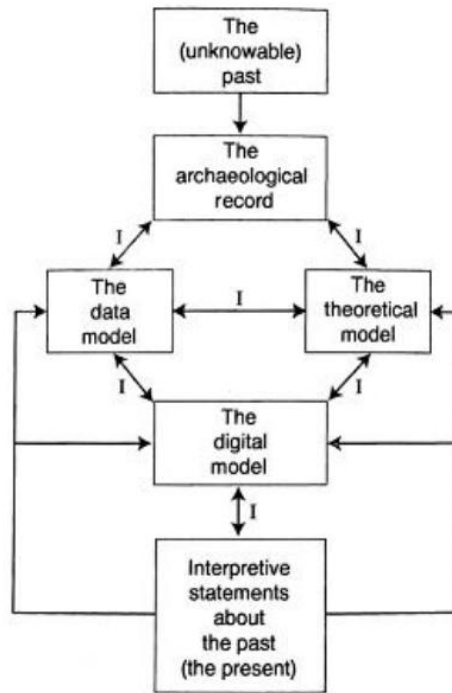


Figura 9 - Visualização da posição que os modelos digitais podem tomar dentro da espiral hermenêutica. (Fonte: Lock, 2003, p.7).

Campana (2014:8) refere ainda que a documentação 3D permite "criar um registro com alguns aspectos objetivos como volume e texturas de unidades estratigráficas", mas que estes, por sua vez, "foram definidos ou influenciados necessariamente pelas interpretações subjetivas do escavador", ou seja, a escolha do registro 3D não o transforma num processo objetivo por si só, visto que "o processo de observação e portanto de compreensão não pode ser, por natureza própria, outro além de subjetivo".

O desenvolvimento das técnicas de registro digitais (e.g. GIS, GPS, laser scanner, fotogrametria de curto alcance) permitiu também a quebra da "divisão conceitual entre análise e coleta de dados" (Connolly e Lake, 2006:36). De fato, hoje muitas das atividades consideradas de pós-escavação podem ocorrer ainda em campo graças a agilização dos registros arqueológicos por parte dos meios digitais, que "erodiram a separação tradicional" entre "coleta e descrição de dados", ligada a uma fase de campo; e "análise e interpretação de dados", ligada a fase de laboratório/gabinete (Connolly e Lake, 2006:37).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

De acordo com Campana (2014:10), devemos criar um processo "*em que o modelo 3D já não constitui o fim, mas sim os meios para alcançar uma melhor compreensão através da análise e simulação*". Forte, indica que a Arqueologia Digital entrou na sua terceira fase a da *Cyber Arqueologia* (antes existiram as fases analógica e virtual), a qual "*é totalmente digital, auto poética, interconectada e baseada em affordances*" (2010:13). A *Cyber Arqueologia* veio "*preencher a lacuna entre a arqueologia científica e a interpretativa*" (Zubrow, 2010 *apud* Forte, 2014:117).

Ainda segundo Forte (2014:126)

Esta nova fase digital de pesquisa e comunicação permite rever todo o fluxo de trabalho digital desde os dados capturados até a documentação final e processo de reconstrução. O uso integrado de diferentes tecnologias de captura e pós-processamento de dados gera, em seguida, um pipeline sofisticado de interpretação digital, graças a comparação entre modelos, malhas, geometria e nuvens de pontos. Além disso, a relevante velocidade de todo o processo digital é capaz de aumentar as capacidades de interpretação durante a escavação e, mais especificamente, de simular toda a escavação em 3D.

Campana (2014:10-11) chama a nossa atenção para um importante paradoxo. Indicando que os modelos 3D devem contribuir para um "*melhor compartilhamento e comunicações de informações arqueológicas, ideias e conceitos, em primeira instância entre nossos profissionais colegas e depois com o público em geral*". Contudo, esta tem mais aceitação por parte do público do que junto da comunidade arqueológica. Tal fato fica a dever-se a "*relutância dos arqueólogos começarem a pensar em 3D*", "*porque fomos educados a reduzir a realidade de três para duas dimensões*".

## 1.4 Em suma

Neste capítulo apresentamos uma síntese histórica do registro arqueológico, das ferramentas por este utilizadas e de como estas por sua vez impactaram os paradigmas teóricos da disciplina.

É um fato que hoje o registro arqueológico está cada vez mais digital (*e.g.* relatórios, mapas, artigos) e que dispomos já das ferramentas para implementar o registro 3D nos processos de registro de campo, permitindo-nos começar a análise e interpretação dos dados ainda em campo, diminuindo, desta forma, a barreira entre escavação/coleta de dados e pós-escavação/interpretação. Unificando em certo sentido a arqueologia processual e pós-processual.

Contudo, apesar de disponíveis, este tipo de tecnologias ainda não são aplicadas *lato sensu* na arqueologia e muito menos como ferramentas interpretativas. Tal

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

fenómeno deve-se ao alto custo deste tipo de equipamentos (*e.g.* escâneres a laser) e a resistência por parte dos arqueólogos de pensar em 3D, ainda que os elementos alvo de registro sejam tridimensionais.

A fotogrametria, sendo uma técnica de registro 3D de baixo custo, precisa e de fácil obtenção, surge como uma ferramenta capaz de mudar este paradoxo das tecnologias digitais dentro da arqueologia. Permitindo um registro tridimensional em múltiplas escalas e por um custo bem inferior, como iremos demonstrar nos capítulos seguintes.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

## 2 FOTOGRAMETRIA

No último capítulo resumimos o estado da arte do registro 3D, agora iremos nos aprofundar especificamente sobre a técnica fotogramétrica, objeto de estudo desta dissertação. A fotogrametria pode ser classificada de acordo com a evolução dos equipamentos e materiais envolvidos nos processos: fotogrametria analógica (1901-1950), fotogrametria analítica (1951-1990) e fotogrametria digital (1990 – até ao presente), a última dividindo-se em fotogrametria aérea, de satélites, e fotogrametria a curta distância. Como iremos demonstrar, o seu uso esteve intrinsecamente ligado ao mapeamento, mas com a chegada dos sistemas digitais dá-se a sua aplicação em outras áreas, como na Arqueologia. Nas secções seguintes, com base nos manuais *Fotogrametria digital*, de Jorge Nunes Brito e Luiz Coelho (2007), e *Fotogrametria Básica* de António Tommaselli (2009)<sup>7</sup>, passaremos a descrever de forma sucinta as diferentes fases da fotogrametria, com especial enfoque na fotogrametria de curta distância e na sua aplicação no âmbito da Arqueologia.

### 2.1 Conceito

Etimologicamente, fotogrametria deriva do grego e significa medições executadas através de fotografias ("*photon*" - luz, "*graphos*" – escrita, "*metron*" – medições). Segundo Brito, é definida "*como a ciência e tecnologia de se obter informação confiável por meio de imagens adquiridas por sensores*" (Brito, 2007:11).

Desde a sua criação, em 1934, a American Society of Photogrammetry<sup>8</sup> (ASP) definia Fotogrametria como a "*ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias*" (Brito, 2007:14). Contudo, esta definição iria mudar em 1979 com o aparecimento de novos sensores:

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 (ASPRS<sup>9</sup>; Tommaselli, 2009:1).

Já a ISPRS (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) define que:

---

<sup>7</sup> Aconselha-se também a leitura do Caderno técnico n.º7 do IPHAN, de Mario Mendonça Oliveira, intitulado "*A documentação como ferramenta de preservação da memória*", o qual dedica o capítulo 4 a fotogrametria aplicada ao registro do patrimônio cultural.

<sup>8</sup> Posteriormente conhecida como ASPRS - *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*.

<sup>9</sup> Definição retirada do site da ASPRS (<https://www.asprs.org/organization/what-is-asprs.html>), acessado a 15 de dezembro de 2017.





“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

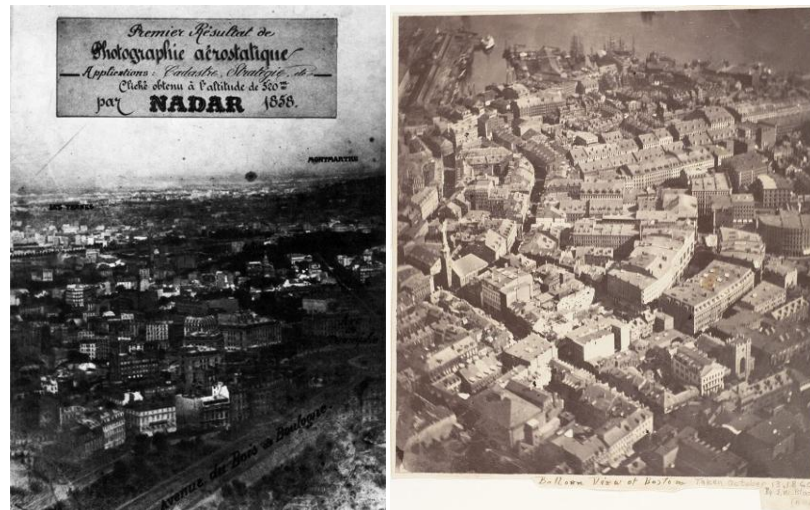


Figura 11 - A) Primeira fotografia aérea da cidade francesa de Bièvre, realizada por Nadar em 1858. (Fonte: Valero, 2014, fig. 4); B) Fotografia aérea da cidade de Boston tirada também a partir de um balão, em 1860, por James Wallace Black e Samuel Archer King. (Fonte: Wikipedia<sup>11</sup>).

### 2.2.1 Fotogrametria analógica

Segundo Brito (2007:19), a invenção do estereocomparador (*vide* fig. 12), em 1901 por Pullfrich, "marca a primeira revolução da fotogrametria, através da qual foi possível facilitar surpreendentemente o trabalho dos usuários, graças à substituição dos inúmeros cálculos matemáticos por aparelhos óptico-mecânicos".

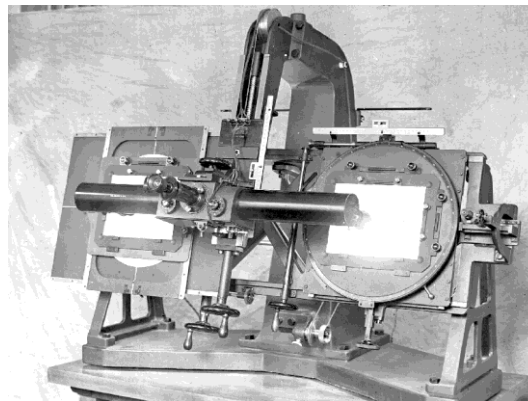


Figura 12 - Primeiro Esteriocomparador da Zeiss. (Fonte: Zeiss).

Tommaselli (2009:4), aponta a invenção do avião como "um grande avanço na fotogrametria". Indicando que a "Aerofotogrametria" foi usada pela primeira vez, em 1913, para "mapeamento" e posteriormente "em atividades de reconhecimento durante a Primeira Guerra Mundial" (*vide* fig. 13). Sendo desta fase a criação de aparelhos restituidores como o "Multiplex" e o "Estereoplanigrafo" e das "técnicas de orientação empírica e aerotriangulação analógica".

<sup>11</sup> Retirada do website: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Aerofotografia>, acessado a 01 de novembro de 2017.



**Figura 13 - Tomada de fotografias com câmera manual na 1ª Guerra Mundial. (Fonte: Silva, 2015, fig. 12)**

Segundo Brito (2007:20), foi também:

[...] durante este período que se deu a criação e fortalecimento de inúmeras associações e entidades congregando todos os interessados na área. A ISP (International Society for Photogrammetry), atual ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) foi fundada em 1910, por E. Dolezal, na Áustria.

### **2.2.2 Fotogrametria analítica**

O próximo grande passo na fotogrametria seria dado com o surgimento dos computadores e a criação dos restituidores analíticos (*vide* fig. 14). Segundo Tommaselli (2009:5):

Em 1958, o finlandês Uki Helava apresentou o primeiro protótipo do restituidor analítico, que utilizava servo-mecanismos para medir as coordenadas das marcas fiduciais nas imagens. Computadores realizavam todos os demais cálculos, simplificando bastante o processo final. Apesar do pioneirismo, o equipamento desenvolvido por Helava não foi aceito pela comunidade fotogramétrica, devido ao estágio ainda embrionário da informática e das sucessivas panes dos equipamentos.

Brito (2007:21), indica que os restituidores analíticos "*revolucionaram o conceito de fotogrametria, permitindo a aerotriangulação de conjuntos de fotos cada vez maiores e a utilização de câmaras comuns ao invés das câmeras métricas*".



**Figura 14 - Restituídor Analítico modelo Zeiss P3. (Fonte: Zeiss, 2018).**

É também desta fase a criação do *Comité International de Photogrammétrie Architecturale* (CIPA), fundado em 1968 juntamente com a ISPRS (antiga ISP), "para facilitar a transferência de tecnologia das ciências métricas para as disciplinas de registro e documentação patrimonial". Contudo, este seria renomeado no ano de 2000 para *CIPA Heritage Documentation*, de forma a contemplar todas as atividades do comitê o qual "se esforça por transferir a tecnologia das ciências de medição e visualização para as disciplinas de registro, conservação e documentação do patrimônio cultural". Conectando "produtores de documentação do patrimônio e os usuários dessa informação" (CIPA<sup>12</sup>).

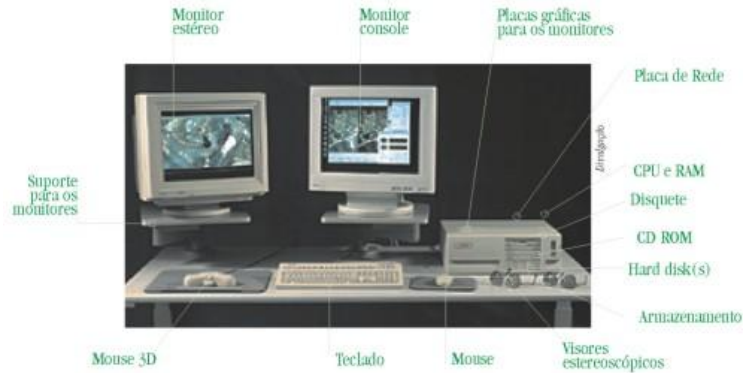
### 2.2.3 Fotogrametria digital

Segundo Brito (2007:21), seria a partir da década de 1980 que assistiríamos ao surgimento da fotogrametria digital, a qual "teve como grande inovação a utilização de imagens digitais como fonte primária de dados", através da aquisição direta de imagens ou através do escaneamento de imagens analógicas. É também desta época o desenvolvimento de novos aparelhos como as "estações fotogramétricas digitais" (vide fig.15). Acompanhando a evolução computacional durante a década de 1990, a fotogrametria digital torna-se capaz de processar volumes de dados cada vez maiores gerando "ortoimagens" ou "imagens ortorretificadas" e "mosaicos digitais" de áreas mais abrangentes e com uma resolução superior.

---

<sup>12</sup> Tradução do autor. Informação retirada do website: <http://cipa.icomos.org/>, acessado a 07 de novembro de 2017.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.



**Figura 15 - Restituídor Digital no qual todo o processo passa a ser realizado de forma digital no que se refere a aquisição dos dados (imagens digitais ou scannerizadas) bem como a todo o processo de processamento dos dados para geração de ortoimagens ou imagens ortorretificadas e mosaicos digitais. (Fonte: Leica, 2018).**

Com o advento dos sistemas digitais a fotogrametria começa a ser aplicada em outras áreas como arquitetura, engenharia, geologia, bem como na documentação do patrimônio arqueológico. Segundo Henriques (2012:85), "*as novas ferramentas (digitais) adquirem inegável importância na documentação do Patrimônio Cultural*".

De acordo com Remondino (2010: 86-87), a partir deste desenvolvimento, novos sensores e métodos de captura foram desenvolvidos e aplicados na arqueologia "*contribuindo significativamente para a documentação, conservação e apresentação dos dados arqueológicos*", em "*múltiplas escalas e resoluções*", potencializando a capacidade de análise dos arqueólogos.

Segundo Luhmann (2007:5), podem ser identificadas três linhas distintas de desenvolvimento da fotogrametria digital conforme o tipo de plataforma e escala/distância de aquisição de imagens: fotogrametria aérea (cerca de 300 m), fotogrametria de satélites (distância ao objeto de cerca de 200 km) e fotogrametria de curto alcance (<300 m), *vide* figura 16. A seguir detalharemos a fotogrametria de curto alcance recorte específico do estudo desta dissertação.



**Figura 16 - Representação das três plataformas de aquisição de imagens digitais (drone, avião e satélite) que compõem as especializações das fotogrametria digital. A fotogrametria a curta distância, aqui representada pelo drone, para levantamentos em que a distância entre a câmera e o**

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

objeto varie entre alguns centímetros até 200 metros. A fotogrametria aérea para distancias acima dos 200 metros. E a fotogrametria de satélite para distâncias ao objeto de cerca de 200 km. (Fonte: Droneapps, 2018<sup>13</sup>).

### 2.3 Fotogrametria de curto alcance

Como pudemos verificar através dos pontos anteriores, a fotogrametria nos seus primórdios, finais do século XIX e início do século XX, esteve associada a levantamentos topográficos e, posteriormente, a mapeamento com o uso de imagens aéreas obtidas por meio de aeronaves (balões e depois aviões). A partir da década de 1990 suas aplicações foram diversificadas pelo desenvolvimento de sistemas digitais.

Na fotogrametria de curto alcance as imagens podem ser adquiridas a partir do solo utilizando-se uma câmera digital, permitindo o registro de pequenos objetos e de estruturas arqueológicas, ou por meio de dispositivos aéreos como pipas, balões ou *drones* que servem para o levantamento ou mapeamento de grandes áreas (para mais informações *vide* o ponto 3.5 deste capítulo).

A técnica é bastante versátil e pode ser aplicada a arqueologia terrestre, subaquática ou aérea (Remondino, 2014:65). Desde que a distância entre o sensor e objeto alvo de registro não ultrapasse os 200 metros (Lerma, 2010:500). Apesar de Luhmann (2007) indicar 300 metros para a fotogrametria de curto alcance, publicações mais recentes como Lerma (2010) apontam a distância de 200 metros, sendo esta última a que foi considerada nesta dissertação.

Para Lerma (2010:500), até recentemente a sua aplicação prática no registro arqueológico, era inconcebível devido à necessidade de "*técnicos especializados*" (e.g. para calibração das câmeras e pós processamento das imagens). Contudo, em 1999 surgiria um novo algoritmo chamado SIFT (*Scale-Invariant feature transform*), criado por David Lowe, capaz de identificar formas de objetos (*vide* fig. 17), simplificando os processos de reconhecimento de pontos comuns entre imagens (Lowe, 1999:1). Para Verhoeven (2011:67), outro algoritmo de visão assistida por computador bastante utilizado hoje em dia é o *Structure from Motion* (SfM). Estes tipos de algoritmos "*são conhecidos por sua capacidade de reconstruir uma nuvem esparsa de pontos através de um conjunto de imagens sobrepostas*".

---

<sup>13</sup> Imagem retirada do artigo “Price wars: counting the cost of drones, planes and satellites”, disponível em: <https://droneapps.co/price-wars-the-cost-of-drones-planes-and-satellites/>, acessado a 08 de novembro de 2017.



Figura 17 - Exemplo do funcionamento do algoritmo SIFT. (Fonte: Lowe, 1999, fig. 4).

A técnica de aquisição de modelos 3D através de imagens 2D coletadas de diferentes ângulos visuais opera sob o mesmo princípio que o sistema da visão humana a partir dos algoritmos citados (fig. 18). O SfM envolve o "cálculo dos parâmetros da câmera para cada imagem". Isto é possível, através da identificação das "semelhanças geométricas" entre cada par de fotografias, "monitorando a posição desses objetos ao longo da sequência de imagens", de forma a calcular a posição de cada foto e dos "pontos em comum" entre elas (Dell Unto, 2014:153, Verhoeven, 2011:68).

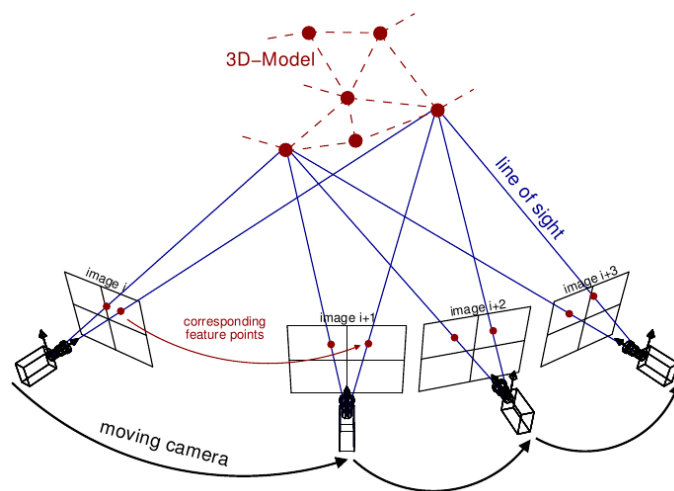


Figura 18 - Exemplo do princípio de captura de pontos através da técnica *Structure from Motion* (SfM)

(Fonte da figura: [Theia-sfm.org](http://Theia-sfm.org), 2016).

Desta maneira a fotogrametria de curto alcance integra as técnicas de modelação 3d baseadas em imagens, que permitem retirar informações métricas de imagens 2D (fotografias) para transformá-las em dados 3D, com coordenadas espaciais (X,Y,Z) e

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

textura fotorealista baseada na coloração de cada pixel da imagem (Lerma, 2010:500, Remondino, 2010:88, 2014:65).

Vários autores (Dell Unto, 2014:153; Jauregui, 2000:401; Lerma, 2010:500; Remondino, 2010:88, 2014:66) destacam que entre as vantagens oferecidas pela técnica estão: a sua "*precisão geométrica e de textura*"; a sua "*flexibilidade e versatilidade*", pois permite realizar um registro de múltiplas escalas, desde pequenos objetos até paisagens; o seu "baixo custo" e "portabilidade", devido ao tamanho pequeno e preço acessível das câmeras digitais. Mello (2002:12) acrescenta ainda a vantagem de este ser um tipo de "registro indireto" e logo não evasivo.

Segundo Remondino (2010:88), a técnica é indicada para registrar

objetos isolados, monumentos ou arquiteturas regulares, objetos pequenos com forma livre, aplicações de mapeamento, análise de deformações, em casos de baixo orçamento, restrições de tempo ou de localização para aquisição e processamento de dados.

No entanto, a sua aplicação depende ainda, em grande parte, das capacidades e conhecimentos fotográficos e fotogramétricos por parte de quem registra, bem como da capacidade da câmera digital e do computador utilizados (Dell Unto, 2014:153). Lerma (2010:500) aponta ainda como limitação da técnica que "*ainda não existem soluções totalmente automáticas que produzam resultados satisfatórios*".

## 2.4 Fotogrametria de curto alcance através do uso de drones

Como pudemos verificar ao longo deste capítulo, desde a invenção da fotografia que os arqueólogos tem usados imagens aéreas para mapeamento ou interpretação de áreas arqueológicas. Nos primórdios, do que viria a ser conhecido como Arqueologia Aérea, as plataformas de aquisição de imagens variaram desde balões, pombos e aviões (*vide* Ceraudo 2013, para uma síntese da história da arqueologia aérea). Contudo, como nos indica Campana (2017:1-2), várias soluções tem sido aplicadas no registro de contextos arqueológicos como "mastros, postes, torres, papagaios, balões"<sup>14</sup> e mais recentemente *drones* multirotores e de asa fixa (*vide* fig. 19).

---

<sup>14</sup> Para mais informações sobre os diferentes tipos de plataformas de aquisição de imagens aéreas aplicadas a arqueologia, ver também Verhoeven 2009.



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.



Figura 19 - Exemplo dos três tipos de VANTs mais comuns balões, multirottores e asa fixa, respectivamente. (Fonte: Rodrigues, 2014, fig 1<sup>15</sup>).

Vários autores têm vindo a debruçar-se sobre este tema da aplicação dos VANT a arqueologia, entre eles destacamos as sínteses de Campana, 2017; Remondino, 2008 e 2014; Tommaselli et al., 2010; Verhoeven, 2009; Nex et Remondino, 2014. Bem como outros pesquisadores que focaram-se no uso dos drones para mapeamento (Remondino et al., 2011), registro de sítios arqueológicos (Roosevelt, 2014; Pierdicca, 2017), registro de áreas de escavação (Campana et al., 2008; Fernandez-Hernandez et al., 2015; Remondino et al., 2011), de património arqueológico (Smith et al., 2014) e no uso de LIDAR através de VANTs (Lozano et Alonso, 2016).

Os *drones*, como vulgarmente ficaram conhecidos, fazem parte da categoria de veículos aéreos não tripulados (VANT) e foram criados para fins militares na década de 1950 (Verhoeven, 2009:80). Apesar da sua aplicação civil para fins de mapeamento ter acontecido desde a década de 1970, só recentemente é que os VANT se tornaram uma ferramenta de uso comum para mapeamento e aquisição de dados geomáticos (Campana, 2017: 3; Nex et Remondino, 2014:1).

De fato, este tipo de plataformas diminuiu bastante os custos associados à fotogrametria aérea substituindo o uso tradicional de aeronaves tripuladas para o mapeamento topográfico de grandes áreas (Remondino, 2014:74). De acordo com Campana, dois tipos de VANT se destacam na aplicação em arqueologia: os de asa fixa e os multirottores. As asas são mais indicadas para o mapeamento de paisagens devido a sua maior autonomia. Já os multirottores, por serem rádio controlados oferecem uma maior capacidade de controlo e precisão, sendo indicados para o levantamento de áreas arqueológicas ou de estruturas verticais como fachadas de edifícios (2017:5-6).

Na opinião de Campana, os *drones* além de portáteis, precisos e rápidos são plataformas capazes de transportar vários tipos de sensores (*e.g.* câmeras de termal e LIDAR), permitindo a aquisição de imagens de alta qualidade para a fotointerpretação

---

<sup>15</sup> Imagem retirada do site: <https://paginas.fe.up.pt/~ee09264/home.html>, acessado a 08 de novembro de 2017.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

arqueológica e a criação de modelos 3D de áreas de escavação ou da paisagem, gerando modelos digitais de superfície e de terreno (DSM e DTM) (2017:5-6).

Outras vantagens apontadas pelo autor (*op. cit.*) são a mobilidade em locais de difícil acesso e a facilidade de manuseio por um único operador. Porém, Campana alerta para algumas desvantagens deste tipo de tecnologia, como a dependência de boas condições climáticas e a incapacidade de detectar obstáculos durante o voo autônomo (2017:19). Fatores que também devem ser ressaltados são a necessidade de uma licença prévia para utilização dos *drones* e a observância à regulamentação de VANTs estabelecida pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) em 2017.

Hoje em dia existem vários programas, como o *DroneDeploy* ou o *Litchi*, que possibilitam a criação de planos de voo sobre uma área de interesse, permitindo que o *drone* voe de forma autônoma. Dentro destes programas é possível manipular parâmetros como rota de voo, sobreposição de imagens, precisão por pixel, velocidade, tipo de decolagem, entre outros, simplificando o processo de aquisição de imagens e a precisão dos mapas obtidos.

## 2.5 Aplicações na arqueologia

Nos últimos anos o uso das tecnologias digitais é crescente em todas as disciplinas, e a arqueologia não é exceção. Embora o seu uso ainda não seja corriqueiro no trabalho de campo, o registro digital 3D vem propagando-se cada vez mais entre os arqueólogos sendo possível encontrar hoje em dia várias ferramentas de registro digital utilizadas tanto para prospeções como em escavações.

Para melhor compreensão dos métodos disponíveis, pesquisadores como Pavlidis et al. (2007) e Remondino (2010 e 2011) produziram sínteses das técnicas de registro 3D. Sobre as técnicas propriamente ditas, pesquisadores como Chodoronek (2015), Dell’Unto (2014); Doneus *et al.* (2011), De Reu *et al.* (2013), Ortiz *et al.* (2013); Peng *et al.* (2017); Pierdicca(2017) e Zang Chun-Sen *et al.* (2017) têm usado a fotogrametria de curto alcance para o registro de escavações arqueológicas. Podemos citar, ainda, Samaan *et al.* (2013), com relação aos artefatos, Verhoeven (2017) para estudos da paisagem e Henriques (2012) para conservação e restauro.

Investigações sobre a aplicação do escâner a laser para o registro de sítios arqueológicos foram realizadas por Arav *et al.* (2016), Doneus & Neubauer (2005), Hoffmeister *et al.* (2014) e Powel (2009). Forte *et al.* (2012 e 2015), Lambers (2007),

Lerma *et al.* (2010), Kjellma (2012), Xu *et al.* (2014) e Trinks *et al.* (2017) dedicaram-se à combinação de fotogrametria à curta distância e escaner a laser.

Bennet (2014), Bewley *et al.* (2005), Chase *et al.* (2011 e 2014); Doneus *et al.* (2007 e 2008) e Evans *et al.* (2013) são pesquisadores que aprofundaram o uso do LIDAR para produzir ortofotos e modelos digitais de terreno e de superfície, enquanto Doneus *et al.* (2015) a utilizou como ferramenta de prospecção e registro de patrimônio submerso. Outros estudiosos detiveram-se no uso de escâneres de luz estruturada para levantamento de peças e sítios arqueológicos, como McPherron *et al.* (2009) e de gravuras, como Güth (2012).

O uso da tomografia para visualização de esqueletos em bloco foi explorado por Lynnerup (1997) e para moedas concrecionadas por Miles *et al.* (2017). Entre os que trataram da aplicação dos sistemas GIS para a visualização, análise e gestão de dados arqueológicos 3D estão Agugiario *et Remondino* (2014), Connoly & Lake (2006), Dell Unto *et al.* (2015), Katsianis *et al.* (2008), Lei Luo *et al.* (2014), Schwerin *et al.* (2013) e Wheatley *et al.* (2002). Galiatzatos (2014) usou imagens de satélite para estudo das paisagens, enquanto pesquisadores como Forte (2014) e Pescarin (2014) debruçaram-se sobre a aplicabilidade dos modelos digitais para a criação de museus virtuais, realidades imersivas e aumentadas.

No Brasil, embora ainda exista uma utilização pouco efetiva dos métodos de registro 3D, apontamos os trabalhos dos seguintes pesquisadores: Figueirôa (2012), com a digitalização de cerâmicas através de escâner de luz estruturada; Santos *et al.* (2013) com a aplicação de várias técnicas (laser escâner, luz estruturada e tomografia) para registro 3D (cerâmicas, epígrafes, sarcófagos e múmias) e impressão 3D, Kipnis (2013), com o levantamento de gravuras rupestres através da aplicação combinada do laser escâner terrestre e da fotogrametria de luz estruturada, Narciso (2016), com a utilização da fotogrametria para produzir ortofotos e Modelos Digitais de Terreno (MDT) de escavações arqueológicas. Torres *et al.* (2017) e Yamafume *et al.* (2016) trabalharam com o registro fotogramétrico de naufrágios e reconstrução 3D de navios, enquanto Moraes Wichers *et al.* (2017), através da utilização de laser escâner para digitalização de peças arqueológicas, criaram realidades aumentadas dos artefatos que foram usados posteriormente no âmbito de Educação Patrimonial. Fleming *et al.* (2017) fez uso de laser escâner para digitalização de artefatos, impressão 3D e realidade virtual através do

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

projeto *DOMUS Visita Virtual e*, por último, Ulguim (2017), voltado para o uso de modelos 3D na zooarqueologia.

## 2.6 Em suma

Neste capítulo, aprofundamos a técnica fotogramétrica demonstrando como esta surgiu nos finais do século XIX, evoluindo paralelamente ao desenvolvimento da óptica e da aviação até ao surgimento dos computadores e, conseqüentemente, da sua fase digital, na década de 1990. Posteriormente abordamos com mais detalhe a fotogrametria digital de curta distância, terrestre e aérea, visto esta ser a categoria na qual se inserem o registro de escavações arqueológicas, estruturas e artefatos que compõem os estudos de caso desta dissertação. Por último, apresentamos uma síntese das aplicações da técnica no âmbito de trabalhos arqueológicos a nível nacional e internacional.

### 3. Metodologia

Nos capítulos anteriores abordamos o desenvolvimento das técnicas de registro espaciais e da fotogrametria, mais especificamente a de curto alcance, e as suas aplicações no campo da Arqueologia. Neste capítulo iremos abordar a aplicação da técnica propriamente dita, ou seja, quais as ferramentas necessárias para o seu uso como método de registro arqueológico. Desde a aquisição das fotografias em campo até a criação de modelos tridimensionais texturizados, através do processamento das imagens por meio de *software* semiautomático de fotogrametria.

#### 3.1 Materiais e considerações prévias

A escolha da fotogrametria de curto alcance como forma de registro fica a dever-se, em grande parte, à simplicidade do processo e ao fato de apenas necessitar de uma câmera fotográfica para o registro e um computador para o processamento das imagens. No entanto alguns conhecimentos de fotografia e do funcionamento do processo fotogramétrico são necessários de forma obter-se um registro de qualidade e sem lacunas. Para um bom levantamento fotográfico de uma área ou objeto três fatores devem ser tidos em conta: a profundidade de campo, o enquadramento e o tempo de exposição. Segundo Henriques (2013: 78),

no primeiro ponto, o da profundidade de campo, a abertura ou fecho do diafragma assumem uma importância fundamental. Quanto mais fechado for o diafragma, maior profundidade de campo terá a fotografia. Isto quer dizer que terá mais planos focados. Para fotografar artefatos, quando se trata de registrar a curtas distâncias, deverá procurar-se no equipamento fotográfico o valor mais alto de diafragma. Em relação ao enquadramento, trata-se de um parâmetro essencial para que os objetos estejam verdadeiramente em "campo", ou seja, dentro da área registrável. No que concerne ao tempo de exposição, este parâmetro, quando relacionado com o diafragma, e uma vez que os objetos estão imóveis, permite fazer a medição de luz, a fotometria. Na prática, quanto mais fechado estiver o diafragma, com valores numéricos mais altos indicados no equipamento, menos luz entra na câmara, e como tal, terá que haver maior tempo de exposição. Para evitar que as imagens fiquem tremidas, em fotografia técnica, é obrigatório o uso de tripés estabilizadores.

No que se refere às máquinas fotográficas qualquer uma serve, desde uma câmera de celular até uma DSLR profissional. Contudo, quanto melhor for a câmera mais pontos podem ser detectados pelo software fotogramétrico e melhor a qualidade da

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

textura do modelo 3D. Para o levantamento dos estudos de caso desta dissertação utilizou-se uma câmera DSLR Nikon D3300<sup>16</sup> estabilizada com tripé, sempre que possível (fig. 20). Desta maneira formaram-se sequências de fotografias com sobreposição superior a 70% entre imagens e a diferentes alturas. As fotos foram tiradas em alta resolução (6000x4000 pixels), priorizando o modo de abertura utilizando um “*f-stop*” de f/14. Uma câmera DSLR profissional custa em média entre 1500 a 3000 reais, porém resultados satisfatórios podem ser alcançados com câmeras semiprofissionais, de 300 a 800 reais, como veremos nos estudos de caso que apresentaremos no capítulo seguinte. A câmera usada no âmbito desta dissertação foi comprada em segunda mão, para o projeto de mestrado, ficando por 1100 reais completa, com cartão SD, bateria e lente 18-55mm, o que demonstra que os custos do equipamento podem ser ainda mais reduzidos.



**Figura 20 - A esquerda imagem da Nikon D3300 utilizada para fazer os levantamentos fotogramétricos (Fonte: Nikon, 2018). A direita exemplo de levantamento do bloco de sambaqui de Amourins através de câmera estabilizada por tripé (Fonte: foto Bezerra, 2017).**

<sup>16</sup> Sensor de imagem de formato DX CMOS de 24.2 megapixels e Lente AF-S DX NIKKOR 18-55 mm f/3.5-5.6G VR II para mais informações sobre as características da câmera consultar o manual disponível em: [http://download.nikonimglib.com/archive2/37rKu00hLYnf023buin15jajNY58/D3300RM\\_\(Pt\)03.pdf](http://download.nikonimglib.com/archive2/37rKu00hLYnf023buin15jajNY58/D3300RM_(Pt)03.pdf) Acessado a 07 de janeiro de 2017.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

No caso das fotografias aéreas foi utilizado um VANT, vulgo *drone*, Phantom 4 Pro<sup>17</sup>, da DJI (*vide* fig. 21), o qual possui uma câmera de 20 megapixéis com estabilizador integrado, também conhecido como gimbal, que permite girar a câmera sobre o seu eixo vertical de forma a obterem-se fotografias tanto verticais quanto oblíquas. Através desta plataforma é possível tirar fotos georreferenciadas de forma a criar ortofotomapas e modelos digitais de superfície, também eles georreferenciados. O *drone* possui uma autonomia de 28 minutos por bateria, sendo que durante os levantamentos realizados nesta dissertação tínhamos disponíveis duas baterias, uma principal e uma de reserva caso a primeira não fosse suficiente ou apresentasse algum problema. Um equipamento como este custa em média R\$ 6000,00, contudo existem modelos com características semelhantes, como um Phantom 3, que ficam por R\$ 2500,00.



Figura 21 - Drone Phantom 4 pro da DJI usado nos levantamentos aéreos.

Já para o processamento das fotos existem vários programas<sup>18</sup> que realizam a reconstrução 3D de objetos ou de paisagens, estes são baseados nos algoritmos SHIFT e SfM abordados no capítulo anterior. Programas comerciais como o *Photoscan* (Agisoft), o *PhotoModeler* (Eos Systems Inc.), o *Pix4D* nas suas versões *model* e *mapper*, bem como os softwares da *Autodesk*: o *Remake* e o *Recap 360* permitem realizar reconstruções 3D através de fotografias, terrestres ou aéreas, ou de nuvens de pontos adquiridas através de escâneres a laser, seguindo alguns passos semiautomáticos.

<sup>17</sup> Para mais informações sobre as características do Phantom 4 Pro da DJI consultar o manual disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/phantom\\_4\\_pro/20171017/Phantom\\_4\\_Pro\\_Pro\\_Plus\\_User\\_Manual\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20171017/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_EN.pdf) Acessado a 25 de janeiro de 2017.

<sup>18</sup> Para uma visão mais extensa dos programas de fotogrametria disponíveis no mercado consultar a lista disponível em [https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_photogrammetry\\_software](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_photogrammetry_software), acessado a 10 de janeiro de 2018.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Existem também alguns softwares como o *Alziture*, o *Drone Deploy* e o *Drone Mapper* que realizam o processamento das imagens em servidores online subindo estas para uma nuvem e retornando com o modelo pronto, são bastante usadas no processamento de imagens aéreas, adquiridas por *drone*, para obterem-se modelos digitais de superfície (DSM) e ortofotomapas. No entanto, este tipo de solução não permite ter um controle direto sobre as diferentes etapas de processamento das imagens e exige uma ligação à internet. Por último, temos também programas *open source* como *Visual SfM* ou o *Bundler* que, apesar de grátis e seguirem passos semiautomáticos, ou seja, permitirem a manipulação dos dados entre as diferentes fases de pós-processamento, exigem um maior conhecimento informático e fotogramétrico, pois são menos *user friendly*.

Para esta dissertação foi usado o *software Photoscan* da Agisoft, que permite uma manipulação direta das diferentes etapas de pós-processamento das imagens permitindo um maior controle sobre as variáveis e um maior rigor no nível de precisão desejado em cada modelo, bem como a exportação em múltiplos formatos (*vide* ponto 3.3). Vários autores (Callieri et al., 2011; Doneus et al., 2011; Verhovem, 2011; Koutsoudis, 2014) testaram a aplicação deste software no âmbito do registro arqueológico com excelentes resultados.

Já no que se refere a *hardware*, qualquer computador pode ser utilizado, no entanto é recomendável uma máquina com boa capacidade de processamento e memória RAM, já que isso terá um impacto direto no tempo necessário para criar os modelos, o que pode ser um fator importante, em campanhas de escavação, com tempo limitado, nas quais os modelos são usados como ferramentas analíticas de campo. No manual de usuário do *Photoscan* (Agisoft, 2018) recomenda-se como configuração básica: sistema operativo Windows 7 SP 1 ou posterior (64 bit), Mac OS X Mountain Lion ou posterior; um processador Intel Core i7; 16 GB de memória RAM e uma placa gráfica NVIDIA Geforce serie GTX400 (ou superior) com CUDA 2.0 (ou superior) ou uma AMD Radeon HD 6000 (ou superior) com open CL 1.1 (ou superior). No âmbito desta dissertação foi utilizado um computador MSI GT72 2QE Dominator Pro com um processador Intel Core i7-4710HQ (2.5GHz, 3.5GHz Turbo Boost); placa gráfica Nvidia GeForce GTX 980M 8GB GDDR5; 32GB de memória DDR3-1600 (4x8GB) e disco rígido de 1TB 7200RPM (*vide* fig. 22), o qual produziu resultados bastante satisfatórios em termos de tempo de processamento das imagens e precisão dos modelos.



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.



**Figura 22 - Computador Msi usado para o pós-processamento das imagens.**

Uma máquina como a que foi usada custa, em média, R\$ 12.000,00 que, apesar de ser um investimento significativo para um particular, no âmbito de um projeto ou como equipamento para uma instituição é algo perfeitamente exequível. Contudo, como iremos ver no ponto 4.2 do capítulo seguinte, uma outra máquina com uma configuração inferior foi usada em testes de campo em um dos estudos de caso obtendo-se resultados bastante satisfatórios, realizando modelos de um dia para outro e possibilitando a visualização dos modelos e geração de ortofotos em campo, auxiliando na interpretação estratigráfica do sítio.

### **3.2 Coleta de dados**

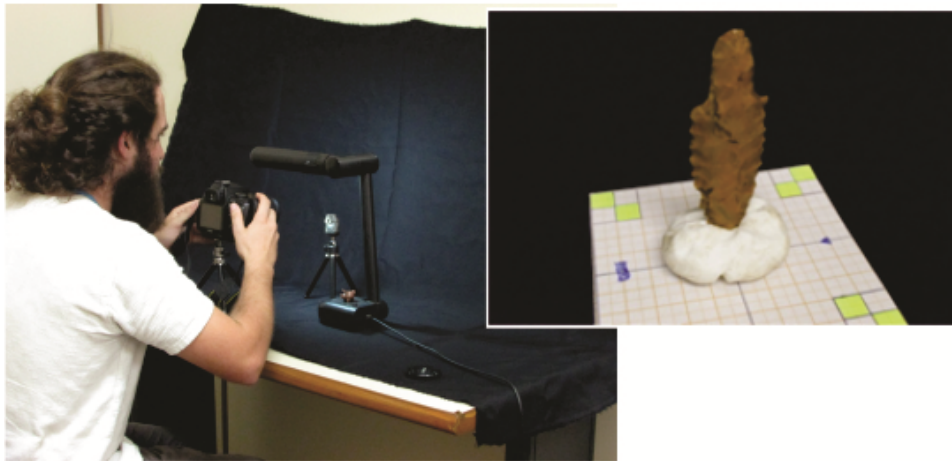
No que se refere à aquisição de fotografias para elaboração dos modelos 3D algumas considerações devem ser tidas em conta no momento do levantamento fotográfico como a iluminação, a sobreposição de imagens, colocação de alvos ou de escalas para georreferenciamento do modelo e o posicionamento da câmera em relação ao objeto. Segundo o manual do *Photoscan* (Agisoft, 2018:8-9) a iluminação deve ser difusa de forma a evitarem-se sombras na área de registro, devendo evitar-se também superfícies brilhantes ou reflexivas e objetos em movimento já que o programa tem dificuldades em processar este tipo de superfícies. No que se refere a sobreposição de imagens o manual indica que a sobreposição lateral deve ser de 60 % e a frontal de 80%. Destacamos ainda que no caso da aquisição de dados em campo convêm não esquecer, sempre que possível, de agregar ao registro pontos georeferenciados. Sugerimos ainda que as fotos sejam tiradas durante o desenho das estruturas de forma a não prejudicar o fluxo do trabalho arqueológico, nem acarretar em acréscimo de tempo. Já para o posicionamento da câmera em relação ao objeto e a colocação de alvos ou

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

escalas, também conhecidos como pontos de controle de solo (CGP-*Ground control points*), estes variam consoante o tamanho da peça alvo de registro. Neste sentido, convém fazer uma distinção entre pequenos objetos, objetos isolados, objetos de superfície única e grandes áreas.

### 3.2.1 Pequenos objetos

O levantamento de artefatos de pequena dimensão foi realizado através da colocação de um fundo infinito que contraste com a cor do objeto alvo e registro, no caso do levantamento dos líticos usados no âmbito desta dissertação optou-se pela cor preta, sendo os objetos colocados sobre uma plataforma giratória e mantendo a câmera fixa e estabilizada por tripé (*vide* fig. 23). A peça vai sendo girada e fotografada a cada movimentação até se completar uma sequência de fotografias com sobreposição lateral superior a 60% entre imagens e a diferentes alturas. A escala foi obtida através de marcações na base giratória.



**Figura 23 - À esquerda a bancada utilizada para o registro de pequenos artefatos com fundo infinito preto, iluminação e câmera fixa apoiada por tripe. À direita close up da plataforma giratória que serviu de referência para a escala do objeto. Note-se que de forma a fixar o artefato na plataforma foi usada massa de modelar (Fonte: foto do autor, 2017)**

### 3.2.2 Objetos isolados

No caso do levantamento de objetos isolados o manual do *Photoscan* (Agisoft, 2018:8-9) indica que o objeto deve ocupar ao máximo da área de registro e o levantamento fotográfico realizado através de tomadas sucessivas circulares (*vide* fig. 24). Os alvos fotogramétricos são colocados em volta do objeto de forma a ocupar toda a área de registro e as medidas entre eles registradas para criar escalas.

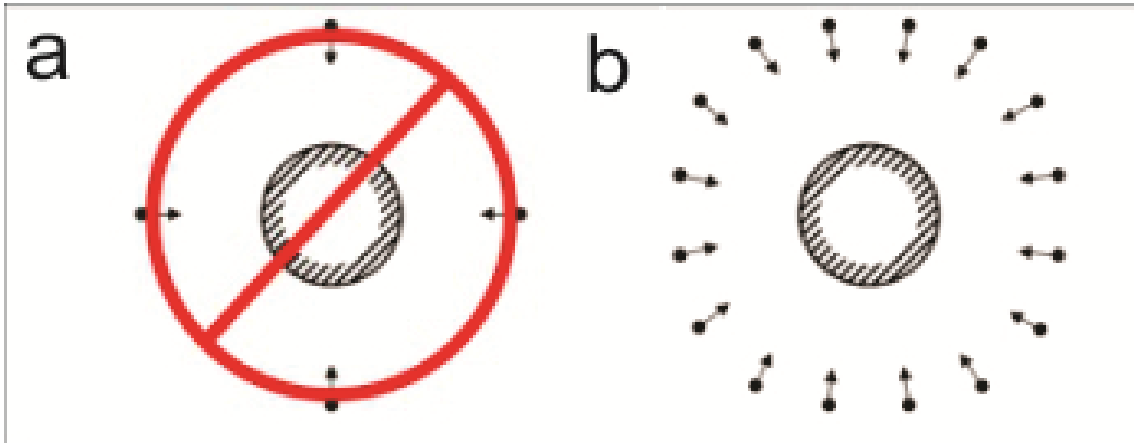


Figura 24 - A imagem da esquerda apresenta um exemplo de uma má cobertura fotografica de um objeto isolado. A da direita exemplifica um bom levantamento fotogramétrico de um objeto isolado na qual as fotos devem ser tiradas em volta de todo o objeto de forma a cobrir todas as suas partes (Fonte: imagens adaptadas do manual Agisoft, 2018).

### 3.2.3 Objetos superfície única

Já para objetos de superfície única o manual (*op. cit*) indica que as imagens devem ser tomadas em seqüências de fotografias laterais com uma sobreposição lateral mínima de 60% e os alvos fixados ao logo do painel alvo de registro (*vide* fig. 25).

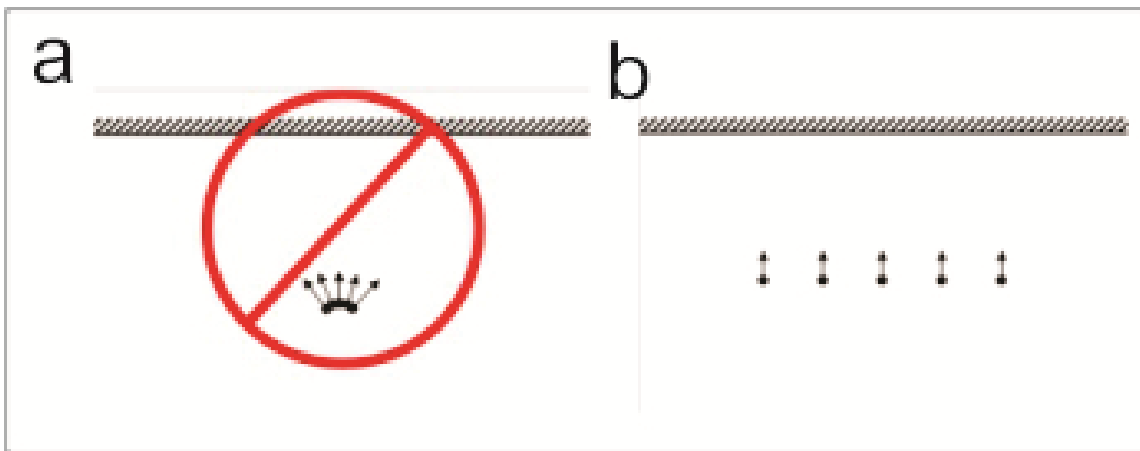


Figura 25 - A imagem da esquerda (A) apresenta um exemplo de uma má cobertura fotografica de uma fachada ou superfície única. A da direita (B) exemplifica um bom levantamento fotogramétrico de uma superfície única em que as fotos são tiradas seqüencialmente e com um espaçamento entre elas de forma a cobrir todo o painel (ffnte: imagens adaptadas do manual Agisoft, 2018).

### 3.2.4 Levantamento de grandes áreas

Para o levantamento de grandes áreas arqueológicas ou de paisagens o método utilizado foi o da fotografia aérea através do uso de drone, obtendo-se um conjunto de imagens verticais (para a criação de ortofotomapas) ou oblíquas (para modelação 3D). Um planejamento de voo deve ser executado previamente de forma a cobrir toda a área do sítio arqueológico, para tal um programa como *DroneDeploy* pode ser usado para

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

configurar o voo de forma a que este cubra toda a área de interesse (*vide* fig. 26). Caso não seja possível realizar um planejamento prévio do voo o *software* da DJIGO pode ser utilizado como alternativa criando a rota no local através da opção Waypoints. Embora o primeiro programa nos permita ter um maior controle sobre os parâmetros de voo, como percentual de sobreposição, uso de bateria, duração do voo e resolução do ortomosaico, em ambos os casos o aparelho realizará um levantamento autônomo da área selecionada, obtendo-se fotografias aéreas com uma boa sobreposição.



**Figura 26 - Exemplo de um planejamento de voo realizado através do Software Drone Deploy para a área do sambaqui Amourins - RJ.**

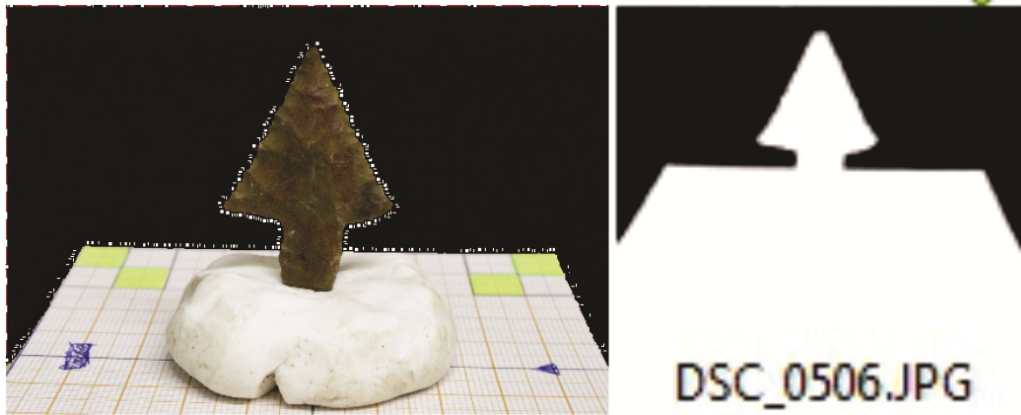
Relativamente ao georreferenciamento o manual do *Photoscan* (Agisoft, 2018:8-9) indica que um mínimo de 10 CGPs devem ser espalhados ao longo da área a ser reconstruída, estes podem ser alvos fotogramétricos colocados no solo ou pontos conhecidos de estruturas ou características na paisagem, registrando as suas coordenadas através de um GPS ou de uma estação total. Contudo, tratando-se de um modelo de *drone* recente que dispõem de GPS e IMU integrados as fotos obtidas durante o voo já vêm georreferenciadas, como foi o caso do aparelho utilizado nos estudos de caso desta dissertação.

### 3.3 Processamento dos dados

Após a conclusão dos levantamentos fotogramétricos, as fotos são triadas e tratadas no que diz respeito à luz, saturação e cor, e as fotos que estiverem fora de foco devem ser descartadas. No que se refere a compensação da distorção da lente, esta não foi alvo de tratamento pois o próprio *Photoscan* já possui a *Nikon D3300* na sua base de dados tendo a sua calibração sido executada pelo programa de forma automática.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Segundo o manual do *Photoscan* (Agisoft 2018:28), a criação de máscaras deve ser realizada, sempre que necessária, de forma a ocultar partes que possam ser confusas ou levar o programa a gerar erros (*e.g.* superfícies reflexas, vegetação) ou caso o objeto alvo de registro não esteja imóvel como no caso do levantamento de pequenos objetos.



**Figura 27 - Exemplo de imagem com mascara aplicada ao fundo. O uso de máscaras serve também para maximizar o tempo de processamento, focando somente o objeto e descartando áreas da fotografia que não tem interesse.**

Concluído o tratamento das fotos, as imagens são carregadas no *Photoscan*<sup>19</sup> e seguem quatro passos semiautomáticos de forma a obter-se o modelo 3D. O primeiro passo é o alinhamento das fotos. Nesta fase, o programa procura por pontos em comum nas fotografias e combina-os, encontrando a posição da câmera para cada imagem e refinando os parâmetros de calibração. Como resultado, uma nuvem de pontos esparsos e um conjunto de posições de câmera são obtidas (fig. 28 A).

<sup>19</sup> Para maiores informações sobre o Programa Agiota Photoscan cf. Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.0.0, disponível em: [http://downloads.agisoft.ru/pdf/photoscan-pro\\_1\\_0\\_0\\_en.pdf](http://downloads.agisoft.ru/pdf/photoscan-pro_1_0_0_en.pdf) (acessado a 07 de janeiro de 2017).

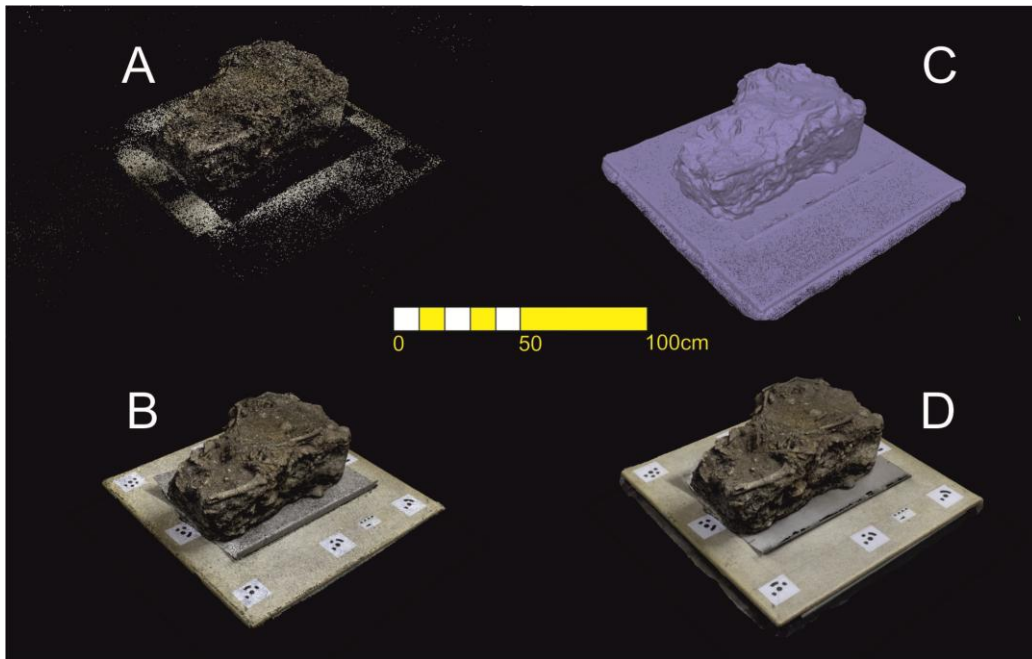


Figura 28 - (A) nuvem esparsa de pontos; (B) nuvem densa de pontos; (C) malha poligonal 3D; (D) modelo 3D com textura (MAGALHÃES et al, 2018).

De maneira a refinar ainda mais o alinhamento do modelo, nesta fase são indicados os pontos de controle presentes em cada fotografia (*vide* fig. 29). Embora o programa possua um modo automático de detecção dos marcadores (menu *tools/markers/detect markers*) recomenda-se que este processo seja executado manualmente, pois o reconhecimento automático nem sempre é exato, podendo prejudicar o alinhamento correto das imagens. Após a colocação manual dos marcadores ao longo da série de fotografias é feita uma otimização do alinhamento e criada uma nova nuvem de pontos esparsos refinada.

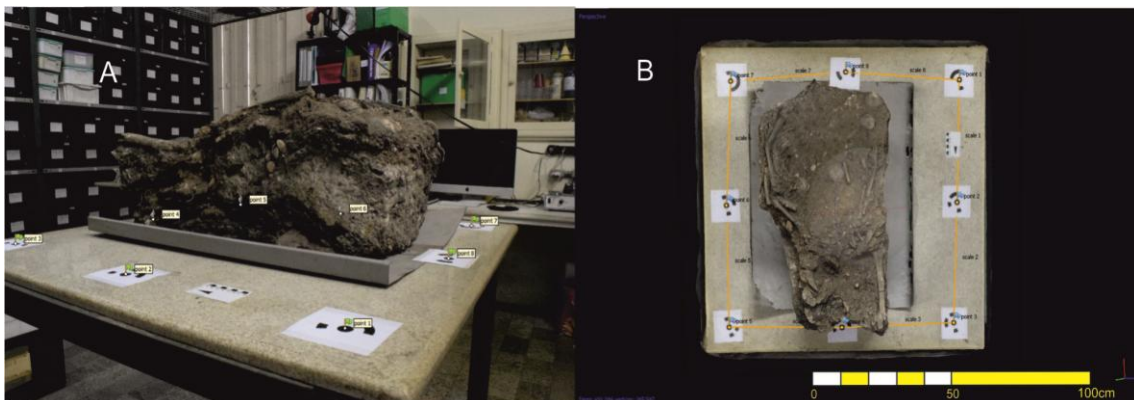


Figura 29 - A imagem (A) apresenta uma fotografia do bloco de sepultamento com os alvos fotogramétricos colocados em sua volta, em cada fotografia o centro dos alvos foi marcado manualmente para que o programa possa otimizar o alinhamento das imagens. A imagem (B) representa uma vista de topo com os alvos e réguas criadas a partir da distância conhecida entre eles (40 cm) após a otimização do alinhamento (MAGALHÃES et al, 2018).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

A seguir é processada a nuvem densa de pontos (fig. 28 B) com base nas posições estimadas das câmeras e das fotografias. Nesta fase, são criadas escalas indicando a distância conhecida entre os pontos de controle. Segue-se a construção da malha poligonal 3D (fig. 28 C), representativa da superfície do objeto com base na nuvem densa de pontos. Nesta fase, o programa atribui uma cor a cada um dos vértices a partir das cores dos *pixels* das fotografias. Existem dois métodos algorítmicos para a geração de malha 3D mais comumente usados no *PhotoScan: Height field* - para superfícies planas, e *Arbitrary* - para qualquer tipo de objeto. Tendo construído a malha, pode existir a necessidade de editá-la, através de algumas correções como aparar, fechar buracos ou remover componentes destacados.

Por último, é aplicada a textura do objeto, a qual é baseada na cor atribuída a cada ponto da nuvem densa, conferindo a este um aspecto foto realista (*vide* fig. 28 D), permitindo posteriormente a criação de ortofotomapas, modelos digitais de superfície ou de imagens retificadas de diferentes perspectivas do modelo 3D.

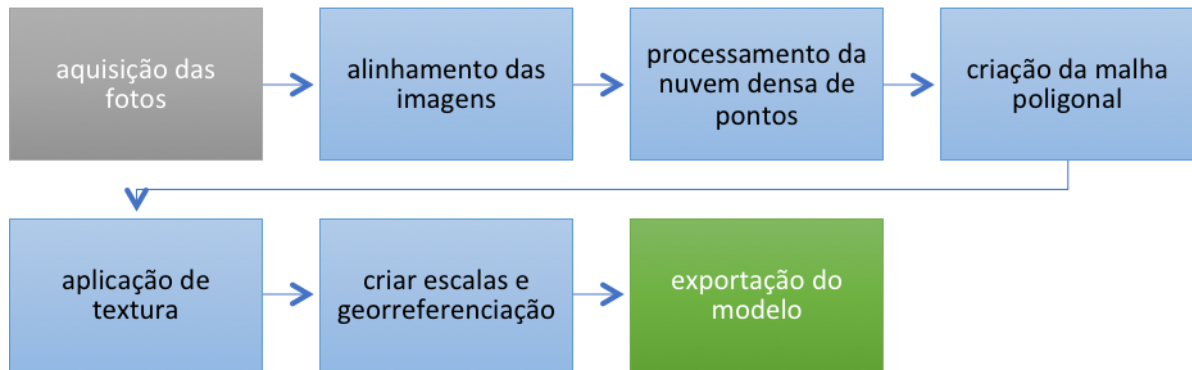
O modelo pode ainda ser exportado em formato GeoTiff, no caso das ortofototos e modelos digitais de superfície, ou como Wavefront OBJ (\*.obj), 3DS models (\*.3ds), COLLADA (\*.dae), Stanford PLY (\*.ply), Alembic (\*.abc), STL models (\*.stl), Autodesk DXF (\*.dxf), Autodesk FBX (\*.fbx), Universal 3D models (\*.u3d), VRML models (\*.wrl), Google Earth KMZ (\*.kmz), Adobe 3D PDF (\*.pdf) para as nuvens de pontos ou modelos 3D, dentre os quais destacamos os dois últimos formatos (\*.kmz e \*.pdf) que rapidamente estão a transformar-se no método de exportação preferido pela comunidade académica, chegando ao ponto de algumas revistas científicas aceitarem modelos 3D em formato PDF como parte da publicação.

### 3.4 Em suma

Em suma, ao longo deste capítulo descrevemos a metodologia e materiais necessários para produzir modelos 3D de vestígios arqueológicos a múltiplas escalas. Fornecendo, sempre que possível, os valores dos equipamentos usados bem como de outros análogos. Como pudemos verificar através deste capítulo, os protocolos fotogramétricos para obter um registro arqueológico em três dimensões são simples e podem ser alcançados com equipamentos bastante acessíveis do ponto de vista económico, comparativamente às outras formas de aquisição de dados 3D como os escâneres a laser, escâneres de luz estruturada ou até mesmo estações totais. O processo começa com a aquisição das fotos em campo, ou em laboratório, seguindo 4 passos

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

semiautomáticos dentro do programa *Agisoft Photoscan* (vide fig. 30), podendo depois ser exportado em vários formatos para análise ou criação de infografia arqueológica (e.g. plantas, ortofotomapas, desenhos de perfis, modelo 3D).



**Figura 30 - Fluxograma onde são representados os processos, utilizados durante esta dissertação, para aquisição de dados e criação de um registro 3D.**



## Capítulo 4 Casos de Estudo

Ao longo deste capítulo vamos apresentar os estudos de caso que compõem esta dissertação. Como pudemos ver nos capítulos anteriores, a aplicação da fotogrametria no âmbito do registro arqueológico é ainda insipiente e está a dar os primeiros passos no território brasileiro.

De forma a embasar a aplicação desta ferramenta de registro complementar nas práticas arqueológicas nacionais, foram selecionados casos de estudo que representam especificidades da arqueologia brasileira aplicando-se, sempre que possível, a técnica fotogramétrica a trabalhos de pesquisa de colegas de mestrado ou de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Arqueologia do Museu Nacional, de forma a agregar conhecimento.

Neste sentido foram selecionados como casos de estudo dois sambaquis, Amourins (RJ) e Cabeçuda (SC), arte rupestre da região de Lagoa Santa (MG) e alguns artefatos líticos do Sítio Alice Boer (SP), representativos da arqueologia pré-histórica brasileira. Paralelamente, de forma a complementar o registro arqueológico brasileiro de cariz histórico foram levantadas estruturas portuárias do centro do Rio de Janeiro e de Niterói. No caso das estruturas portuárias, o seu levantamento foi realizado no âmbito da arqueologia de contrato, contrastando claramente com os restantes casos que representam campanhas de pesquisas científicas, nas quais as especificidades de tempo e de recursos são bem distintas, possibilitando uma análise mais abrangente da aplicabilidade da técnica fotogramétrica.

### 4.1 Sambaqui Amourins

O primeiro caso de estudo que apresentamos é o de um bloco de sepultamento do sambaqui Amourins, rio de Janeiro. Tal caso de estudo teve como objetivo a criação de um modelo 3D do bloco, que foi escavado no Laboratório de Arqueologia Casa de Pedra/Museu Nacional/UFRJ. Pretendia-se assim garantir a permanência virtual da estrutura e o acesso a diferentes tipos de informação referentes ao arranjo dos materiais e à própria escavação, mesmo após o desmonte do bloco. Posteriormente, foi realizada uma visita científica ao sítio arqueológico para testar a técnica numa escala macro, através do levantamento aéreo com uso de *drone*, para criar um DEM e ortofoto retificada do Sambaqui de Amourins que possa servir futuramente de ferramenta analítica para acompanhar o desgaste que o rio Guapimirim exerce sobre o sítio;

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

permitindo assim um melhor embasamento de possíveis medidas de minimização de impactos e preservação do sítio arqueológico.

### Localização

Segundo Gaspar et al. (2013:14), o sambaqui de Amourins está localizado a 5 km do entorno da Baía da Guanabara, na margem esquerda do rio Guapimirim, na fazenda Santa Rita de Cássia (figura 32). Ao longo dos anos, os embates constantes do rio provocados por inúmeras cheias acabaram destruindo mais da metade do sambaqui. Atualmente o sítio tem cerca de 60m de comprimento x 10m de largura e 2,80m de altura. Com uma estratigrafia que apresenta uma sucessão de camadas compostas por restos faunísticos de conchas e peixes, bem como artefatos e outros elementos, intercaladas por finas camadas escuras de cinzas, resultantes de fogueiras.

Este sítio foi estudado na década de 1980 por Heredia e colaboradores (Heredia & Beltrão, 1980; Heredia *et al.*, 1982), tendo as pesquisas sido retomadas, em 2010, por Gaspar (Figura 31).



Figura 31 - (A) Vista de topo da escavação do Sepultamento C; (B) vista geral da campanha de escavação de 2010 do sambaqui de Amourins (Fonte: adaptado de Gaspar 2011).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

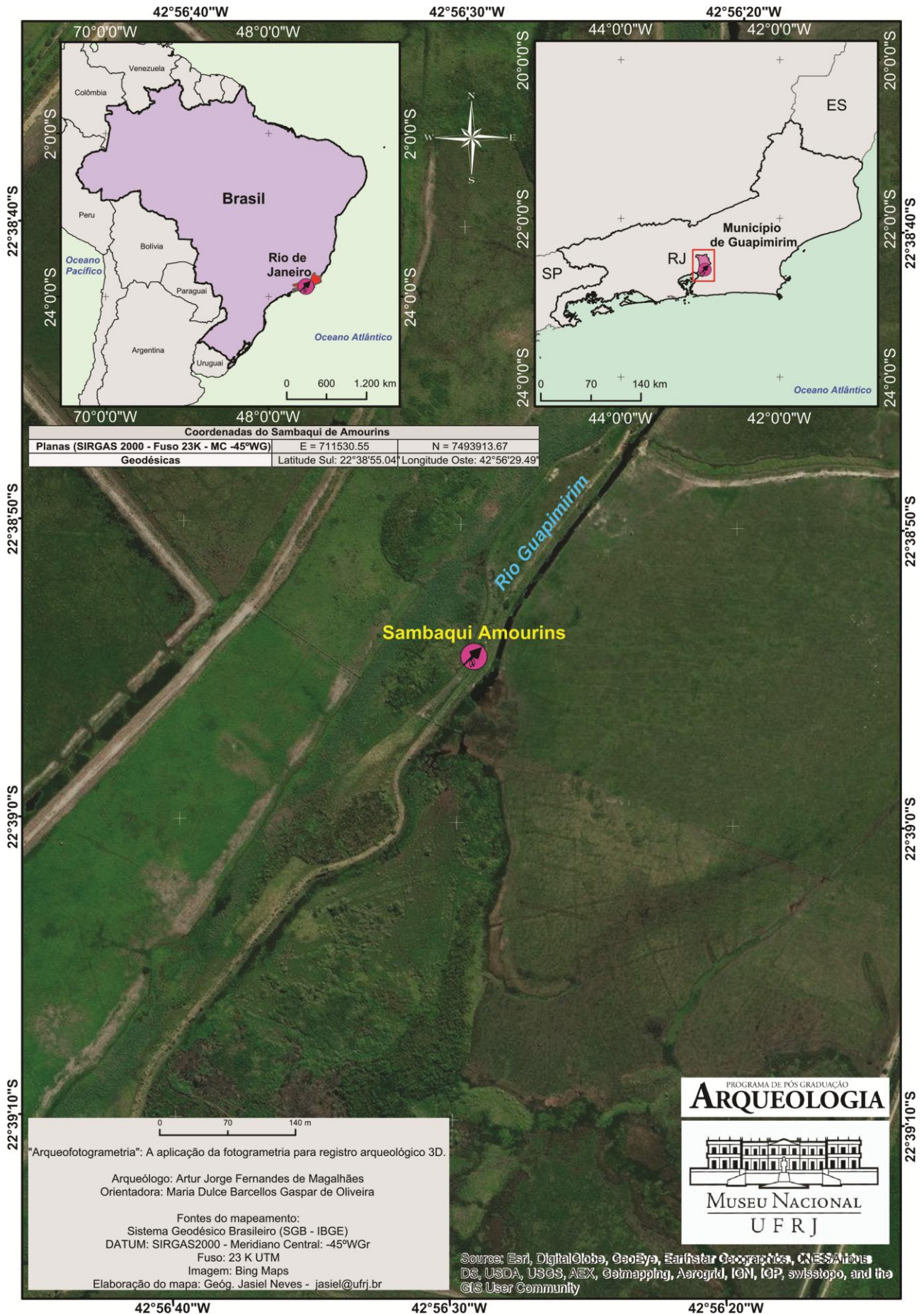


Figura 32 - Mapa de localização do Sambaqui Amourins, Guapimirim, Rio de Janeiro. Mapa: Jasiel Neves.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.1.1 Bloco de sepultamento

Das campanhas iniciadas em 2010 resultaram três sepultamentos recuperados em blocos de testemunhos (nomeados de A, B e C), que foram resgatados com o objetivo de se realizar a escavação minuciosa em laboratório, de forma a se coletarem todas as informações referentes à análise bioarqueológica e microestratigráfica presentes nos blocos. Dentre os três blocos de testemunhos, foi escolhido o Sepultamento C (ver Figura 33) para ser um dos objetos de pesquisa desta dissertação.

Em laboratório o bloco de sepultamento foi colocado em cima de uma mesa com uma iluminação o mais difusa possível e seguiu-se a metodologia de levantamento fotogramétrico de objetos isolados descrita no capítulo anterior (Figura 33A). Foram colocados 8 alvos em torno do bloco a uma distância de 40 cm, equidistantes entre cada alvo (Figura 33B).

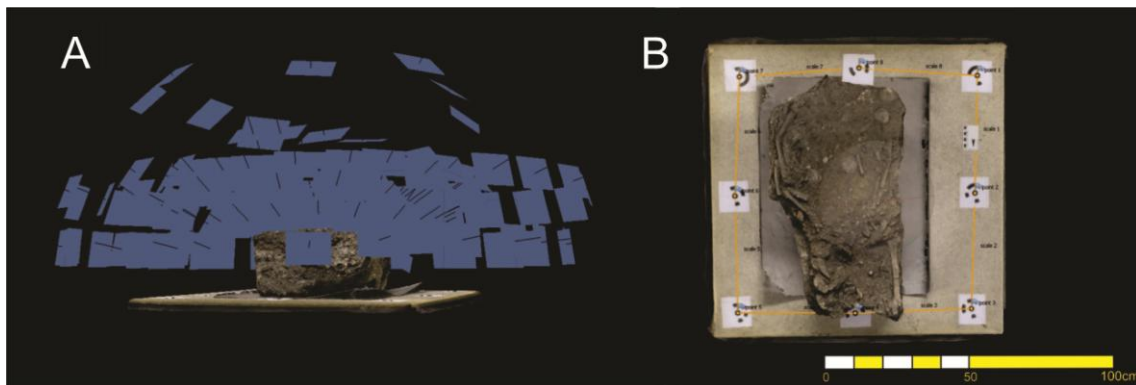


Figura 33 - a) localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa *Photoscan* que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.

Como podemos verificar através da Tabela 1, após o processamento dos dados todas as 172 fotografias foram alinhadas com sucesso resultando numa nuvem esparsa com 78.665 pontos convergentes. Posteriormente, todos os 8 pontos de controle foram identificados e marcados no modelo e realizou-se uma otimização do alinhamento. Em seguida criou-se uma nuvem densa de pontos, em baixa resolução, da qual resultaram 3.510.507 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obteve-se uma malha poligonal 3D com 691.046 faces representativa da geometria da superfície do bloco de sepultamento, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 1- Síntese do processo de elaboração do modelo 3D do bloco de sepultamento C. Processamento realizado com computador MSI.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	172/172 (total/alinhas)	40 m (aquisição em laboratório)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Baixa	13m58s	78,665 pontos
Nuvem densa	Baixa	9m58s	3,510,507 pontos
Mesh	Baixa	1m56s	706,007 faces
Textura	4,096 x 4,096	3m25s	-----
DEM	8,037 mm/pix	5s	1.42848 pontos por m <sup>2</sup>
Ortomosaico	0.00415 m/pix	28m55s	-----
<b>TOTAL</b>	-----		-----

Com base nos 8 pontos de controle posicionados em volta do bloco de sepultamento foram criadas 8 réguas, as quais serviram para colocar o modelo em escala e que apresentaram um erro de distorção de 0,811 mm, ou seja, um erro inferior a um milímetro. Tal resultado vem comprovar a alta precisão do registro fotogramétrico, que em muito ultrapassa a do desenho, chegando ao nível de um levantamento por escâner a laser, porém a um custo bem mais reduzido (Tabela 2).

**Tabela 2- Apresenta as distancias e margem de erro das réguas de 40 cm criadas através dos alvos colocados em torno do bloco de sepultamento.**

Escala	distância (m)	erro (m)
point 1_point 2	0.399285	-0.000715392
point 2_point 3	0.400466	0.000466165
point 3_point 4	0.399799	-0.000200727
point 4_point 5	0.399186	-0.00081369
point 5_point 6	0.399851	-0.000149231
point 6_point 7	0.401831	0.00183128
point 7_point 8	0.400504	0.000503692
point 8_point 1	0.399063	-0.000936943
<b>TOTAL</b>		<b>0.000861606</b>

No que se refere ao tempo despendido em todo o processo consideraram-se as seguintes fases<sup>20</sup>:

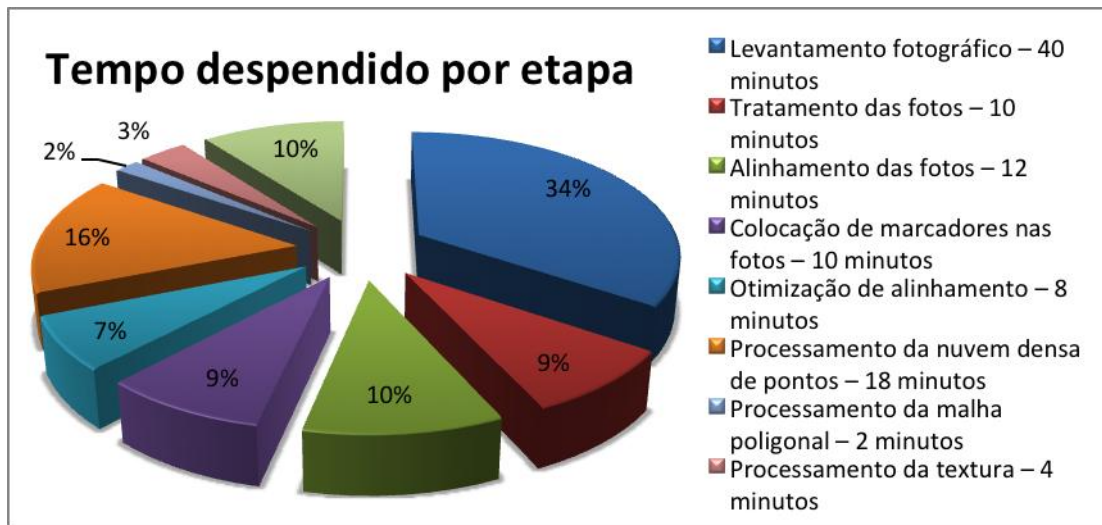


Gráfico 1 - Apresenta o tempo despendido para todas as fases do processo de criação do modelo digital do bloco de sepultamento C de Amourins.

O que perfaz um total de 1h56m de trabalho para gerar um registro de 172 fotografias; um modelo digital superfície do bloco de sepultamento com precisão de menos de 1mm; bem como uma ortofoto da planta baixa do bloco (figura 34) da qual podem ser extraídas medidas rigorosas, permitindo ainda a vetorização da ortofoto em desenho digital. Além do formato Tiff gerado pela ortofoto, o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. O primeiro (Obj.) permite a reedição do modelo em resoluções mais altas, caso se tenha acesso a um computador com mais capacidade de processamento, bem como o processamento deste em outros *softwares*. O segundo (PDF 3D) permite a visualização do modelo em qualquer computador que tenha a última versão do Adobe Reader, a qual suporta este tipo de arquivo e que é grátis. O modelo também se encontra disponível para visualização através do link: <https://skfb.ly/6nwJp>.

<sup>20</sup> Esse tempo pode variar de acordo com os recursos utilizados e a experiência do profissional.

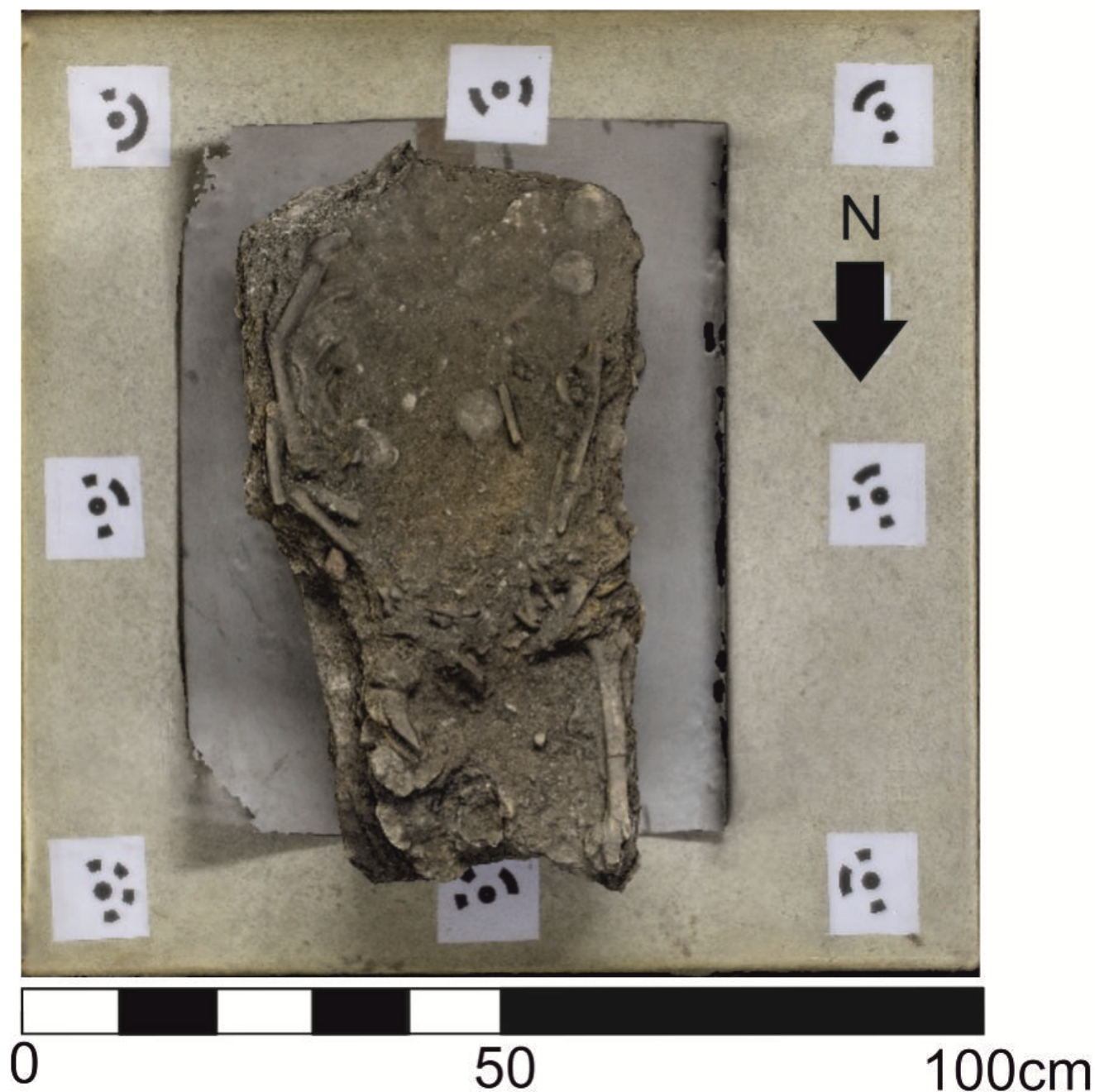
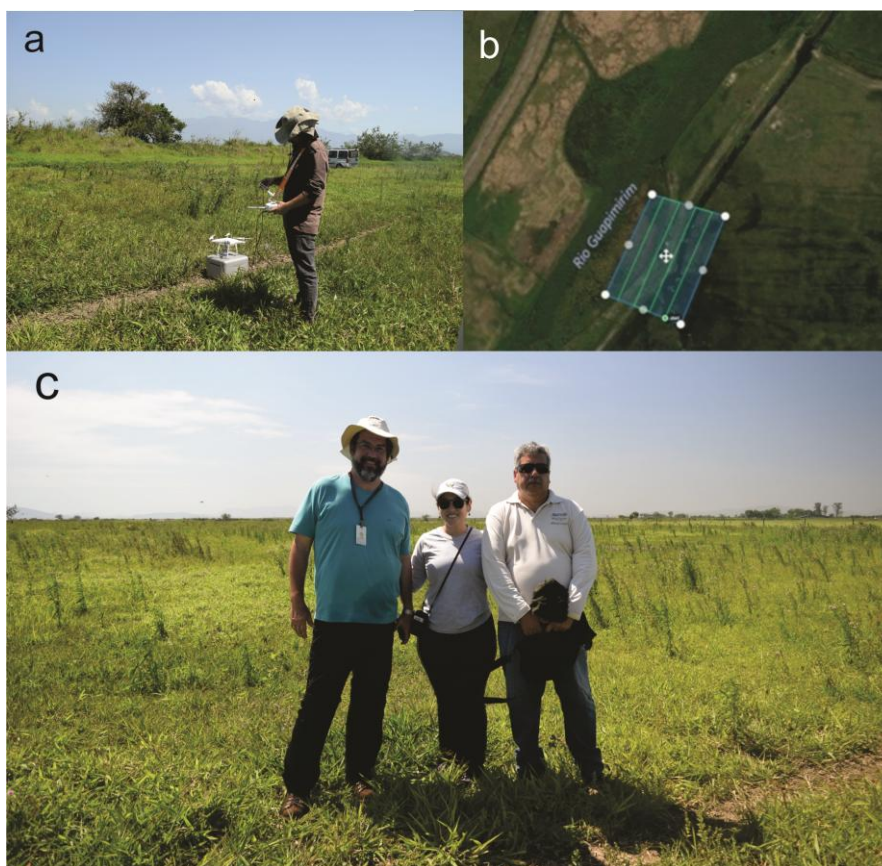


Figura 34 - Ortofoto retificada da planta baixa do bloco de sepultamento C de Amourins.

#### 4.1.2 Levantamento aéreo do sambaqui Amourins

De forma a se proceder ao levantamento aéreo da área do sambaqui Amourins foi realizada uma visita ao local no dia 17 de novembro de 2017. O objetivo deste levantamento foi o de criar um modelo digital de elevação que permitisse servir futuramente de base comparativa ao processo erosivo que o rio Guapimirim exerce sobre o sítio. Neste sentido foi criado um plano de voo (figura 35b) que permitisse o levantamento de toda a área do sítio através do aplicativo *Dronedeploy*.



**Figura 35 - a) Levantamento aéreo da área do sambaqui Amourins através do uso de drone. b) Detalhe do plano de voo realizado no aplicativo Dronedeploy para cobertura de toda a área do sítio. c) Da esquerda para a direita: Professor Dr. Renato Ramos; Ana Luiza Berredo; Donald.**

Foi definido um voo autónomo a 35 metros de altitude com resolução de 1 cm/px, com uma tomada de 45 fotografias e um tempo total de voo de 3m16s. Contudo, chegados ao local o *firmware* do *Phantom 4* solicitou atualizações e como estávamos em local isolado, sem cobertura de internet, não foi possível realizar o voo em modo autónomo o que obrigou a sua pilotagem de forma manual, aumentando substancialmente o número de fotografias de forma a garantir que toda a área fosse registrada. O voo manual teve duração de cerca de 15 minutos do qual obtivemos 257 fotos que seguiram para pós processamento no *software Agisoft Photoscan* e cujos resultados podemos observar na Tabela 3.

**Tabela 3 - Resultados do processamento das imagens através do *Agisoft Photoscan*, resultantes do levantamento aéreo do sambaqui de Amourins.**

<b>Etapa</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Tempo</b>	<b>Pontos/Faces</b>
Número de fotos	257/204 (total/alinhadas)	15m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Média	1h09m59s	53,054 pontos
Nuvem densa	Alta	28m36s	29,372,962 pontos
Mesh	Alta	29m12s	5,874,592 faces



Textura	10,000 x 10,000	12m03s	-----
DEM	8 mm/pix	3m49s	15615.8 pontos por m <sup>2</sup>
Ortomosaico	0.00400118 m/pix	18m50s	-----
TOTAL	-----	2h57m29s	-----

Após o processamento dos dados apenas 204 das 257 fotografias foram alinhadas com sucesso, as fotos não alinhadas correspondem a vegetação alta, que o programa não conseguiu alinhar. Das restantes 204 fotos alinhadas em qualidade média resultou uma nuvem esparsa com 53.054 pontos convergentes. Em seguida, criou-se uma nuvem densa de pontos, em resolução alta, da qual resultaram 29.372.962 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obteve-se uma malha poligonal 3D com 5.874.592 faces representativa da geometria da superfície do sambaqui Amourins, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 2h57m29s para gerar um registro de 257 fotografias; um modelo digital de elevação (figuras 36a e 36b) do sítio arqueológico correspondente a uma área de 1210 m<sup>2</sup>, com precisão de menos de 0,5 cm/px; foi também gerada uma ortofoto da área em formato Geo Tiff (figura 36C) e Kmz, formato de apresentação *Google Earth*.

Como no caso do bloco de sambaqui o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. O modelo também se encontra disponível para visualização através do link: <https://skfb.ly/6Av7X>.

Paralelamente foi também testado o pós-processamento das imagens através do aplicativo *Dronedeploy* (figuras 36d e 36e) para comparação dos resultados deste ao do *Agisoft Photoscan*. Como podemos observar pela figura 6 ambos os programas foram capazes de gerar ortofotomapas e modelos digitais de elevação de boa qualidade. No entanto, quando comparadas a ortoimagem gerada pelo *Photoscan* apresenta menos distorção nas áreas de vegetação e uma área de registro maior do que a gerada no *Dronedeploy*, porém este apresentou melhores resultados na representação da vegetação no DEM.

## Sambaqui Amourins

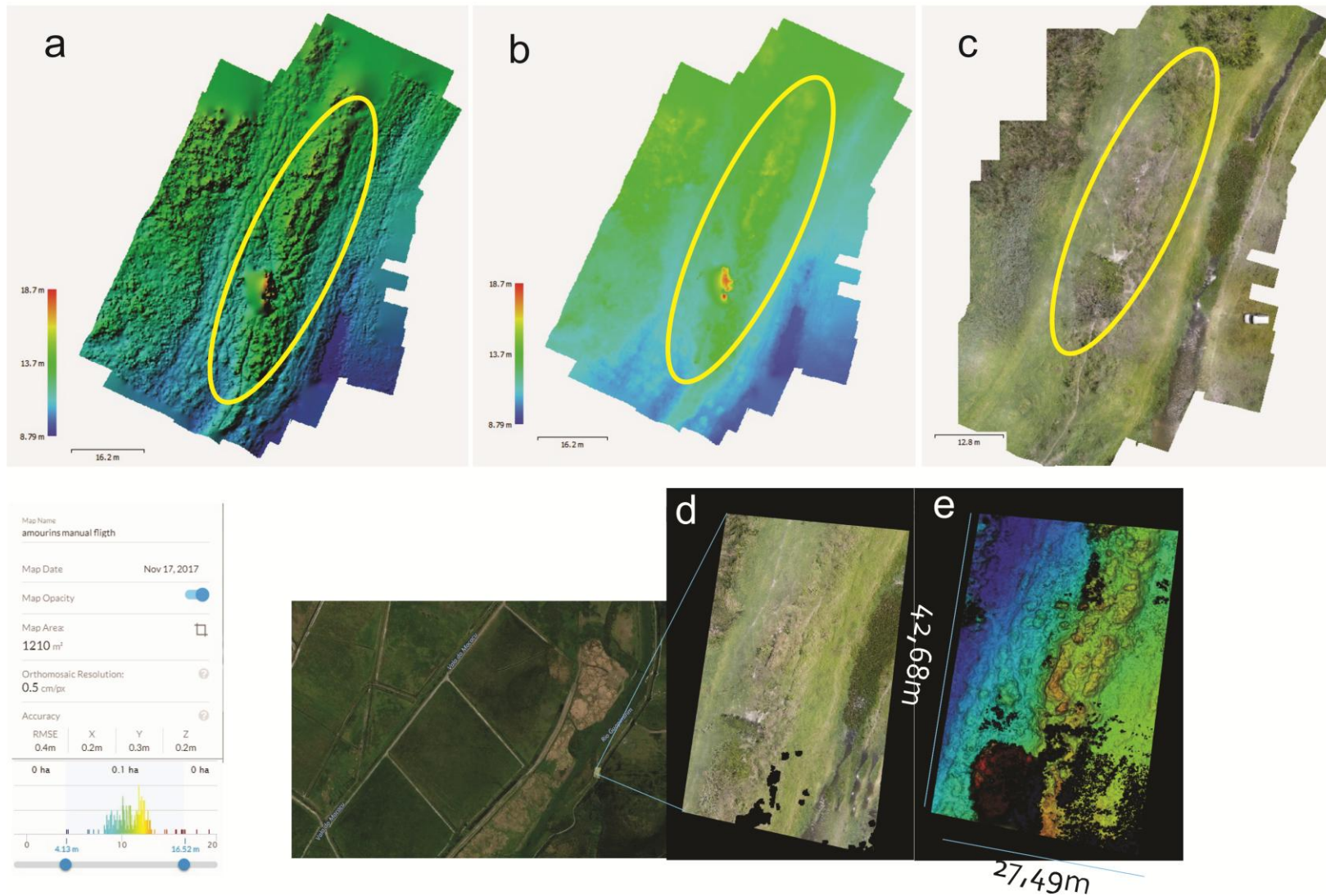


Figura 36 - a) Modelo digital de elevação (DEM) com hillshade gerado no Photoscan. Este modo permite simular a incidência de uma fonte de luz sobre o DEM. b) Modelo digital de elevação (DEM) simples gerado no Photoscan. c) Ortofomapa georreferenciado gerado no Photoscan. d/e) Ortofomapa e DEM georreferenciados gerado no Dronedeploy.

## 4.2 Campanha de escavação sambaqui de Cabeçuda 2017

O segundo caso de estudo aqui apresentado foi realizado no âmbito da campanha de escavação do sambaqui de Cabeçuda de 2017. O objetivo deste estudo de caso foi o de gerar um registro das áreas escavadas e dos perfis evidenciados para criação de modelos 3D e ortofotomapas, para que estes pudessem servir de base para os registros gráficos dos trabalhos arqueológicos e para futura análise das relações estratigráficas evidenciadas nos perfis. A escolha da fotogrametria como metodologia de registro arqueológico desta campanha deveu-se ao curto espaço de tempo disponível em campo, sendo possível através do uso da fotogrametria uma maximização do tempo despendido, em campo, no registro gráfico dos perfis e áreas de escavação. Agilizando todo o processo de registro e permitindo também resgatar a tridimensionalidade das áreas escavadas. Ainda em campo e de forma a gerar ortofotos dos perfis para uso no dia seguinte as imagens foram processadas em um Notebook Sony Vaio<sup>21</sup> que apresentou resultados bastante satisfatórios, permitindo gerar modelos e ortofotos de boa qualidade.

O sítio encontra-se dividido por áreas denominadas Locus que vão do 1 ao 7 (ver Figura 37). Os registros fotogramétricos aqui apresentados são referentes às atividades da campanha de 2017 e ocorreram no período de 21 de junho a 6 de julho de 2017. Os trabalhos foram focados no Locus 1 com a reabertura da área de escavação e no Locus 5, com a abertura de uma nova sondagem (Sondagem 3). Paralelamente foram alvo de limpeza e retificação os perfis 1 (Locus 1) e 2 (Locus 2), bem como a área da oficina lítica (Locus 6) com o intuito de se proceder ao seu registro 3D através de levantamento fotogramétrico.

---

<sup>21</sup> Sony Vaio, Intel Core I5 a 1.8 GHz, placa de vídeo Intel HD Graphics 4000 e 8GB de memória RAM.



Figura 37 - Imagem de satélite do sambaqui de Cabeçuda com a identificação dos diferentes Locus. Evidenciados a amarelo estão as áreas que foram alvo de registro, a área de escavação 1 (AE1) e perfil 1 (P1) do Locus 1; o perfil 2 (P2) do Locus 2 e a oficina lítica (OL) do Locus 6

(Fonte: imagem adaptada de SCHELL-YBERT 2012).

### Localização

Segundo SCHELL-YBERT (2012), o sítio está localizado entre as lagunas de Santo Antônio dos Anjos e Imaruí, na localidade de Cabeçuda, município de Laguna, litoral sul do estado de Santa Catarina (Figura 38), coordenadas UTM 22J 712601-6852170 SAD69. A pesquisadora indica ainda que o sítio

*encontra-se assentado parcialmente sobre uma paleoduna de sedimento areno-argiloso marrom avermelhado, e sobre o embasamento rochoso granítico". As datações segundo a pesquisadora apontam para "uma ocupação do sítio entre cerca de 5000 e 1600 anos antes do presente, conferindo ao local uma estimativa de ocupação contínua de longo prazo de no mínimo 2000 anos.*

O sambaqui de Cabeçuda foi objeto de várias pesquisas arqueológicas, iniciadas na década de 1950 através de Luiz de Castro Faria, até às campanhas mais recentes realizadas em 2010, 2012 e 2017 pela equipe do Museu Nacional. Desde o início das pesquisas parte considerável do sítio já havia sido destruída pela exploração de material conchífero para a indústria do cal. Tendo este também sido aproveitado para a construção da via ferroviária (1882) e rodoviária (1934) que cortaram o sítio e

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

utilizaram seu material como aterro. Segundo Schell-Ybert (2011) o sítio foi bastante impactado, indicando que "*estimativas sobre a preservação atual deste sambaqui sugerem menos de 10% ou, mais provavelmente, menos de um quarto da área original preservada*".

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

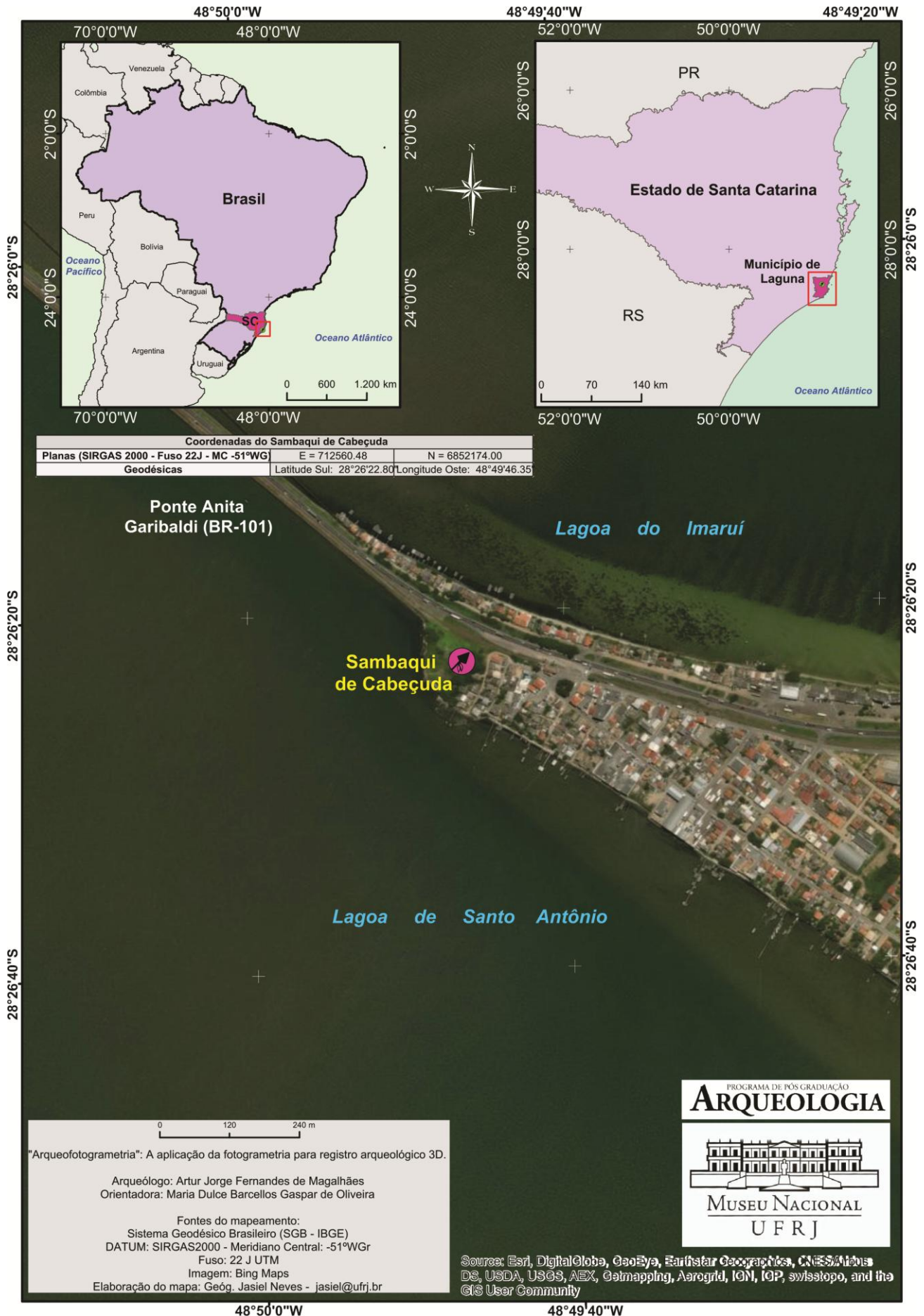


Figura 38 - Mapa de localização do Sambaqui de Cabeçada, Laguna, Santa Catarina. Mapa: Jasiel Neves.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

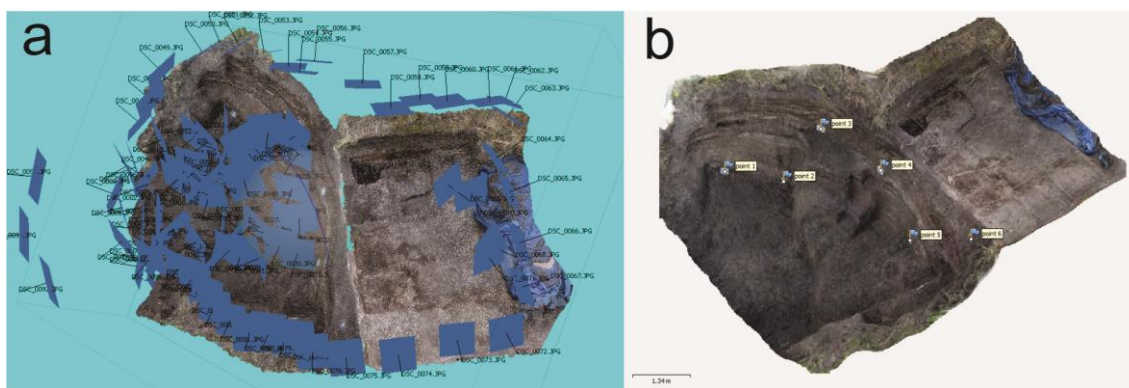
#### 4.2.1 Levantamentos fotogramétricos

De forma a se compreenderem as problemáticas referentes à luz natural do sítio, foram realizados dois levantamentos de teste, ficando assim definidas duas janelas diárias: uma pela manhã, desde o nascer do sol até às 8h, e outra no período vespertino, das 16h30m até às 17h45m.

Foram realizados 10 levantamentos fotogramétricos, sendo 2 para teste das condições de terreno e luminosidade e 8 para a criação de registros arqueológicos 3D dos perfis 1 (Locus 1) e 2 (Locus 2), da área de escavação do Locus 1, da sondagem 3 (Locus 5) e da oficina lítica (Locus 6) (*vide* figura 37).

#### 4.2.2 Locus 1 – Perfil 1 - 27 de junho 2017

Após os testes foram realizados três levantamentos para registro do perfil 1. O primeiro, realizado no dia 27 de junho de 2017, consistiu numa tomada de 98 fotos de todo o locus 1 (Área de escavação + perfil 1). Devido a topografia do Locus 1 apresentar várias plataformas e desníveis, utilizou-se uma mistura da técnica de levantamento fotogramétrico de objetos isolados para a área de escavação e de superfície única para o perfil 1 (figura 39a), tendo sido utilizados 6 alvos fotogramétricos (figura 39b) os quais serviram como escala, para refinamento do alinhamento e cálculo de erro através da criação de 3 escalas. Este registro serviu para obtermos um modelo 3D da área antes das intervenções arqueológicas.



**Figura 39 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa *Photoscan* que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.**

Como se pode verificar através da Tabela 4, após o processamento dos dados todas as 98 fotografias foram alinhadas com sucesso resultando numa nuvem esparsa com 95.760 pontos convergentes. Posteriormente, todos os 8 pontos de controle foram

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

identificados e marcados no modelo e realizou-se uma otimização do alinhamento. Em seguida criou-se uma nuvem densa de pontos, em resolução média, da qual resultaram 3.068.952 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obteve-se uma malha poligonal 3D com 613.790 faces, representativa da geometria da superfície da área de escavação mais o perfil 1 do Locus 1, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

**Tabela 4 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D da área de escavação mais perfil 1, Locus 1. Realizado com o Sony Vaio em campo.**

<b>Etapa</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Tempo</b>	<b>Pontos/Faces</b>
Número de fotos	98/98(total/alinhadas)	24 m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	1h40m40s	95,760 pontos
Nuvem densa	Média	12m54s	3,068,952 pontos
Mesh	Média	6m33s	613,790 faces
Textura	10,000 x 10,000	4m23s	-----
Ortomosaico	0.00136605 m/pix	4m07s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>2h32m37s</b>	-----

Com base nos 6 pontos de controle colocados em volta do Locus 1 foram criadas 3 réguas, as quais serviram para colocar o modelo em escala e que apresentaram um erro de distorção de 2,8 mm, que vem comprovar a alta precisão do registro fotogramétrico, que em muito ultrapassa a do desenho, chegando ao nível de um levantamento por escâner a laser, porém a um custo bem mais reduzido (Tabela 5).

**Tabela 5 - Apresenta as distancias e margem de erro das réguas de 40cm criadas através dos alvos colocados em torno do bloco de sepultamento.**

<b>Escala</b>	<b>distância (m)</b>	<b>erro (m)</b>
point 1_point 2	1.39111	0.00111331
point 3_point 4	1.81374	0.00373932
point 5_point 6	2.81704	-0.00296172
<b>TOTAL</b>		<b>0.00282806</b>

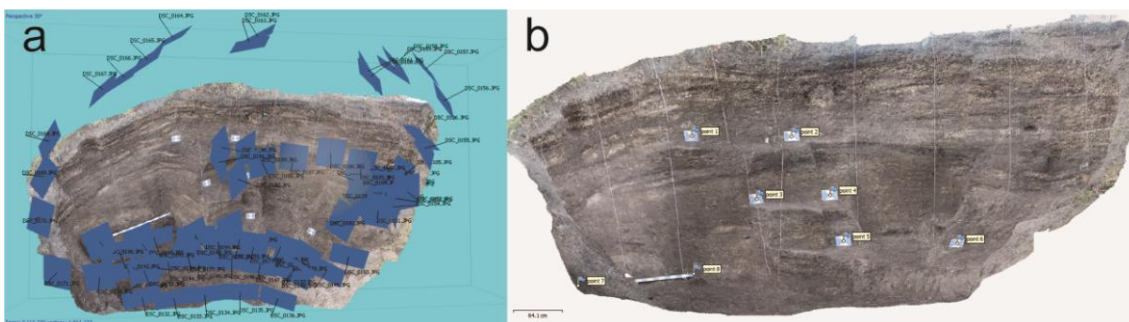
Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 2h32m37s para gerar um registro de 98 fotografias; um modelo digital de superfície 3D do Locus 1, com precisão de 2,8 mm/px, que pode ser visualizado através do link: (<https://skfb.ly/6tnVH>). Foi também gerada uma ortofoto do Locus 1 com resolução de 1,3 mm/pix, que serviu de base para a análise estratigráfica e o desenho digital do perfil 1. Como no caso anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D.



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.2.3 Locus 1 - Perfil 1 - 29/06/2017

Após a evidenciação do SEP P15 (29/06/2017) foi realizado um novo levantamento, que também consistiu numa tomada de 98 fotos com 6 alvos fotogramétricos e uma escala de 2 metros (figura 40b) os quais serviram para refinamento do alinhamento e cálculo de erro através da criação de 4 escalas. Utilizou-se uma mistura da técnica de levantamento fotogramétrico de objetos isolados para o SEP 15 e de superfície única para o perfil 1 (figura 40a), Este registro serviu para obtermos um modelo 3D do perfil 1 com o sepultamento evidenciado *in situ*.



**Figura 40 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa *Photoscan* que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.**

Posteriormente as fotografias foram processadas no computador MSI em alta resolução de forma a obter-se um bom modelo de superfície e que pudesse servir de comparativo com o processado previamente com o Sony Vaio, visto tratar-se de o mesmo numero de fotografias. Como podemos verificar através da Tabela 6, após o processamento dos dados todas as 98 fotografias foram alinhadas com sucesso resultando numa nuvem esparsa com 108.111 pontos convergentes. De seguida, todos os 6 pontos de controle foram identificados e marcados no modelo e realizou-se uma otimização do alinhamento. Em seguida criamos uma nuvem densa de pontos, em resolução alta, da qual resultaram 19.972.441 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obtivemos uma malha poligonal 3D com 3.116.230 faces representativa da geometria da superfície do perfil 1 com o sepultamento 15 evidenciado, tendo sido aplicada sobre a malha uma textura foto realista.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 6- Síntese do processo de elaboração do modelo 3D do perfil 1, Locus 1, após evidenciação do SEP. 15. Realizado com o computador MSI.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	98/98(total/alinhas)	20 m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	49m06s	108,111 pontos
Nuvem densa	Alta	12m54s	19,972,441 pontos
Mesh	Alta	15m59s	3,116,230 faces
Textura	10,000 x 10,000	2m17s	-----
Ortomosaico	0.000833864 m/pix	3m51s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>1h44m07s</b>	-----

Com base nos 8 pontos de controle colocados em volta do perfil 1 foram criadas 4 réguas, as quais serviram para colocar o modelo á escala e que apresentaram um erro de distorção de 4 mm, que vem confirmar mais uma vez a alta precisão do registro fotogramétrico (Tabela 7).

**Tabela 7 - Apresenta as distancias e margem de erro das réguas de 40cm criadas através dos alvos colocados em torno do bloco de sepultamento.**

Escala	distância (m)	erro (m)
point 1_point 2	1.36494	-0.00506349
point 3_point 4	1.08188	0.00187681
point 5_point 6	1.48329	0.00329209
point 7_point 8	2.00402	0.00402474
<b>TOTAL</b>		<b>0.00414292</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 1h44m07s para gerar um registro de 98 fotografias; um modelo digital de superfície 3D do perfil 1 (figura 41), com precisão de 4 mm/px, que pode ser visualizado através do link: (<https://skfb.ly/6t6TT>). Foi também gerada uma ortofoto do Locus 1 com resolução de 0,8 mm/pix, que serviu de base para a análise estratigráfica do perfil e do sepultamento 15 ainda *in situ*. Como no caso anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

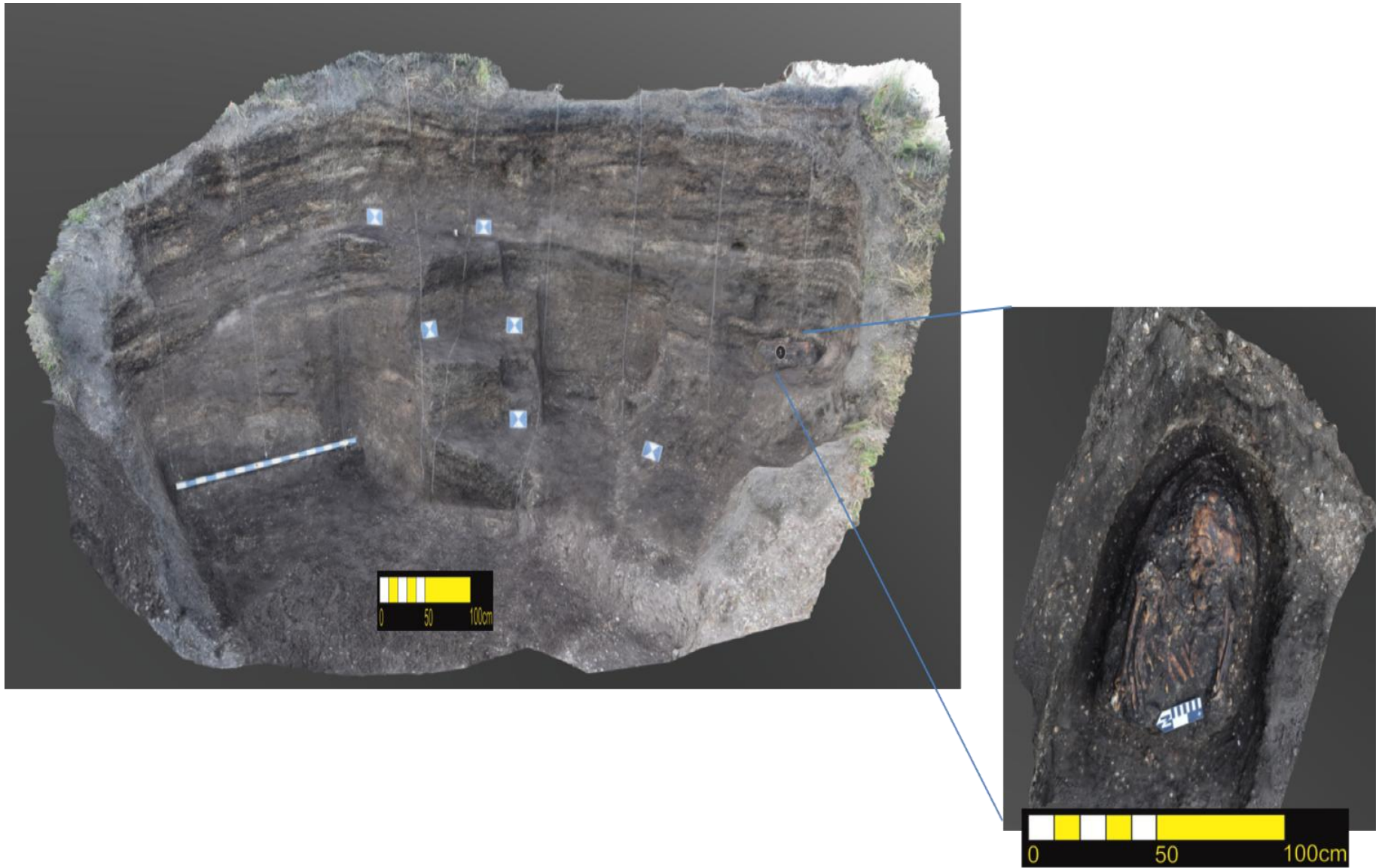


Figura 41 - A esquerda uma vista da ortofoto do perfil 1 após evidenciação do SEP. 15, onde são visíveis a escala de 2 metros e os 6 alvos fotogramétricos . A direita destaque para o sepultamento 15.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.2.4 Locus 1 – Sepultamento P15

Paralelamente, também no dia 29 de junho de 2017, foi realizado um levantamento fotogramétrico de detalhe do sepultamento 15, totalizando um conjunto de 39 fotos, tendo sido utilizada 1 escala (10 cm) que serviu para refinamento do alinhamento e cálculo de erro. Para o registro do SEP. 15 utilizou-se a técnica de levantamento fotogramétrico de objetos isolados (figura 42), Este registro serviu para obtermos um modelo 3D de pormenor do sepultamento evidenciado *in situ*.

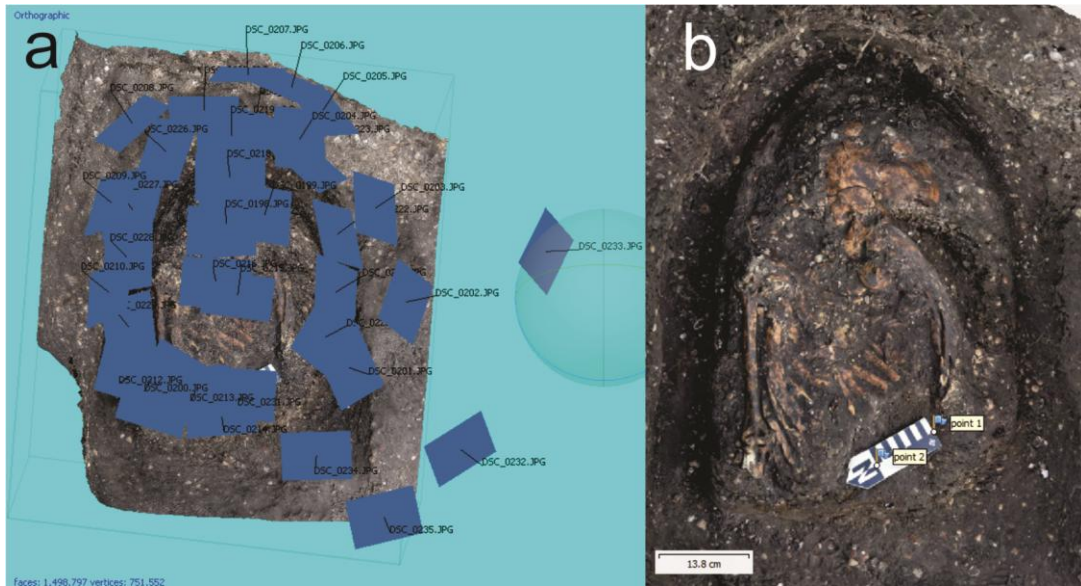


Figura 42 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa *Photoscan* que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.

Como podemos verificar através da Tabela 8, após o processamento dos dados todas as 39 fotografias foram alinhadas com sucesso resultando numa nuvem esparsa com 56.165 pontos convergentes. Posteriormente, todos os 2 pontos de controle foram identificados e marcados no modelo e realizamos uma otimização do alinhamento. Em seguida criamos uma nuvem densa de pontos, em resolução alta, da qual resultaram 7.494.158 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obtivemos uma malha poligonal 3D, em alta resolução, com 1.498.797 faces representativa da geometria da superfície do sepultamento 15 *in situ*, perfil 1, Locus 1, tendo sido aplicada sobre este uma textura foto realista.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 8 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D do sepultamento 15 evidenciado no perfil 1, Locus 1. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

<b>Etapa</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Tempo</b>	<b>Pontos/Faces</b>
Número de fotos	39/39(total/alinhas)	7 m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Altíssima	4m40s	56,165 pontos
Nuvem densa	Alta	15m37s	7,494,158 pontos
Mesh	Alta	5m21s	1,498,797 faces
Textura	4,096 x 4,096	45s	-----
Ortomosaico	0.000223611 m/pix	1m25s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>34m12s</b>	-----

Com base na escala de 10 cm foram criados 2 pontos de controle colocados em cada uma das extremidades da escala, que serviram para colocar o modelo em escala e que apresentaram um erro de distorção de 0 mm, comprovando novamente a alta precisão do registro fotogramétrico (Tabela 9).

**Tabela 9 - Apresenta as distâncias e margem de erro das régua de 40cm criadas através dos alvos colocados em torno do bloco de sepultamento.**

<b>Escala</b>	<b>distância (m)</b>	<b>erro (m)</b>
point 1_point 2	0.1	0
<b>TOTAL</b>		<b>0</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 34m12s para gerar um registro de 39 fotografias; um modelo digital de superfície 3D do sepultamento 15, que pode ser visualizado através do link: (<https://skfb.ly/6t6TT>). Foi também gerada uma ortofoto (figura 43) com resolução de 1,3 mm/pix, que serviu de base para a análise estratigráfica do sepultamento 15 ainda *in situ*. Como nos casos anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D.

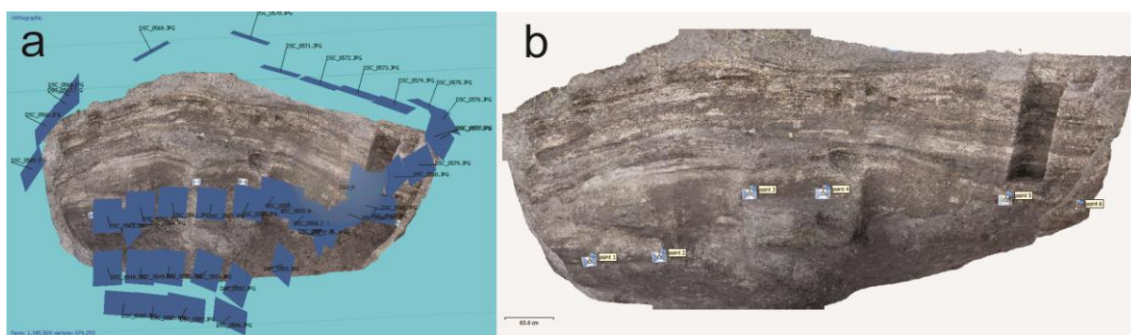


Figura 43 - Ortofoto retificada do sepultamento 15 com os dois pontos que serviram como escala.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.2.5 Locus 1 - Perfil 1 - 05 de julho de 2017

Por fim, realizou-se um terceiro modelo do perfil 1, no dia 05 de julho de 2017, para registrar a alteração do perfil após a escavação de uma coluna antracológica, somando um total de 42 fotos e 6 alvos. Utilizou-se uma mistura da técnica de levantamento fotogramétrico de objetos isolados para a coluna antracológica e de superfície única para o perfil 1 (figura 44).



**Figura 44 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa *Photoscan* que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.**

Como podemos verificar através da Tabela 10, após o processamento dos dados todas as 42 fotografias foram alinhadas, em resolução alta, com sucesso resultando numa nuvem esparsa com 26.233 pontos convergentes. Posteriormente, todos os 6 pontos de controle foram identificados e marcados no modelo e corremos uma otimização do alinhamento. Em seguida criamos uma nuvem densa de pontos, em resolução alta, da qual resultaram 6.894.653 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obtivemos uma malha poligonal 3D com 1.345.569 faces representativa da geometria da superfície do perfil 1, Locus 1, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

**Tabela 10 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D do perfil 1, Locus 1, após a abertura da coluna antracológica. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

<b>Etapa</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Tempo</b>	<b>Pontos/Faces</b>
Número de fotos	42/42(total/alinhadas)	4 m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	4m29s	26,233 pontos
Nuvem densa	Alta	11m48s	6,894,653 pontos
Mesh	Alta	5m13s	1,345,569 faces
Textura	20,000 x 20,000	4m10s	-----
Ortomosaico	0.00137312 m/pix	2m00s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>31m40s</b>	-----

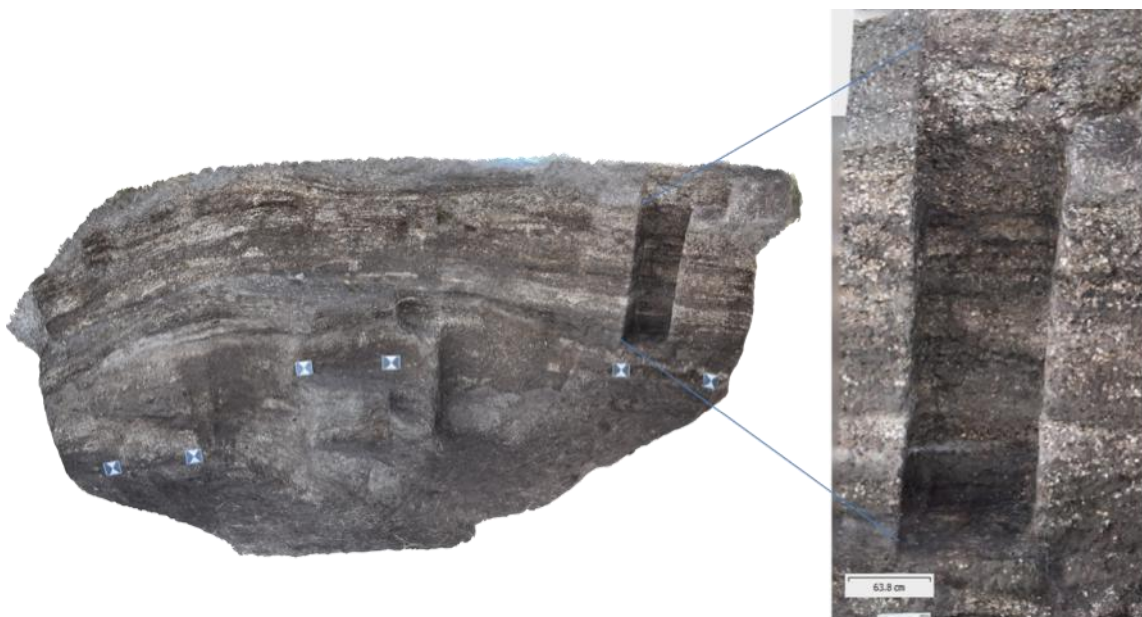
“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Com base nos 6 pontos de controle colocados ao longo do Perfil 1 foram criadas 3 réguas (figura 14b), que serviram para colocar o modelo em escala, apresentando um erro de distorção de 2,7 mm (Tabela 11).

**Tabela 11 - Apresenta as distâncias e margens de erro das réguas criadas através dos alvos colocados ao longo do Perfil 1.**

Escala	distância (m)	erro (m)
point 1_point 2	1.00224	0.00223752
point 3_point 4	1.00156	0.00155973
point 5_point 6	0.996171	-0.00382872
<b>TOTAL</b>		0.00271406

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 31m40s para gerar um registro de 42 fotografias, uma ortofoto do Perfil 1 com resolução de 1,3 mm/pix, que serviu de base para a análise estratigráfica do perfil e da coluna antracológica (figura 45). Como nos casos anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. A partir deste conjunto de fotos foi elaborado um modelo 3D o qual pode ser visualizado no link: (<https://skfb.ly/6toRA>).



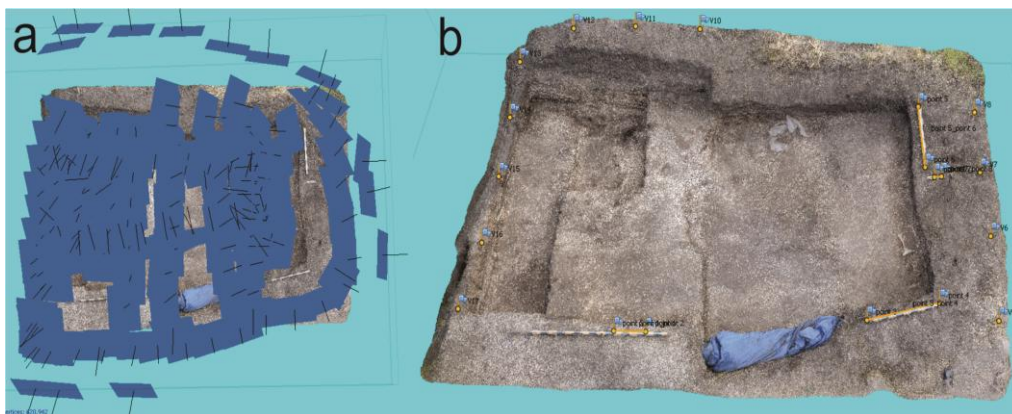
**Figura 45 - À esquerda a ortofoto retificada do perfil 1 após escavação da coluna antracológica, onde são visíveis os 6 alvos fotogramétricos. À direita destaque para a estratigrafia da coluna antracológica.**



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.2.6 Locus 1 – Área de escavação

Foi realizado um levantamento fotogramétrico, no dia 04 de julho de 2017, totalizando um conjunto de 175 fotos, tendo sido utilizados 3 réguas (2x1m, 1x2m) as quais serviram como escala, para refinamento do alinhamento e cálculo de erro. Utilizou-se uma mistura da técnica de objetos isolados e de superfície única para o levantamento fotogramétrico da área de escavação do Locus 1 (figura 46a). Neste caso o modelo foi georreferenciado através de um conjunto de pontos (figura 46b) coletados por uma equipe da UNISUL através de GPS RTK da marca Trimble, com antena de modelo TRMR8S. Os dados foram disponibilizados em tabelas, e arquivos kml e shape, com Datum SIRGAS 2000 e posteriormente convertidos para datum WGS 84 / UTM zone 22S (EPSG::32722) para conversão em arquivo KMZ para visualização das ortofotos no Google Earth.



**Figura 46 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Vista em perspectiva do modelo da área de escavação, Locus 1, Sambaqui Cabeçada, SC. Nesta imagem vemos os pontos usados para georreferenciação e as escalas usadas para calcular a margem de erro.**

Como podemos verificar através da Tabela 12, após o processamento dos dados todas as 175 fotografias foram alinhadas com sucesso resultando numa nuvem esparsa com 95.760 pontos convergentes. Posteriormente, todos os 18 pontos de controle foram identificados e marcados no modelo e corremos uma otimização do alinhamento. Em seguida criou-se uma nuvem densa de pontos, em resolução média, da qual resultaram 3.068.952 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obtivemos uma malha poligonal 3D com 613.790 faces representativa da geometria da superfície da área de escavação mais o perfil 1 do Locus 1, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 12 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D da área de escavação 1, Locus 1. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	175/175 (total/alinhadas)	10 m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Média	1h04m24s	141,905 pontos
Nuvem densa	Média	18m02s	6,197,276 pontos
Mesh	Média	3m59s	1,239,455 faces
Textura	20,000 x 20,000	8m16s	-----
DEM		59s	
Ortomosaico	0.00124325 m/pix	16m06s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>2h01m46s</b>	-----

Com base no levantamento do GPS RTK, pela equipe da UNISUL, foi possível georreferenciar o modelo através de 10 pontos que correspondem a estacas colocadas em volta da área de escavação (figura 46b). As estacas foram identificadas em cada foto e as respectivas coordenadas dos pontos foram inseridas georreferenciando-se o modelo com uma precisão da ordem dos 6 cm no que diz respeito a sua localização (Tabela 13).

**Tabela 13 - Margem de erro apresentada pelos pontos de controle de solo (GCP) do modelo da Oficina Lítica, Locus 6.**

Nome GCP	erro XY (m)	erro Z (m)	erro (m)	Projeções	erro (pix)
V07	0.0383969	0.0118342	0.0401792	14	0
V08	0.022001	0.0221464	0.0312171	16	0
V10	0.0150806	-0.0314722	0.0348988	19	0
V11	0.0459218	-0.0582459	0.0741714	19	0
V12	0.0508634	-0.0422916	0.0661488	11	0
V13	0.0826656	0.0691294	0.107761	14	0
V14	0.0549652	0.0726498	0.0910997	22	0
V15	0.0365106	-0.0537922	0.0650125	26	0
V16	0.0153086	-0.00314525	0.0156284	31	0
V17	0.0305168	0.0131869	0.0332441	21	0
<b>TOTAL</b>	<b>0.0438579</b>	<b>0.0446502</b>	<b>0.0625872</b>		<b>0</b>

Paralelamente, de forma a se calcular a precisão do modelo, foram criados 6 pontos de controle a partir das extremidades de 3 escalas colocadas em volta da área de escavação 1 (figura 46b) foram criadas 3 réguas dentro do programa *Agisoft Photoscan* que serviram para por o modelo em escala e que apresentaram um erro de distorção de 2,8 mm, que vem comprovar, mais uma vez, a alta precisão do registro fotogramétrico (Tabela 14).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Tabela 14 - Apresenta as distancias e margem de erro das réguas de 40cm criadas através dos alvos colocados em torno do bloco de sepultamento.

Escala	distância (m)	erro (m)
point 1_point 2	0.404284	0.00428399
point 3_point 4	0.996419	-0.00358101
point 5_point 6	1.00108	0.00108373
point 7_point 8	0.10043	0.000429786
<b>TOTAL</b>		<b>0.00285199</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 2h01m46s para gerar um registro de 175 fotografias, um modelo digital de elevação do sítio arqueológico correspondente a uma área de 35 m<sup>2</sup>, com precisão de menos de 2,9 mm/px; ortofotos retificadas da área de escavação 1 e dos seus perfis (figura 47), com resolução de 1,2 mm/px, que serviram de base para a análise estratigráfica da área de escavação 1 e como registro gráfico. A ortofoto da planta baixa da área de escavação 1 foi ainda exportada em formato Geo Tiff e Kmz, formato de apresentação Google Earth. Como nos casos anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. A partir deste conjunto de fotos foi elaborado um modelo 3D o qual pode ser visualizado no link: (<https://skfb.ly/6toRt>).

## Área de escavação 1 (AE1) - Sambaqui Cabeçuda - SC



Planta baixa ortoretificada

Norte



Leste



Sul



Oeste

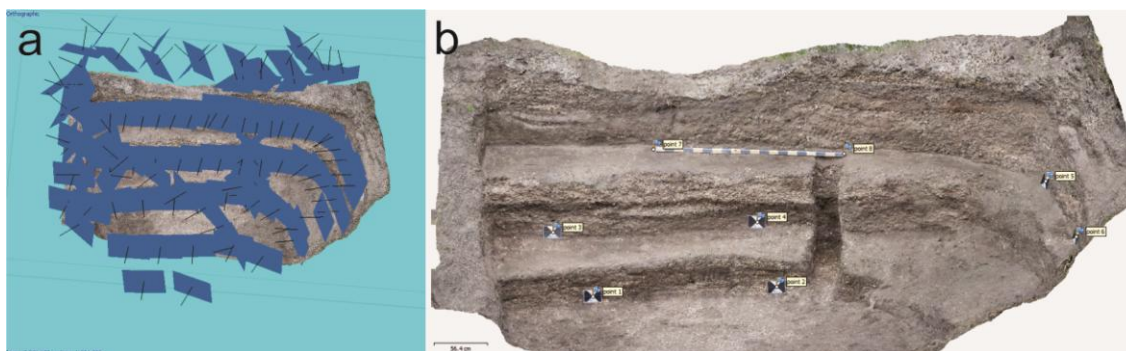


Figura 47 - Ortofotos retificadas da planta baixa e dos perfis da área de escavação 1 (AE1), Locus 1.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.2.7 Locus 2 – Perfil 2

Realizamos um levantamento fotogramétrico, no dia 30 de junho de 2017, totalizando um conjunto de 102 fotos, tendo sido utilizados 6 alvos fotogramétricos os quais serviram como escala, para refinamento do alinhamento e cálculo de erro. Neste caso aplicamos a técnica de levantamento fotogramétrico de objetos de superfície única para o perfil 2 (figura 48).



**Figura 48 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa *Photoscan* que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras.**

Como se pode verificar através da Tabela 15, após o processamento dos dados todas as 102 fotografias foram alinhadas, em resolução alta, com sucesso resultando numa nuvem esparsa com 130.559 pontos convergentes. Posteriormente, todos os 8 pontos de controle foram identificados e marcados no modelo e corremos uma otimização do alinhamento. Em seguida criamos uma nuvem densa de pontos, em resolução alta, da qual resultaram 17.372.662 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obtivemos uma malha poligonal 3D com 3.264.103 faces representativa da geometria do perfil 2 do Locus 2, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

**Tabela 15 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D do perfil 2, Locus 2. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

<b>Etapa</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Tempo</b>	<b>Pontos/Faces</b>
Número de fotos	102/102(total/alinhadas)	07 m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	25m18s	130,559 pontos
Nuvem densa	Alta	44m28s	17,372,662 pontos
Mesh	Alta	13m20s	3,264,103 faces
Textura	20,000 x 20,000	5m30s	-----
Ortomosaico	0.000812717 m/pix	52s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>1h36m28s</b>	-----

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Com base nos 6 pontos de controle colocados em volta do Locus 2 foram criadas 3 réguas, as quais serviram para colocar o modelo em escala e que apresentaram um erro de distorção de 3,2 mm (Tabela 16).

**Tabela 16 - Apresenta as distancias e margem de erro das réguas de 40cm criadas através dos alvos colocados em torno do bloco de sepultamento.**

<b>Escala</b>	<b>distância (m)</b>	<b>erro (m)</b>
point 1_point 2	1.9268	-0.00319843
point 3_point 4	2.14412	0.00411928
point 5_point 6	1.27791	-0.0020931
<b>TOTAL</b>		<b>0.00324446</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 1h36m28s para gerar um registro de 102 fotografias, ortofoto retificada do Perfil 2, Locus 2 (figura 49), com resolução de 0,8 mm/pix, que serviram de base para a análise estratigráfica e registro gráfico do perfil 2, Locus 2. Como nos casos anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D.A partir deste conjunto de fotos foi elaborado um modelo 3D o qual pode ser visualizado no link: (<https://skfb.ly/6toW6>).

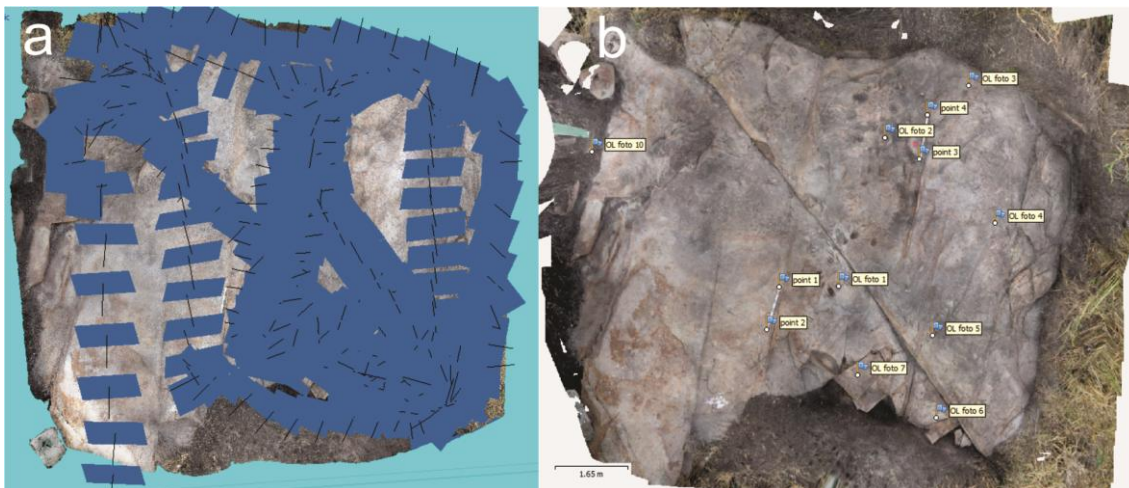


**Figura 49 - Ortofoto retificada do Perfil 2, Locus 2**

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.2.8 Locus 6 – Oficina Lítica

Realizamos um levantamento fotogramétrico, no dia 04 de julho de 2017, totalizando um conjunto de 228 fotos, tendo sido utilizadas 2 réguas de 1 metro as quais serviram como escala, para refinamento do alinhamento e cálculo de erro do modelo. Neste caso aplicamos a técnica de levantamento fotogramétrico de objetos de superfície única para a toda a área da oficina lítica (OL), aumentando a sobreposição das imagens na área das gravuras, totalizando 123 m<sup>2</sup> de laje evidenciada (figura 50).



**Figura 50 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Ortofoto da Oficina Lítica, Locus 6, Sambaqui Cabeçada, SC. Nesta imagem vemos os pontos usados para georreferenciação e as escalas usadas para calcular a margem de erro.**

Como se pode verificar através da Tabela 17, após o processamento dos dados todas as 228 fotografias foram alinhadas com sucesso, em alta resolução, resultando numa nuvem esparsa com 148.265 pontos convergentes. Posteriormente, todos os 14 pontos de controle foram identificados e marcados no modelo e realizamos uma otimização do alinhamento. Em seguida criamos uma nuvem densa de pontos, em alta resolução, da qual resultaram 51.477.439 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obtivemos uma malha poligonal 3D com 10.295.486 faces representativa da geometria da superfície da Oficina Lítica do Locus 6, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista (figura 51).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 17 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D da área de escavação mais perfil 1, Locus 1. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	228/228(total/alinhasadas)	17 m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	2h04m	148,265 pontos
Nuvem densa	Alta	1h52m07s	51,477,439 pontos
Mesh	Alta	38m46s	10,295,486 faces
Textura	20,000 x 20,000	15m49s	-----
DEM	1.52 mm/pix	2m05s	431910 pontos por m <sup>2</sup>
Ortomosaico	0.000760925 m/pix	4m49s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>3h14m40s</b>	-----

Com base no levantamento do GPS RTK, pela equipe da UNISUL, foi possível georeferenciar o modelo através de 10 pontos que correspondem a bases de polidores, marcas de amoladores ou marcas do maciço rochoso que serve de suporte aos vestígios arqueológicos. Os pontos foram identificados em cada foto e suas respectivas coordenadas inseridas georreferenciando-se o modelo com uma precisão da ordem dos 1,1 cm no que diz respeito a sua localização (Tabela 18).

**Tabela 18 - Resultado da margem de erro apresentada por cada um dos pontos de controle de solo (GCP).**

Nome GCP	erro XY (m)	erro Z (m)	erro (m)	Projeções	erro (pix)
OL foto 1	0.0155763	0.000441483	0.0155826	15	1.732
OL foto 2	0.00563025	0.010091	0.0115555	27	2.622
OL foto 3	0.0119071	-0.00360355	0.0124404	25	4.313
OL foto 4	0.0134671	-0.00286095	0.0137676	20	6.866
OL foto 5	0.00887989	0.00243141	0.00920675	35	1.657
OL foto 6	0.00977157	0.00125462	0.00985178	35	2.979
OL foto 7	0.00521661	-0.00442503	0.00684061	29	0.858
OL foto 10	0.00596145	-0.00244697	0.00644411	14	3.311
<b>TOTAL</b>	<b>0.0102137</b>	<b>0.0044194</b>	<b>0.0111288</b>		<b>3.332</b>

Paralelamente, de forma a se calcular a precisão do modelo, foram criados 4 pontos de controle a partir das extremidades de 2 escalas (2x1 metro) colocadas em volta da área da oficina lítica, gerando 2 réguas dentro do programa *Agisoft Photoscan* que serviram para colocar o modelo em escala e que apresentaram um erro de distorção de 1,5 mm comprovando, mais uma vez, a alta precisão do registro fotogramétrico (Tabela 19).



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 19 - Resultado da margem de erro apresentada pelas escalas do modelo da Oficina Lítica, Locus 6.**

<b>Escala</b>	<b>distância (m)</b>	<b>erro (m)</b>
point 1_point 2	-0.00123074	0.0155826
point 3_point 4	-0.00188606	0.0115555
<b>TOTAL</b>		<b>0.00159248</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 3h14m40s para gerar um registro de 228 fotografias, um modelo digital de elevação (figuras 52a e 52b) da Oficina Lítica correspondente a uma área de 123 m<sup>2</sup>, com precisão de menos de 1,52 mm/px; uma ortofoto retificada da Oficina Lítica (figura 52c), em formato Geo Tiff e Kmz (figura 52e), com resolução de 1,2 mm/pix e que serviram de base para a análise morfológica das gravuras e como registro gráfico. Como nos casos anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. A partir deste conjunto de fotos foi elaborado um modelo 3D o qual pode ser visualizado no link: (<https://skfb.ly/6tnUO>).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

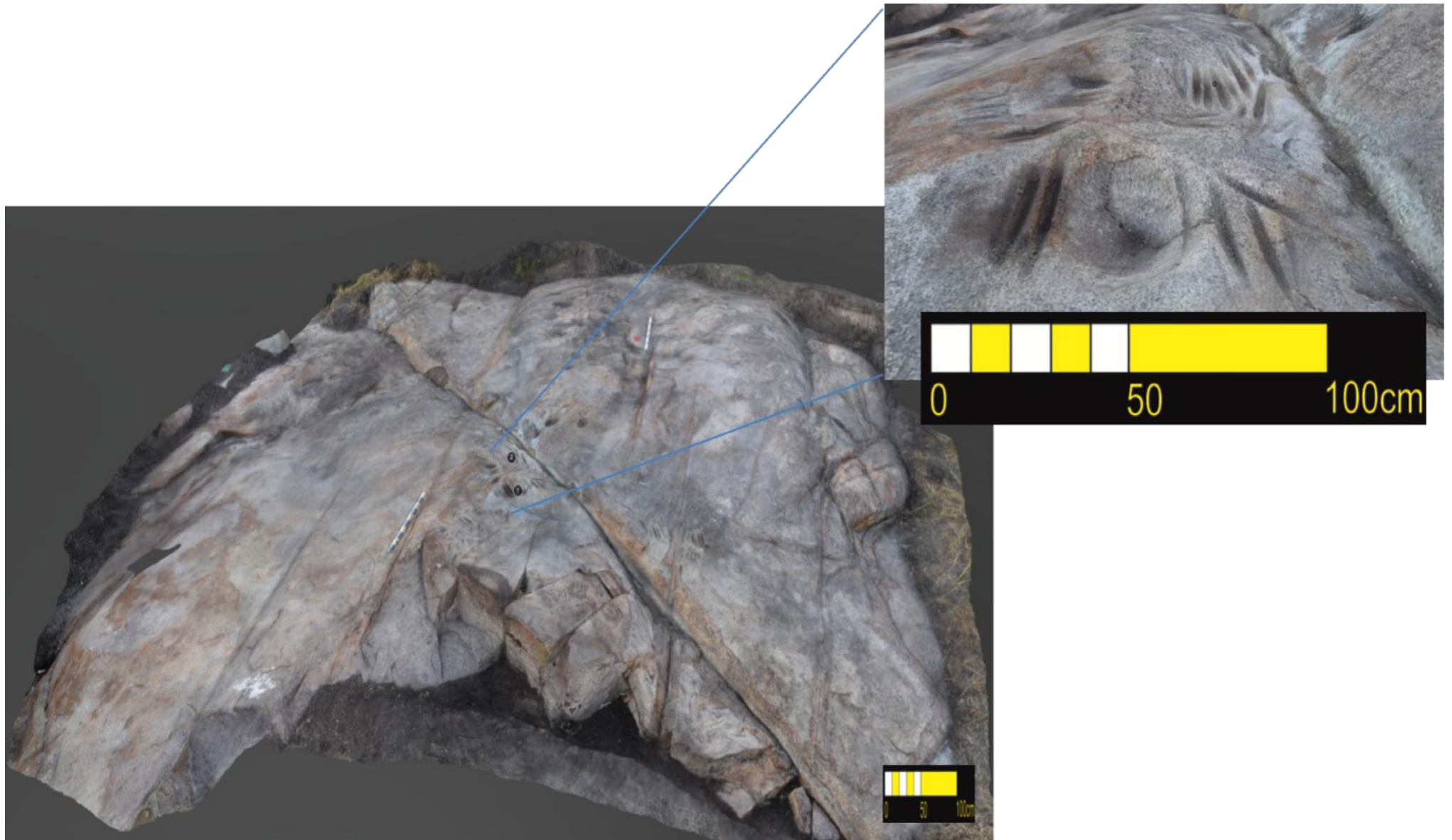


Figura 51 - Vista em perspectiva do modelo 3D da Oficina Lítica, Locus 6, Sambaqui Cabeçada, SC. Com destaque para os amoladores e bacias de polimento.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

## Sambaqui Cabeçada - SC Oficina Lítica - Locus 6

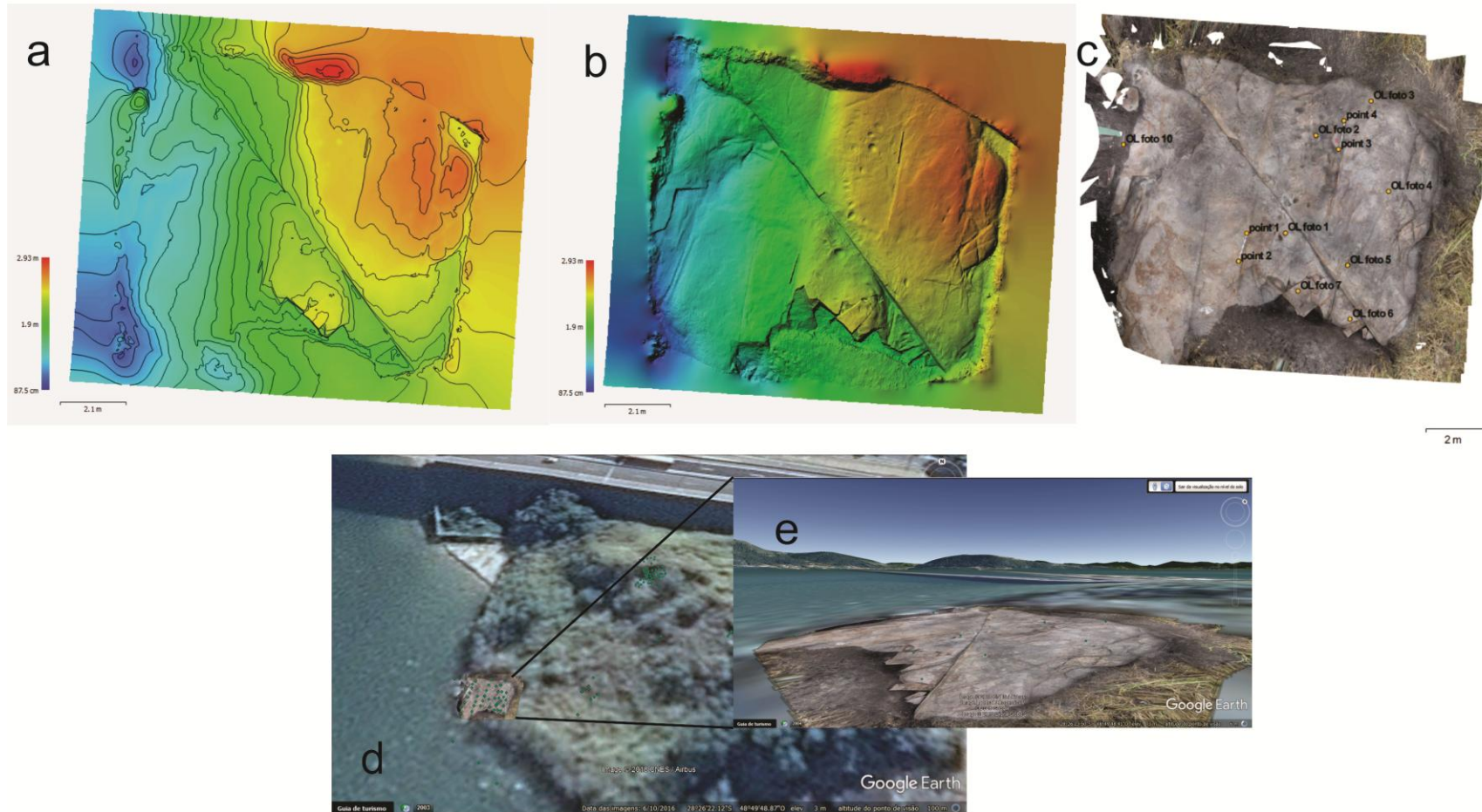


Figura 52 - a) Mapa de elevação digital com cotas de nível. b) Mapa de elevação digital versão hillshade. c) Ortofoto retificada da Oficina lítica com os pontos de georreferência e escalas. d) Vista aérea do modelo carregado no Google Earth (.Kml) e) Vista de solo do modelo no Google Earth, onde podemos obter uma perspectiva da paisagem que rodeia o sítio em um ambiente 3D imersivo.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

### 4.3 Estruturas portuárias Porto Maravilha

O terceiro estudo de caso aqui apresentado aborda o registro de estruturas portuárias identificadas, em 2012, no decurso do Programa Arqueológico do Porto Maravilha. Os remanescentes identificados vaziam parte do Trapiche de Antônio Leite, do Trapiche da Saúde e das Pontes de Manuel da Costa Negreiros, de meados do século XVIII e encontravam-se junto à base do Morro da Saúde, próximo ao sopé da Igreja de Nossa Senhora da Saúde, Rio de Janeiro, com a seguinte coordenada 23K 0685527 / 7467119 (ponto médio *Datum* SAD69 - Figura 53).

O objetivo deste estudo de caso foi o de verificar se fotos aéreas obtidas sem propósitos fotogramétricos, apenas como registro fotográfico da área de escavação, poderiam ser utilizadas para gerar modelos 3D da área e ortofotomapas que pudessem agregar ao registro arqueológico.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

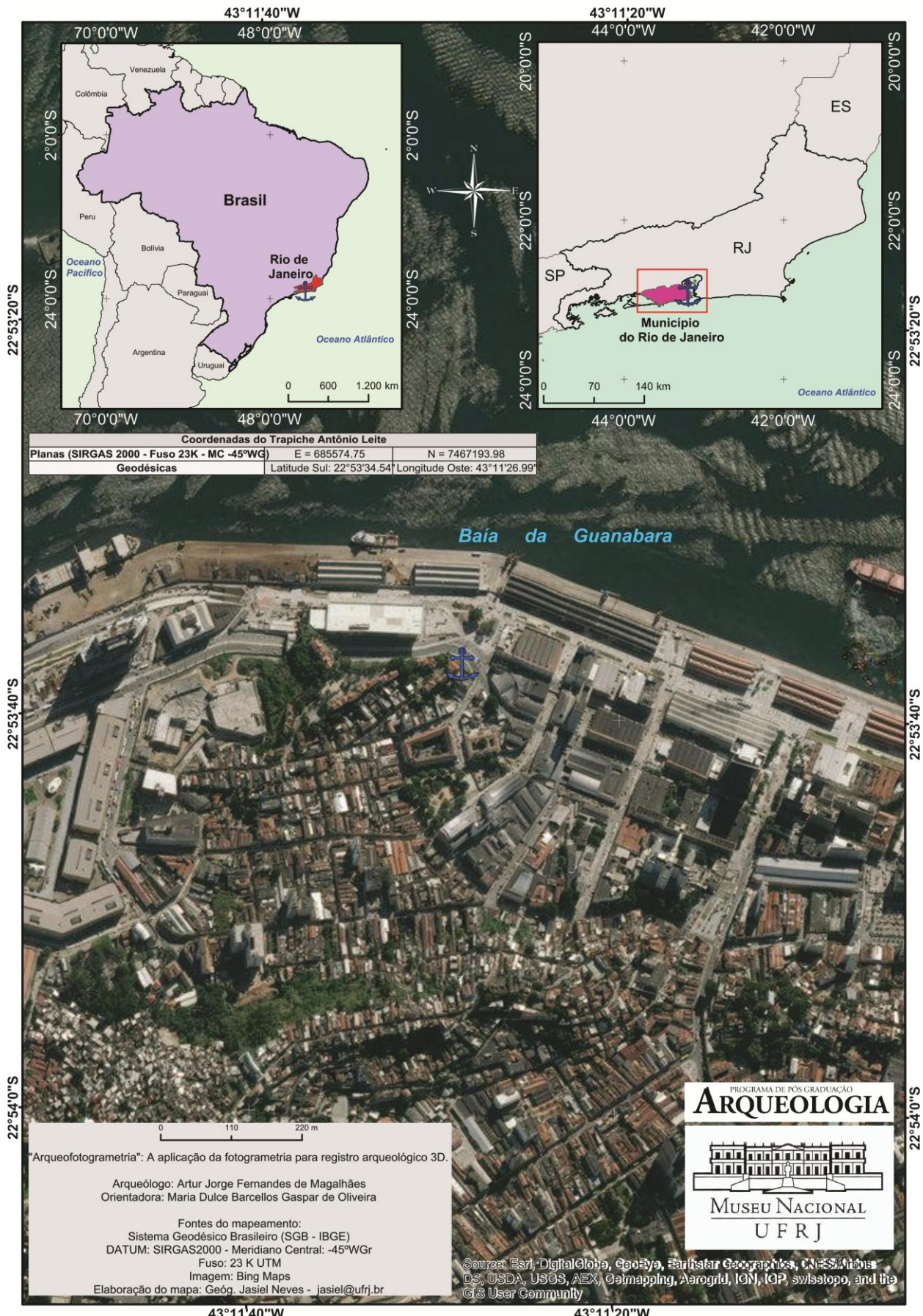


Figura 53 – Mapa de localização do Trapiche Antônio Leite, Morro da Saúde, Rio de Janeiro. Mapa: Jasiel Neves.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

### 4.3.1 Área de escavação Polinter 1

Neste caso a câmera utilizada foi uma Sony Cyber Shot, modelo Dsc W530D<sup>22</sup> que havia sido utilizada pela equipe de arqueologia para efetuar o registro fotográfico da área de escavação. As fotografias aéreas foram realizadas através de cesta mecânica elevatória (figura 54b), de forma oblíqua, e sem ter nenhuma metodologia de levantamento fotogramétrico em mente, tendo totalizado um conjunto de 138 fotos para registro de uma área com 1783.71 m<sup>2</sup> (figura 54a).

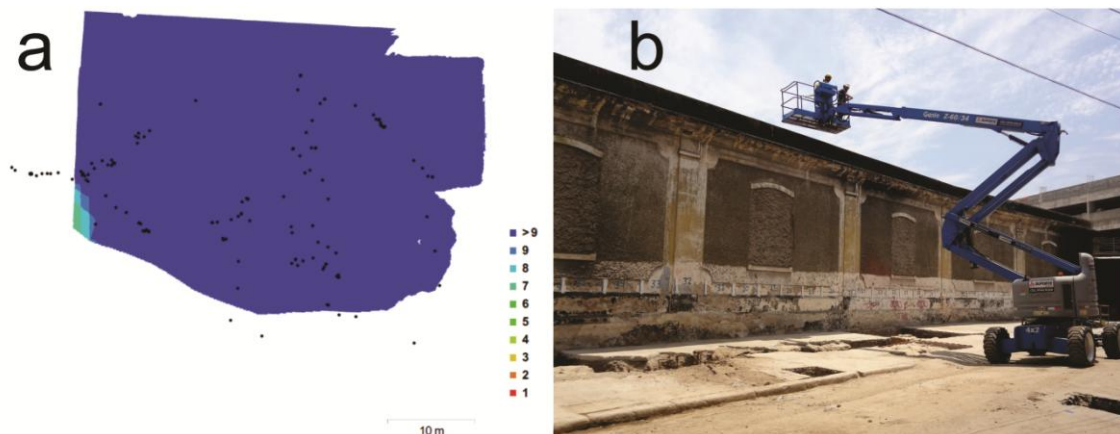


Figura 54 - a) Sobreposição e localização das câmeras, cada ponto preto representa uma fotografia. b) Exemplo da plataforma elevatória usada para a realização das fotos.

Como se pode verificar através da Tabela 20, após o processamento dos dados todas as fotografias foram alinhadas com sucesso. Das 138 fotos alinhadas em qualidade alta resultou uma nuvem esparsa com 600.137 pontos convergentes. Em seguida criou-se uma nuvem densa de pontos, em resolução alta, da qual resultaram 40.875.741 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obteve-se uma malha poligonal 3D com 7.373.216 faces representativa da geometria da área de escavação da Polinter 1, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

<sup>22</sup> Dispositivo de imagem de 14.1 megapixels e lente de zoom 4x Carl Zeiss para mais informações sobre as características da câmera consultar o manual disponível em: [https://docs.sony.com/release/DSCW530\\_ES\\_PT.pdf](https://docs.sony.com/release/DSCW530_ES_PT.pdf).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 20 - Resultados do processamento das imagens através do Agisoft Photoscan, resultantes do registro fotográfico das escavações da Polinter 1.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	138/138 (total/alinhadas)	Desconhecido.	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	56m38s	600,137 pontos
Nuvem densa	Alta	52m41s	40,875,741 pontos
Mesh	Alta	29m12s	7,373,216 faces
Textura	4,096 x 4,096	12m03s	-----
Ortomosaico	0.0034795 m/pix	18m50s	-----
<b>TOTAL</b>		<b>2h49m24s</b>	

Tendo em conta que as fotografias não foram tomadas com propósitos fotogramétricos não foram colocadas escalas na área alvo de registro. De forma a colmatar esta lacuna foram criadas 3 réguas com base em três quadrículas de 1x1 m<sup>2</sup> visíveis no modelo (figura 55), que serviram para colocar o modelo em escala apresentando um erro de distorção de 1,6 centímetros (tabela 21). Tal resultado vem comprovar a alta precisão do registro fotogramétrico e a sua aplicabilidade no registro de grandes áreas, podendo inclusive reaproveitar registros de trabalhos arqueológicos pretéritos para resgatar a tridimensionalidade dos sítios registrados.

**Tabela 21 - Resultados das escalas criadas no modelo 3D da Polinter 1.**

Escala	distância (m)	erro (m)
point 1_point 2	1.00952	0.00951821
point 3_point 4	0.97654	-0.0234597
point 5_point 6	1.01322	0.0132172
<b>TOTAL</b>		<b>0.0164889</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 2h49m24s de pós processamento para gerar um modelo digital de superfície 3D do sítio arqueológico correspondente a uma área de 1783.71 m<sup>2</sup>, com resolução de 5 mm/pix; foi também gerada uma ortofoto da área em formato Tiff com uma resolução de 0,3 mm/pix (figura 55 e 56). O modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D, encontrando-se disponível para visualização na plataforma Sketchfab através do seguinte link: <https://sketchfab.com/models/778e9462a25240ceb98db4bc15a99b1a>.

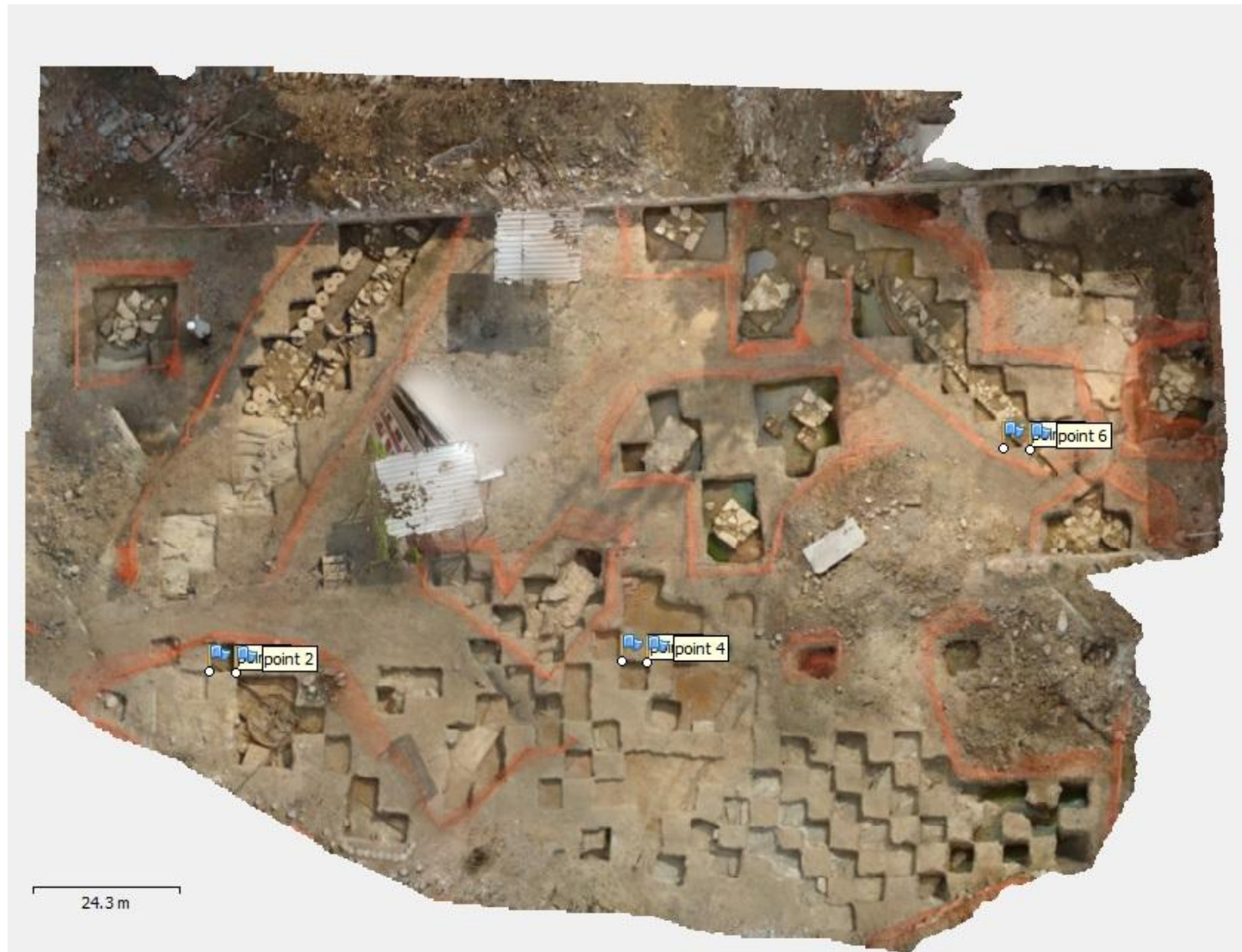


Figura 55 - Ortofoto da área de escavação Polinter 1, POL1, Morro da Saúde, RJ. Nesta imagem vemos os pontos usados para criar as escalas usadas para calcular a margem de erro. Como não existiam escalas no registro fotográfico foram usadas como referência 3 laterias de sondagens de 1m<sup>2</sup> como referência.





Figura 15 – Ortofotomapa da área de escavação POL 1 (2012) no final da intervenção arqueológica neste trecho do objeto de estudo (Setembro 2012). Indicam-se todas as estruturas arqueológicas evidenciadas e observadas na imagem, com a respetiva UE. A seta no topo indica o Norte (Vista assinal). A linha pontilhada amarela demarca o limite do substrato rochoso mais próximo à superfície (POL 1: [26]) e projeta a inflexão da praia-mar na paleocosta do século XVIII a partir desta linha para Nordeste (Imagens: Documento, 2012 / Fotografia: Pedro Narciso / Ortofotomapa: Artur Magalhães e Pedro Narciso).

Figura 56 - Documentação gráfica final da área de escavação da POL1. A ortofoto serve de base para ilustrar as informações interpretativas como números de unidades estratigráficas presentes na área de escavação, bem como a projeção da paleolinha costeira do século XVIII (Narciso, 2012:314 fig. 15).

#### 4.4 Estruturas portuárias Transoceânica

O quarto estudo de caso aqui apresentado também aborda o registro de estruturas portuárias, porém estas foram identificadas em 2016, no decurso do *Projeto de Prospecção e de Identificação Arqueológica e Patrimonial na Área do Corredor Viário Transoceânica, Município de Niterói, RJ*.

Durante o decurso da obra foram identificados pela equipe de arqueologia os remanescentes de estruturas portuárias pertencentes, possivelmente, a um estaleiro da década de 40 do século XX. Os vestígios arqueológicos encontravam-se na Av. Carlos Ermelindo Marins, Jurujuba, Niterói, Rio de Janeiro, com as suas coordenadas demarcadas pelos polígonos apresentados no mapa que se segue (figura 57). Durante a abertura de valas para a implementação do BRT foram identificados vestígios de uma mortona em cimento, madeira e tijolo, que servia para puxar as embarcações para seco a fim de se realizar a sua manutenção. As estruturas portuárias foram expostas em dois trechos, recebendo o nome na sua parte Norte de estrutura 1516 e na sua parte Sul de BRT 201. Estas foram alvo de escavação, detalhamento, levantamento fotogramétrico e modelagem 3D.

O objetivo deste estudo de caso foi o de aplicar a fotogrametria a um fluxo de trabalho arqueológico dentro de um contexto de arqueologia de contrato e verificar de que forma é que a técnica fotogramétrica pode agilizar o registro e contribuir para a documentação gráfica de estruturas arqueológicas identificadas durante os trabalhos de implantação de uma obra.

Desta forma optamos por usar os equipamentos e recursos que a equipe de arqueologia tinha disponíveis em campo para manter a veracidade do estudo de caso para uma situação de arqueologia de contrato. A câmara utilizada foi uma Canon PowerShot SX130 IS<sup>23</sup> e a equipe de topografia da transoceânica foi solicitada para a tomada de pontos que serviram para georreferenciar os modelos.

---

<sup>23</sup> Dispositivo de imagem de 12.1 megapixels e lente de zoom 12x: 5.0 (W) – 60.0 (T) mm, para mais informações sobre as características da câmara consultar o manual disponível em: [http://files.canon-europe.com/files/soft39173/manual/SX130IS\\_CUG\\_PT.pdf](http://files.canon-europe.com/files/soft39173/manual/SX130IS_CUG_PT.pdf).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

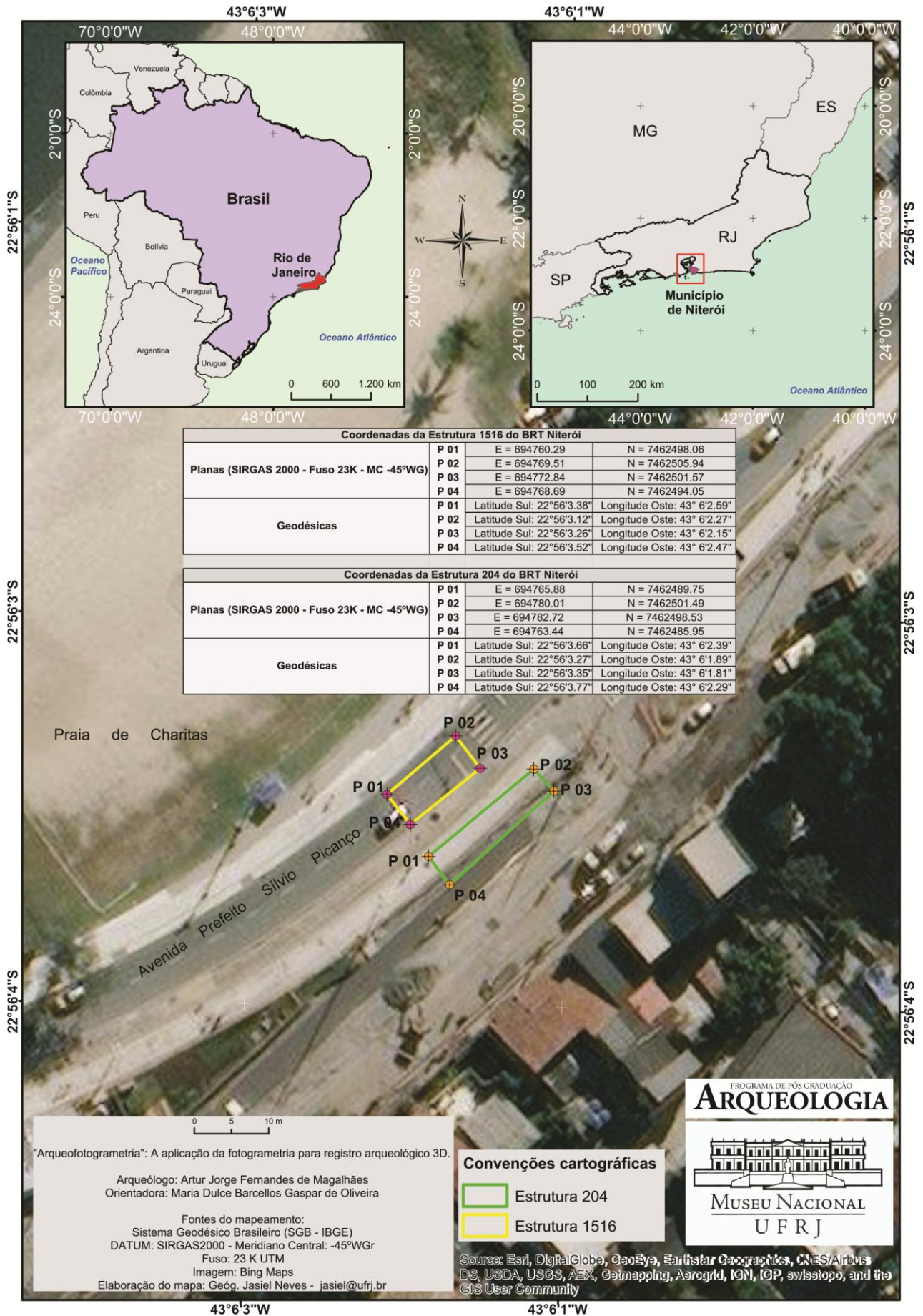
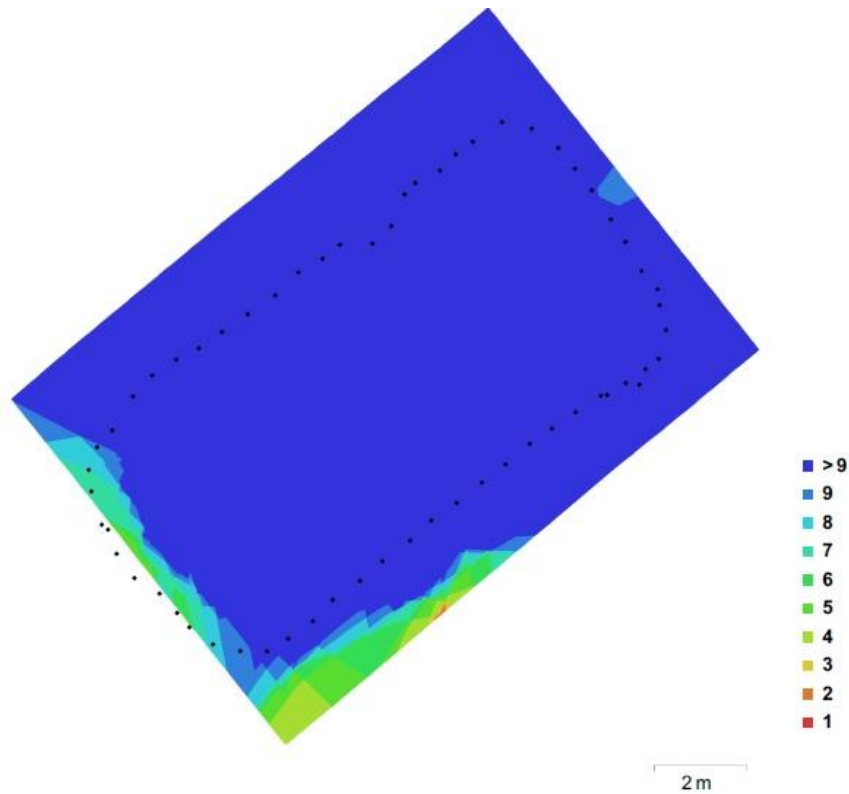


Figura 57 - Mapa de localização das Estruturas Portuárias identificadas durante os trabalhos da Transoceânica, Jurujuba, Niterói, RJ. Mapa: Jasiel Neves.

#### 4.4.1 Estrutura 1516

O modelo da estrutura 1516 foi gerado a partir de um conjunto de 61 fotografias tiradas no dia XX utilizando-se o método de objeto isolado (figura 58), descrito no capítulo 4 desta dissertação, consistindo numa tomada fotográfica em torno da estrutura evidenciada.



**Figura 58 - Sobreposição e localização das câmeras, cada ponto preto representa uma fotografia da série tirada em volta da estrutura 1516.**

Como podemos verificar através da tabela 22, após o processamento dos dados todas as 61 fotografias foram alinhadas com sucesso em qualidade alta resultando numa nuvem esparsa com 277.582 pontos convergentes. Em seguida criou-se uma nuvem densa de pontos, em resolução média, da qual resultaram 4.172.646 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obteve-se uma malha poligonal 3D com 839.660 faces representativa da geometria da vala onde foi identificada a estrutura 1516, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 22 - Resultados do processamento das imagens através do *Agisoft Photoscan*, resultantes do registro fotográfico da estrutura 1516.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	61/61(total/alinhadas)	7m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	30m28s	277,582 pontos
Nuvem densa	Média	1h35m20s	4,172,646 pontos
Mesh	Média	7m12s	839,660 faces
Textura	4,096 x 4,096	12m03s	-----
DEM	5.91 mm/pix	30s	28620.5 pontos/m2
Ortomosaico	0.0044345 m/pix	6m46s	-----
<b>TOTAL</b>		<b>2h39m19s</b>	

Neste caso o modelo foi georreferenciado através de um conjunto de pontos (figura 59) coletados por equipe de topografia da Transoceânica através de GPS RTK da marca Leica. Mais uma vez, como nos casos de Cabeçuda, os dados foram disponibilizados em tabelas (kml e shape) com Datum SIRGAS 2000 e posteriormente convertidos para Datum WGS 84 / UTM zone 22S (EPSG::32722) para conversão em arquivo KMZ para visualização das ortofotos no Google Earth.

Dentro do *Agisoft* os pontos foram identificados em cada foto e suas respectivas coordenadas inseridas georreferenciando-se o modelo com uma precisão da ordem dos 8,4 cm no que diz respeito a sua localização (Tabela 23).

**Tabela 23 - Resultado da margem de erro apresentada por cada um dos pontos de controle de solo (GCP) levantados pela equipe topográfica do empreendedor.**

Nome GCP	erro XY (m)	erro Z (m)	erro (m)	Projeções	erro (pix)
B1	0.102177	0.0333496	0.107482	27	9.317
B2	0.0539744	0.00779972	0.0545351	22	19.926
D1	0.0759006	0.0310036	0.0819886	28	5.489
D2	0.0831368	0.0241528	0.0865741	24	12.647
<b>TOTAL</b>	<b>0.080663</b>	<b>0.0260654</b>	<b>0.0847698</b>		<b>12.492</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 2h39m19s de pós processamento para gerar um modelo digital de superfície 3D do sítio arqueológico correspondente a uma área de 127 m<sup>2</sup>, com resolução de 5,91 mm/px; foi também gerada uma ortofoto da área em formato Tiff com uma resolução de 0,4 mm/pix (figura 59). O modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D, encontrando-se disponível para visualização na plataforma Sketchfab através do seguinte link: <https://sketchfab.com/models/910bc4735a5c457c9caf1b36b226a43c>.



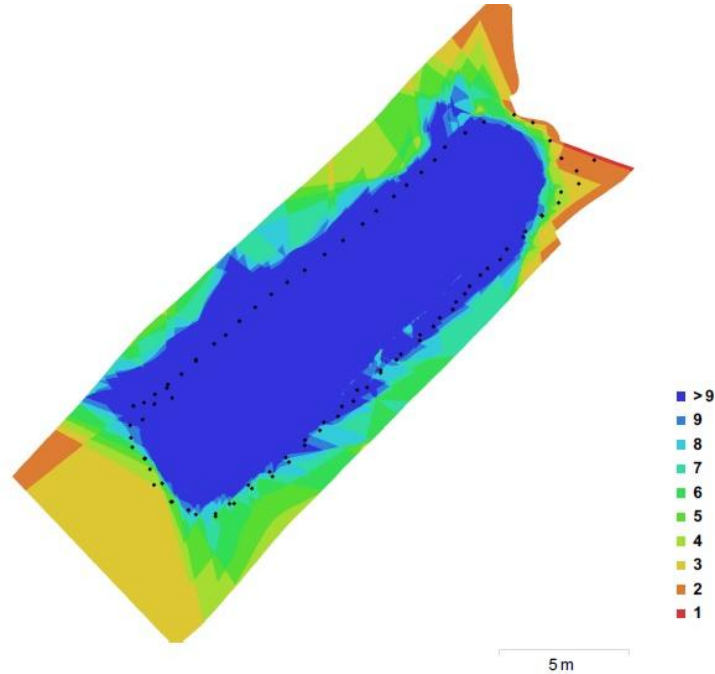
2 m

Figura 59 - Ortofoto da estrutura 1516, trecho norte da estrutura portuária, Charitas, Niterói. Nesta imagem vemos os pontos usados para georreferenciação do modelo.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.4.2 Estrutura BRT 201

Já o modelo da estrutura BRT 201 foi gerado a partir de 61 fotografias utilizando-se o método de objeto isolado, descrito no capítulo 4 desta dissertação (figura 60). Este corresponde a secção sul da mortona evidenciada.



**Figura 60 - Sobreposição e localização das câmeras, cada ponto preto representa uma fotografia da serie tirada em volta da estrutura BRT201.**

Como podemos verificar através da Tabela 24, após o processamento dos dados todas as fotografias foram alinhadas com sucesso. Das 89 fotos alinhadas em qualidade alta resultou uma nuvem esparsa com 420.698 pontos convergentes. Em seguida criou-se uma nuvem densa de pontos, em resolução média, da qual resultaram 8.884.284 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obteve-se uma malha poligonal 3D com 1.789.996 faces representativa da geometria da estrutura BRT 201, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 24 - Resultados do processamento das imagens através do Agisoft Photoscan, resultantes do registro fotográfico das escavações da estrutura 1516, Charitas, Niterói.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	89/89(total/alinhadas)	9m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	21m07s	420,698 pontos
Nuvem densa	Média	35m40s	8,884,284 pontos
Mesh	Média	6m10s	1,789,996 faces
Textura	4,096 x 4,096	1m15s	-----
DEM	4.54 mm/pix	1m53s	48439.7 pontos/m2
Ortomosaico	0.0034795 m/pix	13m14s	-----
<b>TOTAL</b>		<b>1h28m19s</b>	

Com base no levantamento do GPS RTK, pela equipe da Transoceânica, foi possível georreferenciar o modelo através de 4 pontos que correspondem a extremidades da estrutura (figura 31). Como no modelo anterior, os pontos foram identificados em cada foto e suas respectivas coordenadas inseridas georreferenciando-se o modelo com uma precisão da ordem dos 5,1 cm no que diz respeito a sua localização (Tabela 25).

**Tabela 25 - Resultado da margem de erro apresentada após a introdução dos pontos de controle de solo (GCP), levantados pela equipe de topografia do empreendedor.**

Nome GCP	erro XY (m)	erro Z (m)	erro (m)	Projeções	erro (pix)
B3	0.0647159	0.0208002	0.0679764	27	13.445
B4	0.0583077	-0.020721	0.0618801	21	35.897
C3	0.034939	-0.018794	0.039673	30	13.866
C4	0.0150686	0.0187153	0.0240276	24	26.430
<b>TOTAL</b>	<b>0.0475282</b>	<b>0.0197831</b>	<b>0.0514811</b>		<b>23.110</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 1h28m19s de aquisição de imagens e pós processamento destas para gerar um modelo digital de superfície 3D da estrutura arqueológica correspondente a uma área de 223 m<sup>2</sup>, com resolução de 4,54 mm/px; foi também gerada uma ortofoto da área em formato Tiff com uma resolução de 0,3 mm/pix (figura 61). O modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D, que está disponível para visualização na plataforma Sketchfab através do seguinte link: <https://sketchfab.com/models/7c08050f8adf408388d0f9eacb9b1193>.





Figura 61 - Ortofoto da estrutura BRT201, trecho sul da estrutura portuária, Charitas, Niterói. Nesta imagem aparecem os pontos usados para georreferenciação do modelo.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

## 4.5 Painéis de arte rupestre. Lagoa Santa

O quinto estudo de caso aqui apresentado aborda o registro fotogramétrico de arte rupestre. Desta forma, foram selecionados dois tipos de arte parietal representativos do cenário brasileiro: as pinturas do sítio Cerca Grande e as gravuras do sítio Caieiras, ambas inseridas em uma das mais expressivas regiões cársticas do Brasil, a Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa. Ambos os sítios se localizam no município de Matozinhos, próximo a cidade de Mocambeiro, Estado de Minas Gerais (figura 64).

Segundo Baeta (2011:159), os seus conjuntos de figurações rupestres são atribuídos maioritariamente à Tradição Planalto, embora em alguns casos, existam conjuntos representados em camadas sucessivas, como é o caso do sítio Cerca Grande. Compostos por: *"Figuras monocromáticas compostas, sobretudo por quadrúpedes, cervídeos, peixes, alinhamentos de pontos e traços, são imediatamente associadas a essa tradição."*

O objetivo deste estudo de caso foi o de verificar a aplicabilidade da técnica fotogramétrica para registrar arte parietal, tanto a gravada quanto a pintada, e de que forma o modelo 3D pode auxiliar na visualização de figuras não perceptíveis a olho nu, ou como forma de criação de réplicas ou como base para restauro de painéis depredados.

### Caracterização dos Sítios e dos painéis alvo de estudo

#### CERCA GRANDE

O sítio Cerca Grande é constituído por vários abrigos e galerias com arte rupestre parietal e vestígios arqueológicos ao longo de um maciço calcário. As primeiras escavações foram realizadas por o naturalista e paleontólogo dinamarquês Peter Lund, em 1835, na então Lapa dos Índios que viria a ser conhecida como Cerca Grande. Volta a ser alvo de novos trabalhos arqueológicos durante a década de 1970 através da missão franco-brasileira de A. Laming-Emperairea, com a colaboração do Museu Nacional, o qual indicou M.Beltrão como coordenadora brasileira. Destes trabalhos resultaram sete sítios registrados como Cerca Grande no cadastro nacional de sítios arqueológicos (CNSA).

No âmbito deste estudo de caso foi realizada uma visita ao local, no dia 21 de Agosto de 2016, na companhia do técnico do Iphan Igor Rodrigues para proceder ao

levantamento fotogramétrico dos painéis (figura 62). Foi selecionado o painel I do abrigo V que se encontra registrado no CNSA com o número MG00437 e cuja descrição se apresenta-se a seguir:

Trata-se de um grande abrigo bem aberto, delimitado externamente por blocos desabados, com uma pequena gruta na extremidade leste e uma parte mais alta a oeste. A parte central, muito baixa, é sazonalmente inundada pela lagoa de fundo de dolina, a qual chegou a apagar parcialmente as pinturas mais baixas que cobrem o paredão (Painel II de arte rupestre da Missão Franco-Brasileira). A pequena gruta apresenta pinturas bem visíveis no teto e incisões numa das paredes (Painel III de arte rupestre da Missão Franco-Brasileira). A parede ocidental apresenta três momentos de pintura e importantes descamações (Painel I de arte rupestre). O desmatamento recente expõe as pinturas ao sol a partir do final da manhã e facilita a descamação do paredão. Apesar da exigência de uma autorização prévia as pinturas de Cerca Grande continuam sendo depredadas, pois não há nenhum fiscal acompanhando os visitantes, alguns dos quais jogam água nas pinturas para aumentar o contraste de cor com o paredão (inclusive um professor que leva todo aluno para visitar o sítio). O sedimento argiloso foi escavado pelos amadores nos anos 40 e 50, e pela Missão Americano-Brasileira em 1956. Vários sepultamentos foram encontrados neste local. O material coletado pela Missão Americano-Brasileira é conservado no Museu Nacional do Rio de Janeiro. As pinturas foram levantadas pela Missão Franco-Brasileira em 1973/74 e publicadas na França (IBAMA, 1998, Anexo II, pág. XXIII).



**Figura 62 - a) Vista da gruta na extremidade Leste do sítio onde se encontra o painel III, ao fundo depois da árvore localiza-se o painel II. b) Autor e o técnico do IPHAN Igor Rodrigues junto do painel I que foi alvo de registro para esta dissertação.**

## CAIEIRAS

O Sítio Arqueológico Caieiras é composto por duas áreas, uma inferior formada por uma gruta com duas entradas (CNSA: MG00443), e uma superior constituída por um abrigo rochoso (CNSA: MG00431). No âmbito deste estudo de caso foi realizada uma visita ao local no dia 26 de agosto de 2016 na companhia da Dr.<sup>a</sup> Alenice Baetta, renomada especialista em arte rupestre brasileira, para se proceder ao levantamento fotogramétrico dos painéis (figura 63). A gruta possui dois painéis gravados, um em cada uma das entradas, e outro no fundo da cavidade. No âmbito desta dissertação foi selecionado o painel do fundo da gruta Caieiras para ser aqui apresentado e cuja descrição se apresenta de seguida:

A gruta localiza-se na base de um paredão vertical dominando suave vertente de uma dolina.

A vegetação em frente e em torno da gruta compõe-se de mata rala e a água atual mais próxima dista aproximadamente 1,5km a leste de Caieiras - Córrego Mucambo. Em frente ao maciço e a 60° Nordeste existem duas dolinas, hoje secas.

Aberto para Leste, a pequena gruta possui oito metros de largura por no máximo 20m de profundidade. O sedimento no interior da gruta é argiloso e muito compactado, os dois pontos ideais para sondagens foram escavados em 1971 pela Missão Franco-Brasileira, revelando-se estéril ao ponto de vista arqueológico.

A maioria dos grafismos que decoram as paredes da gruta são gravados, havendo apenas em 1 ponto alto vestígios de pintura vermelha. As gravuras situadas mais no fundo da gruta são os mais visíveis e melhor conservados. Todas as paredes receberam pichações (a carvão, giz e incisão) que apesar de numerosas não chegam a desfigurar os grafismos. Os visitantes modernos da gruta vêm deixando suas marcas nas paredes desde 1948; em alguns pontos há marcas recentes de picareta e há restos de fogueira e algum lixo no interior da gruta (latas, garrafas, plástico etc.).

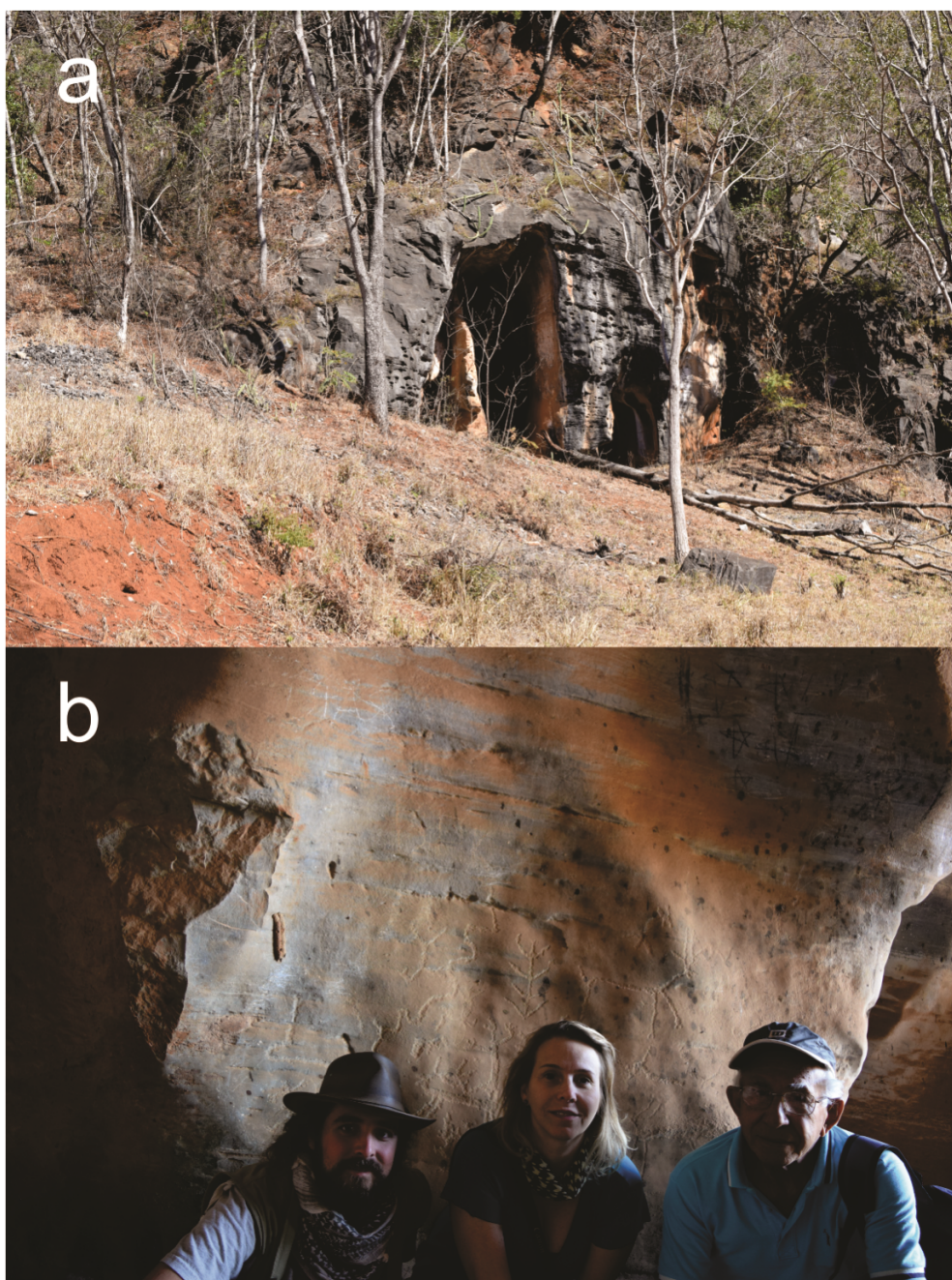
O forno da antiga caieira ficava próximo à estrada e dele restam blocos abatidos próximo ao maciço, 5 metros.

As gravuras foram copiadas por Josaphat Penna no decênio de 50 e pelo Setor de Arqueologia em 1994 - calques no MHN-UFMG (IBAMA, 1998, Anexo II, pág. XXIII).

### Segundo Baetta (2011:159) na Gruta Caieiras 1,

as representações são ainda mais variadas, dispostas nas paredes internas de um pequeno abrigo, dentre elas, cervídeos com galhas, antropomorfos esquematizados, alguns com cabeças, bocas semi-abertas e braços estirados. Há ainda prováveis representações de vegetais, possivelmente cactáceas, figuras circulares e curvilineares, que podem se tratar de representação de cobra.

A pesquisadora destaca ainda que "*as gravuras foram confeccionadas nas partes mais baixas das paredes, da base até pelo menos 1 metro e 50 cm de altura. O suporte parece ter sido preparado por meio de polimento para receber as figuras picoteadas.*" (Baetta, 2011:226).



**Figura 63 - a) Vista do paredão onde se localiza a gruta de Caieiras com as suas duas fendas verticais, voltadas a Leste, e que formam as duas entradas do sítio. No seu interior do lado direito ao fundo encontra-se o painel II. b) Autor e Dr.<sup>a</sup> Alenice Baetta e o Sr. João Barbara (guia local) a frente do painel II que foi alvo de registro para esta dissertação.**

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

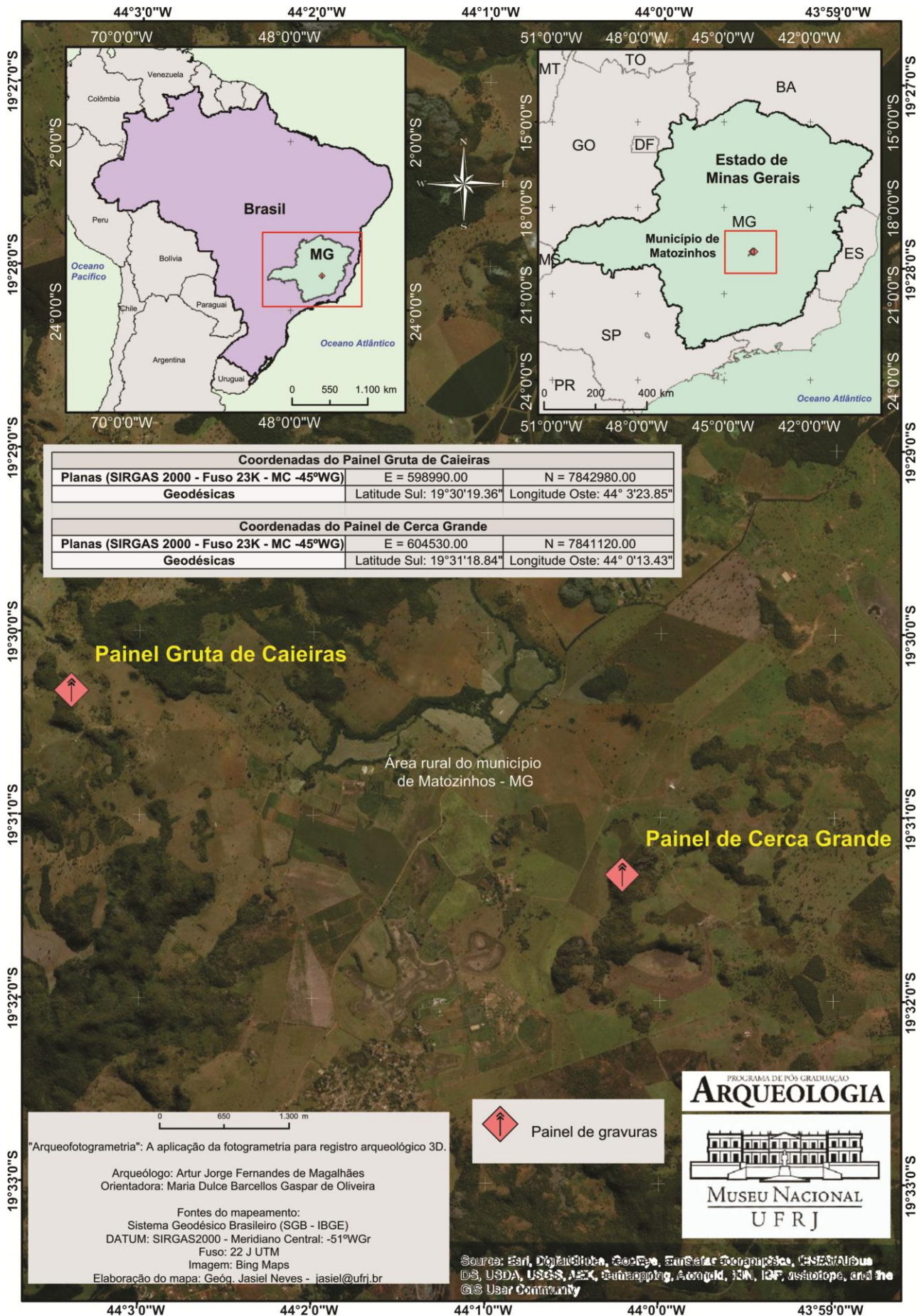
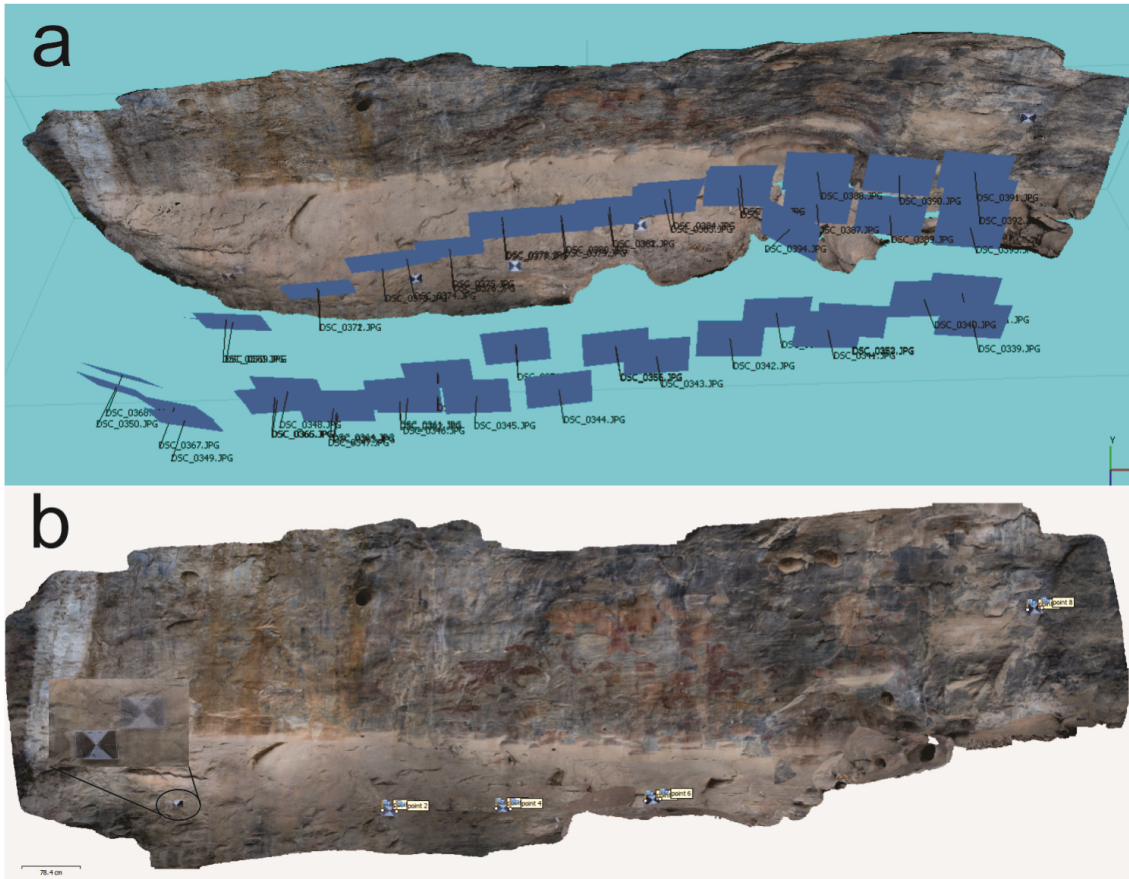


Figura 64 - Mapa de localização das pinturas (Cerca Grande) e gravuras parietais (Caieiras), Mocamboeiro, Matozinhos, MG. Mapa: Jasiel Neves.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.5.1 Cerca Grande - Pannel de pinturas rupestres

Foi realizado um levantamento fotogramétrico do pannel no dia 21 de agosto de 2016, totalizando um conjunto de 56 fotos, tendo sido utilizados 5 alvos fotogramétricos que serviram como escala, para refinamento do alinhamento e cálculo de erro. Neste caso aplicou-se a técnica de levantamento fotogramétrico de objetos de superfície única para o pannel II do abrigo V da Cerca Grande (figura 65a).



**Figura 65 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa *Photoscan* que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras. Note-se que o alvo mais a esquerda não foi considerado pois foi movido durante a tomada acabando por ficar duplicado.**

Como podemos verificar através da Tabela 26, após o processamento dos dados todas as 102 fotografias foram alinhadas, em resolução alta, com sucesso resultando numa nuvem esparsa com 49.400 pontos convergentes. Em seguida criamos uma nuvem densa de pontos, em resolução média, da qual resultaram 11.379.701 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obtivemos uma malha poligonal 3D com 2,275,939 faces representativa da geometria do pannel II, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 26- Síntese do processo de elaboração do modelo 3D do painel 2, Abrigo V, Cerca Grande, MG. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	56/56(total/alinhadas)	14 m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	9m37s	49,400 pontos
Nuvem densa	Média	3m10s	11,379,701 pontos
Mesh	Alta	8m27s	2,275,939 faces
Textura	20,000 x 20,000	4m10s	-----
Ortomosaico	0.000662087 m/pix	1m47s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>41m11s</b>	-----

Apesar de terem sido colocados 5 alvos ao longo do painel apenas 4 foram usados pois um deles apresentou problemas devido a deslocação deste durante a tomada fotográfica (ver figura 65b). Assim sendo, com base nos 4 alvos restantes foram criados 8 pontos de controle, 2 em cada extremidade do alvo, e a partir destes 4 réguas de 18 cm foram criadas, que serviram para colocar o modelo em escala e que apresentaram um erro de distorção de 0,8 mm (Tabela 27).

**Tabela 27 - Apresenta as distancias e margem de erro das réguas de 18cm criadas através dos alvos colocados ao longo do painel.**

Escala	distância (m)	erro (m)
point 1_point 2	0.179057	-0.000943269
point 3_point 4	0.17992	-0.000800000
point 5_point 6	0.179664	-0.000335785
point 7_point 8	0.181346	0.00134646
<b>TOTAL</b>		<b>0.000839924</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 41m11s para gerar um registro de 56 fotografias, uma ortofoto retificada do Painel II, Abrigo V (figura 66), com resolução de 0.6 mm/pix, que serviu de base para a manipulação através de filtros no *Photoshop* de forma a realçar figuras imperfectíveis a olho nu (figura 67); e que servem como registro gráfico de alta resolução de um painel com 47,8 m<sup>2</sup> que nos permite ter uma visão das figuras representadas com um alto grau de detalhamento, bem como do suporte parietal onde estas se inserem. Como nos casos anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. A partir deste conjunto de fotos foi elaborado um modelo 3D o qual pode ser visualizado no link: (<https://skfb.ly/6A9ZG>).



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

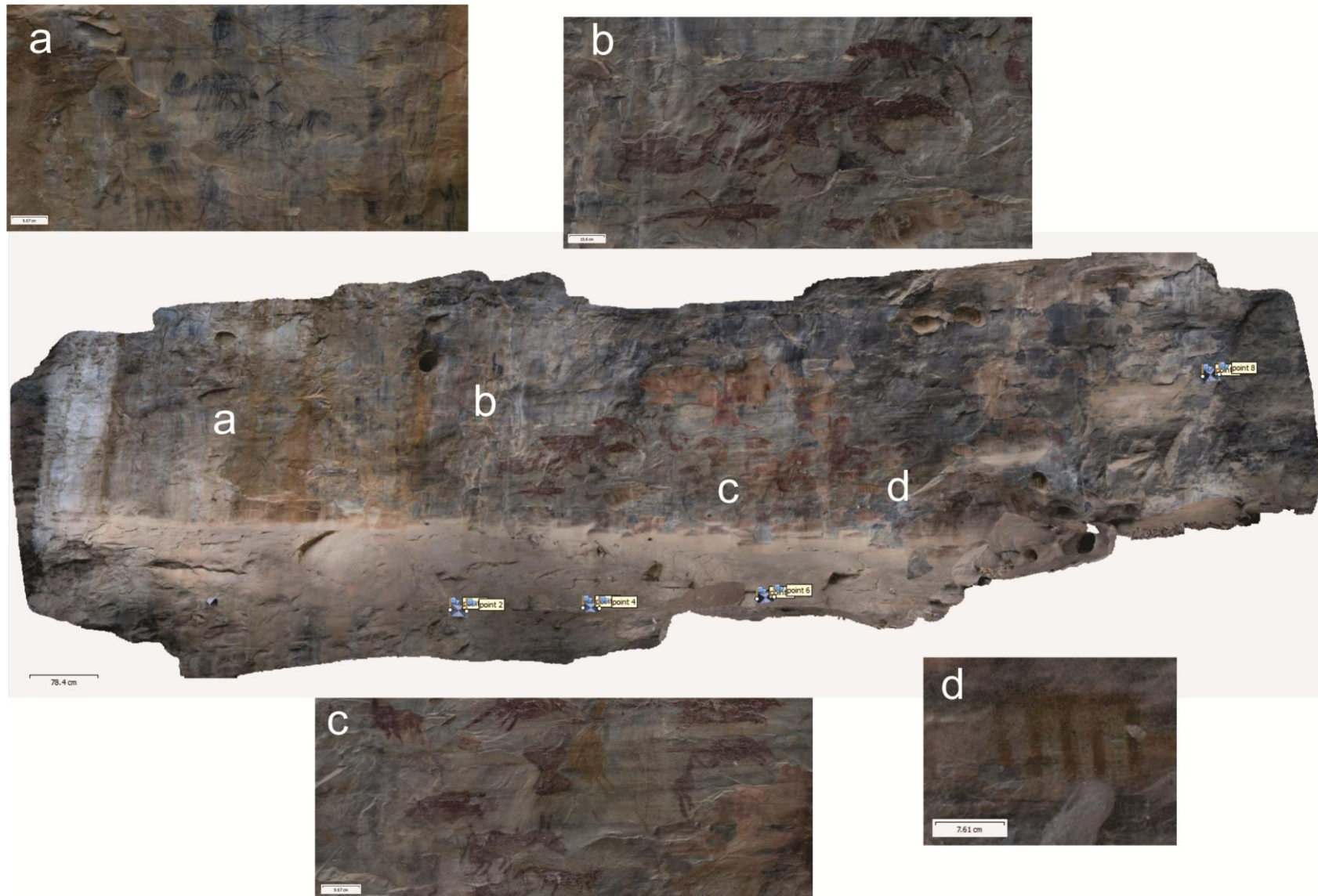


Figura 66 - Ortofoto retificada do Paineil II, Abrigo V, Cerca Grande, MG. a) Pinturas sobre grafite preto tradição ballet; b) Fauna tradição planalto; c) Tradição planalto com uma amarela da tradição agreste; d) Geométrico da tradição agreste.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

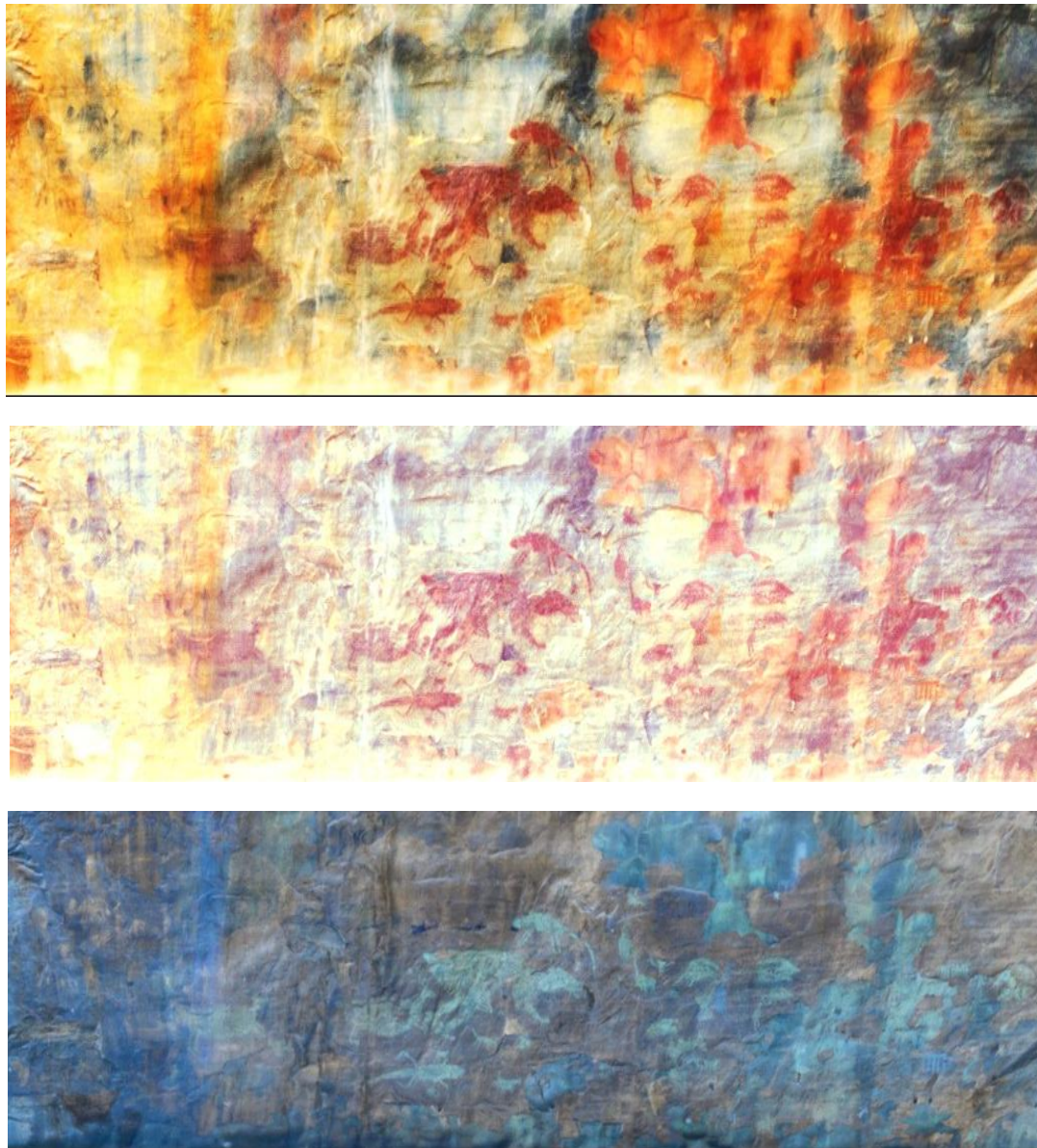
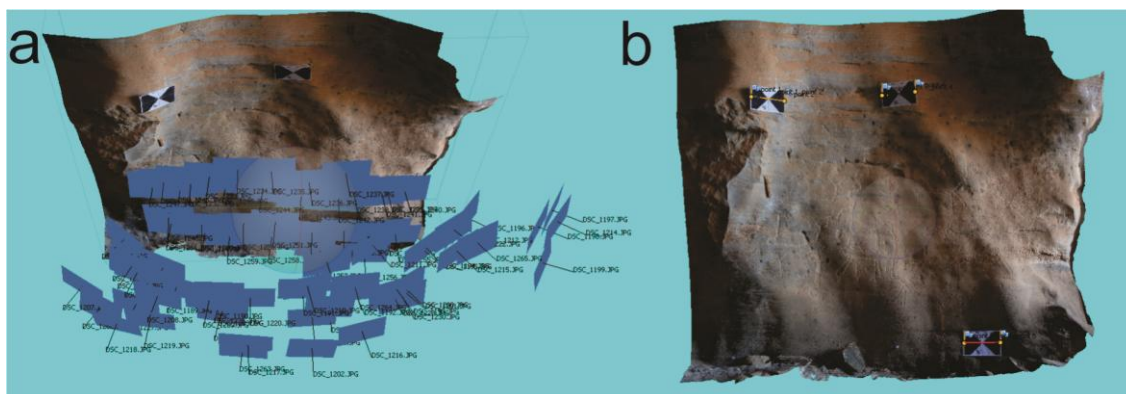


Figura 67 - Exemplo da aplicação de filtros que permitem destacar as figuras presentes no painel permitindo uma melhor visualização e interpretação das pinturas.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.5.2 Caieiras- Pannel de gravuras rupestres

Realizamos um levantamento fotogramétrico do pannel no dia 26/08/2016, totalizando um conjunto de 77 fotos, tendo sido utilizados 3 alvos fotogramétricos que serviram como escala, para refinamento do alinhamento e cálculo de erro. Como no caso anterior também aqui se aplicou a técnica de levantamento fotogramétrico de objetos de superfície única para o pannel II do abrigo V da Cerca Grande (figura 68a).



**Figura 68 - a) Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. b) Alvos fotogramétricos identificados com pontos no programa *Photoscan* que serviram de escala e refinamento do alinhamento das câmeras. Note-se que o alvo mais a esquerda não foi considerado pois foi movido durante a tomada acabando por ficar duplicado.**

Como podemos verificar através da Tabela 28, após o processamento dos dados todas as 77 fotografias foram alinhadas, em resolução alta, com sucesso resultando numa nuvem esparsa com 49.400 pontos convergentes. Em seguida criamos uma nuvem densa de pontos, em resolução média, da qual resultaram 11.379.701 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obtivemos uma malha poligonal 3D com 2,275,939 faces representativa da geometria do pannel II, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

**Tabela 28 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D do pannel 2, Abrigo V, Cerca Grande, MG. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	77/77(total/alinhadas)	18 m (aquisição em campo)	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta	17m51s	45,273 pontos
Nuvem densa	Média	7m30s	8,168,295 pontos
Mesh	Alta	8m27s	1,633,637 faces
Textura	4,096 x 4,096	1m23s	-----
Ortomosaico	0.000662087 m/pix	2m34s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>55m45s</b>	-----

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Com base nos 3 alvos foram criados 6 pontos de controle, 2 em cada extremidade do alvo, e a partir destas 3 réguas de 18 cm foram criadas (ver figura 37b), que serviram para colocar o modelo em escala e que apresentaram um erro de distorção de 0,8 mm (Tabela 29).

**Tabela 29 - Apresenta as distâncias e margem de erro das réguas de 18cm criadas através dos alvos colocados ao longo do painel.**

<b>Escala</b>	<b>distância (m)</b>	<b>erro (m)</b>
point 1_point 2	0.179952	-0.000048
point 3_point 4	0.180119	0.000119
point 5_point 6	0.179928	-0.000072
<b>TOTAL</b>		<b>0.000085</b>

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 55m45s para gerar um registro de 77 fotografias, uma ortofoto retificada de um painel com 4.36 m<sup>2</sup> e uma resolução de 0.19 mm/pix (figura 69). A nuvem de pontos gerada pela técnica fotogramétrica permite ainda que esta sirva de base para a recuperação de futuras escamações do suporte pétreo ou depredações ao patrimônio. Servindo ainda como registro gráfico de alta resolução do Painel de Pinturas II da gruta de Caieiras para visualização pormenorizada e interpretação das figuras presentes no painel. Como nos casos anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. A partir deste conjunto de fotos foi elaborado um modelo 3D o qual pode ser visualizado no link: (<https://skfb.ly/6A9Y7>).

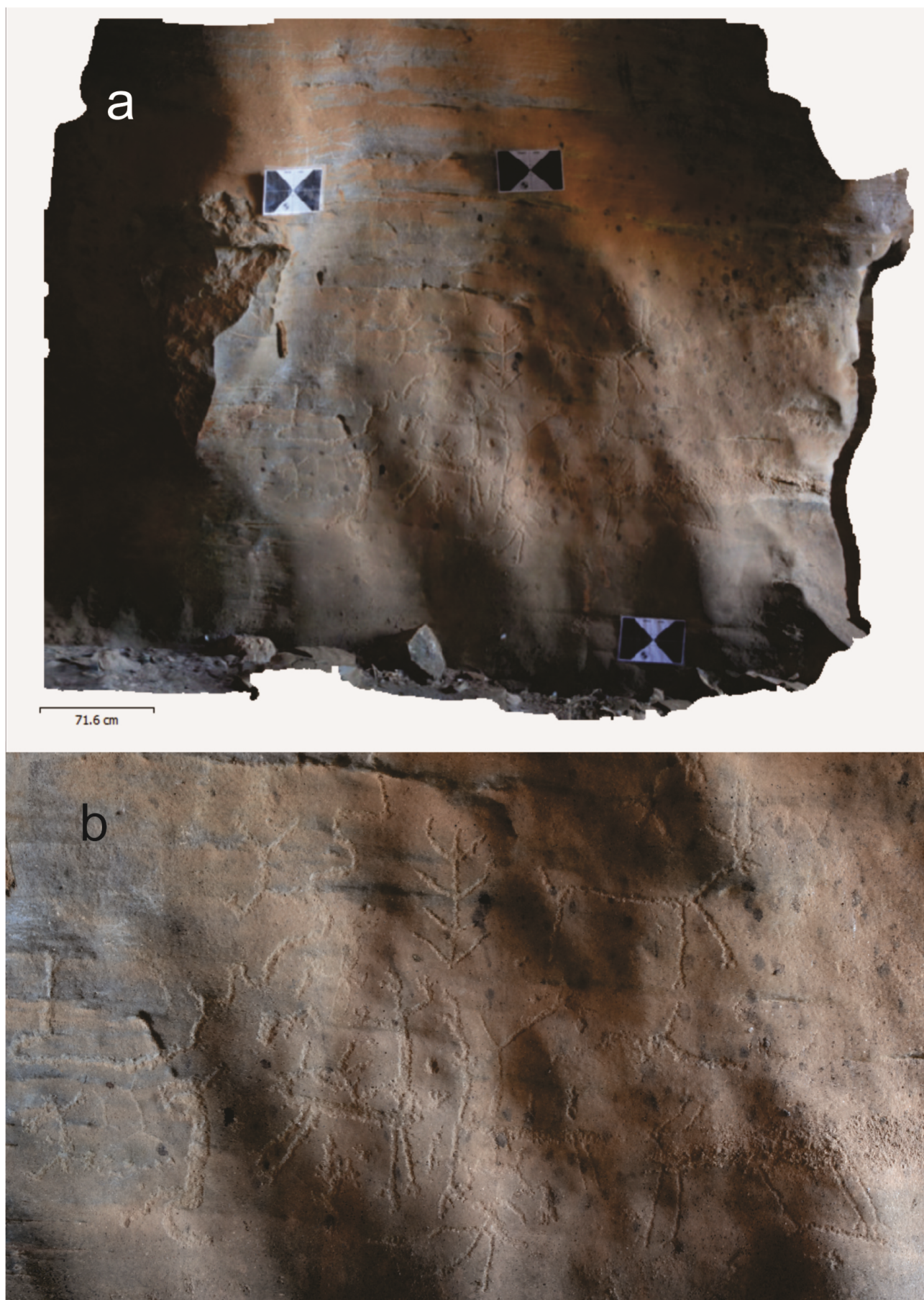


Figura 69 - a) Ortofoto retificada do Painel II, Gruta de Caieiras, MG. b) Zoom nas gravuras de cervídeos, antropomorfos e plantas..

#### 4.6 Material Lítico Alice Boer

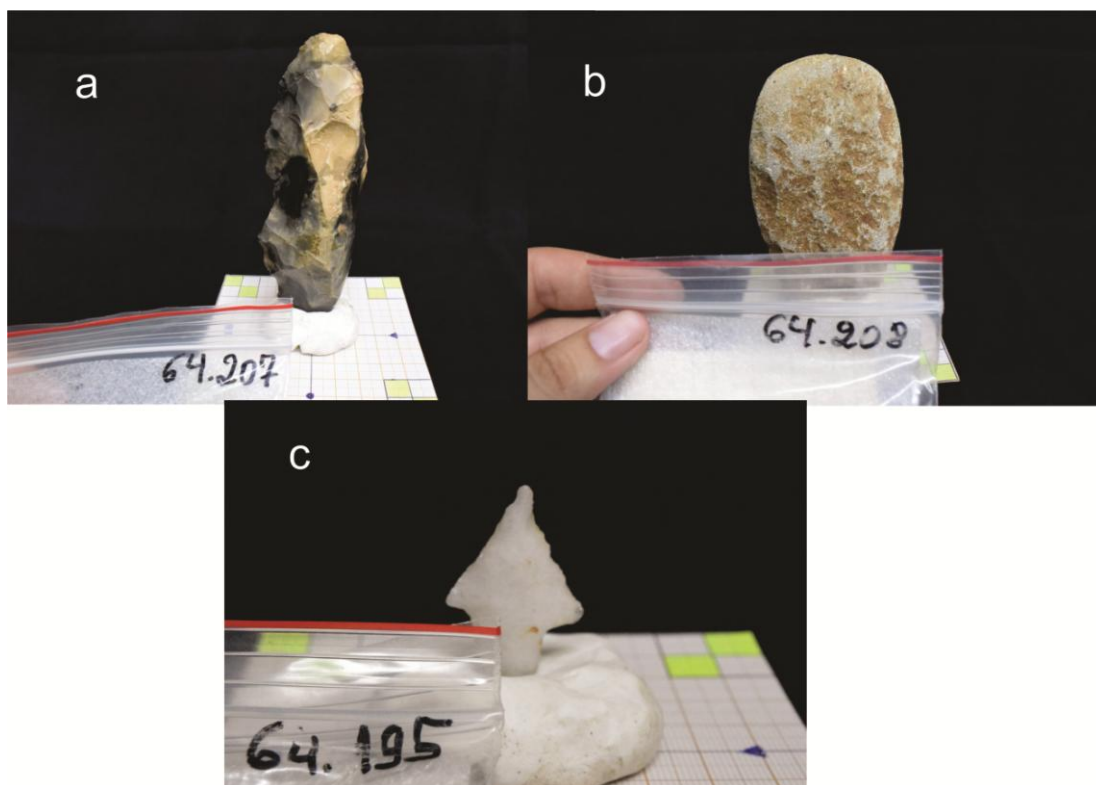
O sexto e último estudo de caso aqui apresentado foi realizado no âmbito do projeto de pesquisa de doutorado de João Carlos Moreno de Sousa, colega do Museu Nacional, intitulado "TECNOLOGIA DE PONTA: Mudanças culturais durante o Holoceno em indústria líticas do Sudeste e Sul do Brasil"<sup>24</sup>.

O estudo supra citado tem como objetivo o estudo das peças líticas provenientes do sítio Alice Boer. Neste sentido foram selecionados alguns exemplares representativos da coleção (figura 70).

O objetivo deste estudo de caso foi o de gerar um registro fotogramétrico de peças líticas, para criação de modelos 3D, que nos permitam analisar o desempenho da técnica à escala artefactual. Permitindo que estes modelos sirvam de base analítica para o estudo arqueométrico das peças à distância e consequente integração destas em acervos digitais científicos de coleções arqueológicas que podem ser acedidas a partir de qualquer ponto do globo facilitando desta forma a acessibilidade dos pesquisadores aos materiais de pesquisa.

---

<sup>24</sup> Projeto em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Arqueologia (Museu Nacional, UFRJ), desde setembro de 2015, sob orientação da Dra. Mercedes Okumura.



**Figura 70 - Peças da coleção Alice Boer selecionadas para registro fotogramétrico. a) Lesma - Peça nº64207; b) Machado polido - Peça nº64209; c) Ponta de seta - Peça nº64207.**

### Localização

O sítio arqueológico Alice Boer está localizado às margens do rio Ribeirão Cabeça, no município de Ipeúna, estado de São Paulo (figura 71). Identificado em 1961 por Tom Miller Jr. que inicia nesse ano as suas pesquisas no local as quais durariam até 1964.

Novas escavações foram realizadas por Beltrão em 1965, seguindo-se as campanhas de 1978/1979; 1980 e uma última em 1984. Posteriormente novos trabalhos arqueológicos foram desenvolvidos por Araújo em 2011 acompanhando a trincheira I de Beltrão.

A coleção do sítio Alice Boer, foi escavada durante as pesquisas de Beltrão e acondicionadas no Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (MN-UFRJ), encontrando-se atualmente sobre a curadoria da Dr.<sup>a</sup> Tânia Andrade Lima.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

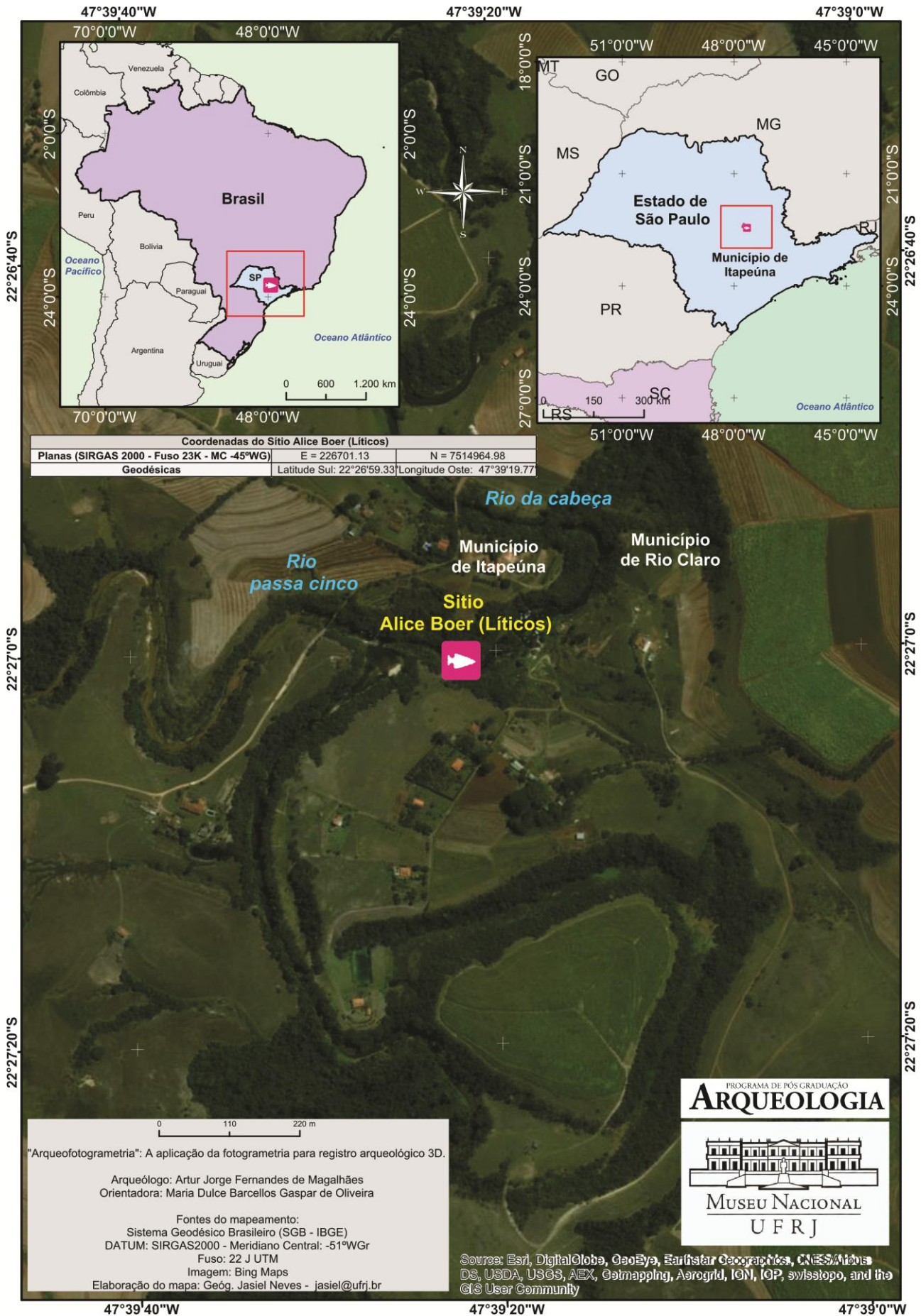


Figura 71 - Mapa de localização do sítio Alice Boer, Ipeuna, SP. Mapa: Jasiel Neves.



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

#### 4.6.1 Peça nº 64.207 - Raspador plano-convexo (Lesma)

Foi realizado um levantamento fotogramétrico da peça nº 64.207 no dia 03 de janeiro de 2017, totalizando um conjunto de 128 fotos. Neste caso foi aplicada a metodologia de levantamento fotogramétrico de pequenos objetos para o levantamento da peça lítica, ambos os lados da peça foram fotografados sobre uma plataforma giratória com a câmera fixa e girando a peça sobre o eixo (figura 72).

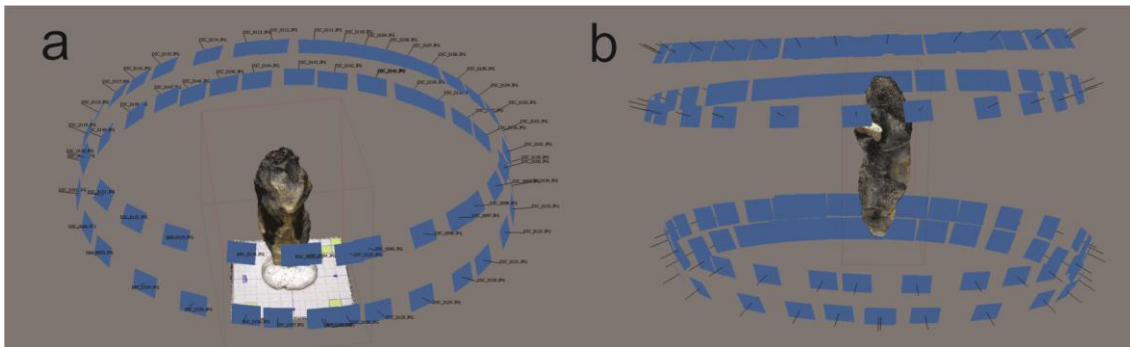


Figura 72 - Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de pontos após alinhamento das partes 1.

O total de fotografias foi alcançado em duas tomadas (62/66 fotos) que correspondem aos dois lados da peça (figura 73). Cada conjunto foi alinhado no *Photoscan* na qualidade mais alta criando-se duas nuvens de pontos esparsas as quais foram alinhadas após remoção da base (72b).

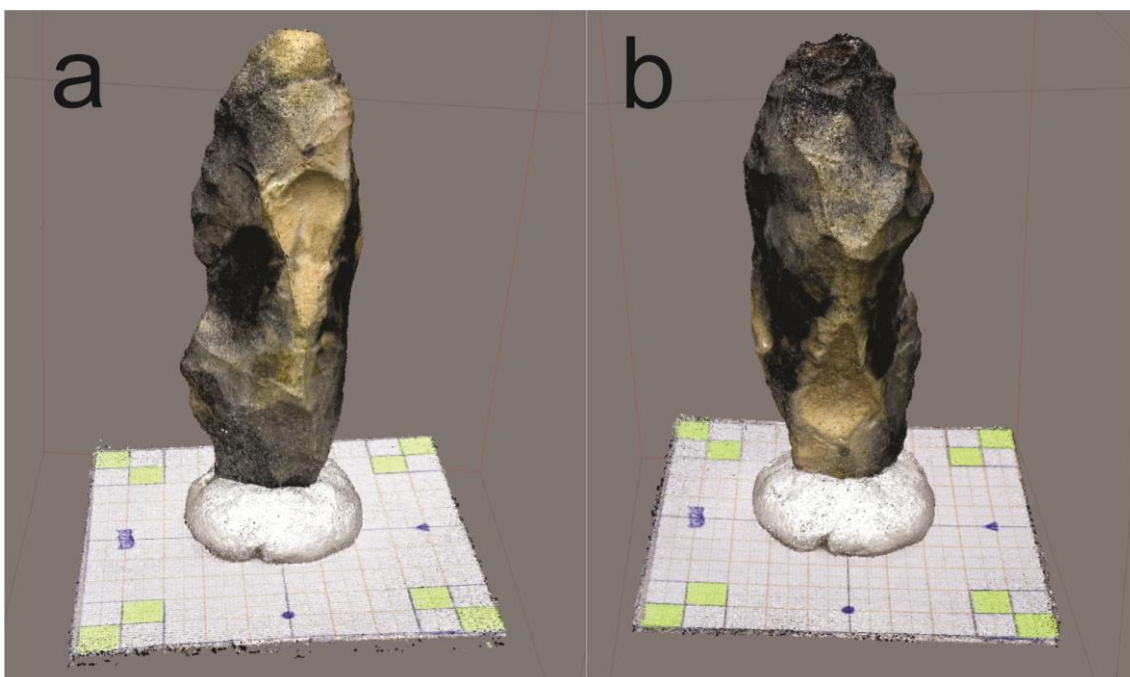


Figura 73 - a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de pontos da parte 2.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Através de 7 pontos de controle identificados nas duas partes do modelo, foi possível alinhar e combinar as duas nuvens densas de pontos (ver figura 74a). Com outros 2 pontos criou-se uma escala de 1cm, usando como referência a base rotatória milimétrica, que serviu para colocar o modelo em escala, apresentando um erro de distorção de 0 mm (Tabela 30).

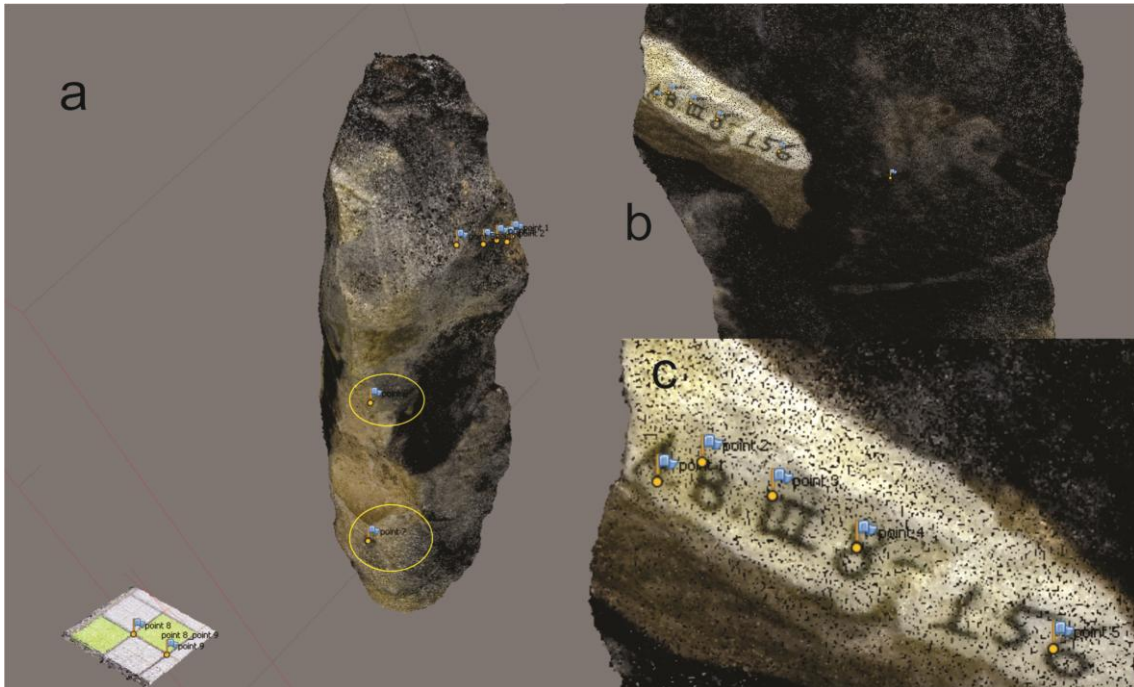


Figura 74 - a) Verso da peça lítica, com os pontos 6 e 7 usados para alinhamento das nuvens de pontos. À esquerda da imagem podemos ver os pontos 8 e 9 que foram utilizados para criar a escala de 1 cm. b) Anverso da peça lítica. c) Pontos (1 ao 5) no anverso da peça aproveitando.

Tabela 30 - Apresenta a distância e margem de erro da régua de 1cm criada através da base milimétrica rotatória.

Escala	distância (m)	erro (m)
point 1_point 2	0.01	0.000000
<b>TOTAL</b>		<b>0.000000</b>

Esta margem de erro pode ser confirmada através da comparação entre medidas tomadas diretamente na peça e no modelo (tabela 31).

Tabela 31 - Apresenta medidas tiradas na peça física e no modelo 3D.

Medidas	Artefato (cm)	Modelo 3d (cm)
Comprimento	12.7	12.8
Largura	3.7	3.75
Marca (A.B.III 8 - 156)	1.5	1.57

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Como podemos verificar através da Tabela 32, após o processamento dos dados todas as 128 fotografias foram alinhadas com sucesso, na mais alta resolução, resultando numa nuvem esparsa com 138.981 pontos convergentes. Em seguida criou-se uma nuvem densa de pontos, em resolução ultra alta, da qual resultaram 3.707.120 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obteve-se uma malha poligonal 3D com 741.424 faces representativa da geometria do artefacto lítico, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

**Tabela 32 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D da peça n.º 64.207 proveniente da coleção lítica do sítio Alice Boer, SP. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

<b>Etapa</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Tempo</b>	<b>Pontos/Faces</b>
Número de fotos	128/128(total/alinhadas)	24 m (aquisição em laboratório)	-----
Máscaras	-----	1h04m	-----
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta +	9m38s (Parte A) 11m (Parte B)	138.981 pontos
Nuvem densa	Ultra alta	16m12s (Parte A) 18m37s (Parte B)	3.707.120 pontos
Mesh	Ultra alta	1m33s	741.424 faces
Textura	20,000 x 20,000	6m40s	-----
Ortomosaico	-----	13s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>2h26m53s</b>	-----

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 2h26m53s, a fase mais demorada foi a de aplicação de máscaras nos dois conjuntos de imagens para criação das nuvens de pontos, onde cada máscara demorou em média meio minuto a ser aplicada, totalizando 1h04m. Obtendo-se um registro de 128 fotografias, mais um registro gráfico de alta resolução através da ortofoto retificada do artefacto lítico (figura 74). O modelo 3D gerado pela técnica fotogramétrica permite ainda que este sirva de base para análises arqueométricas da peça. Como nos casos anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. O modelo 3D da peça n.º 64.207 pode ser visualizado no link: (<https://skfb.ly/6A9ZX>).

## Coleção Alice Boer

### Peça nº 64.207 - Raspador Plano Convexo (Lesma)

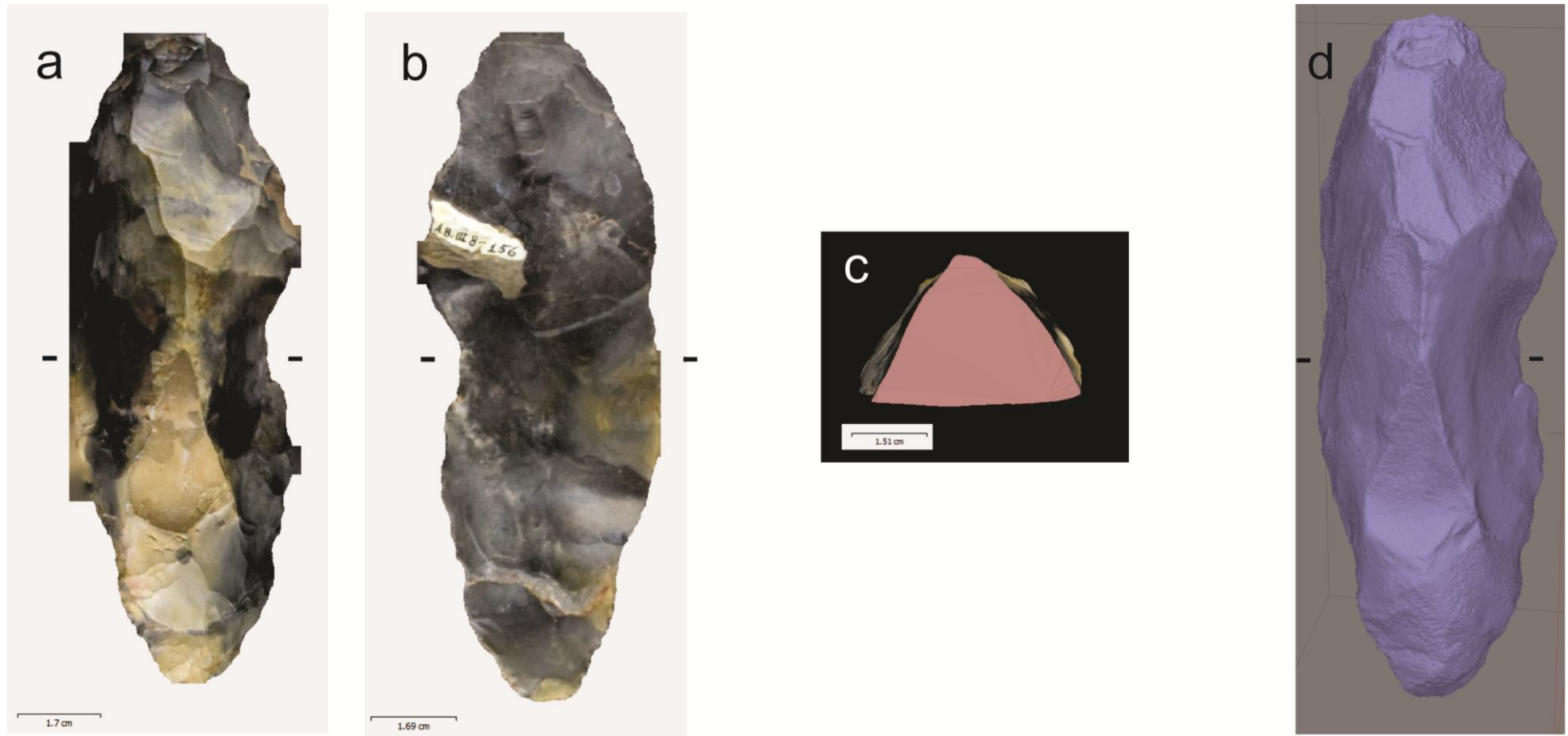
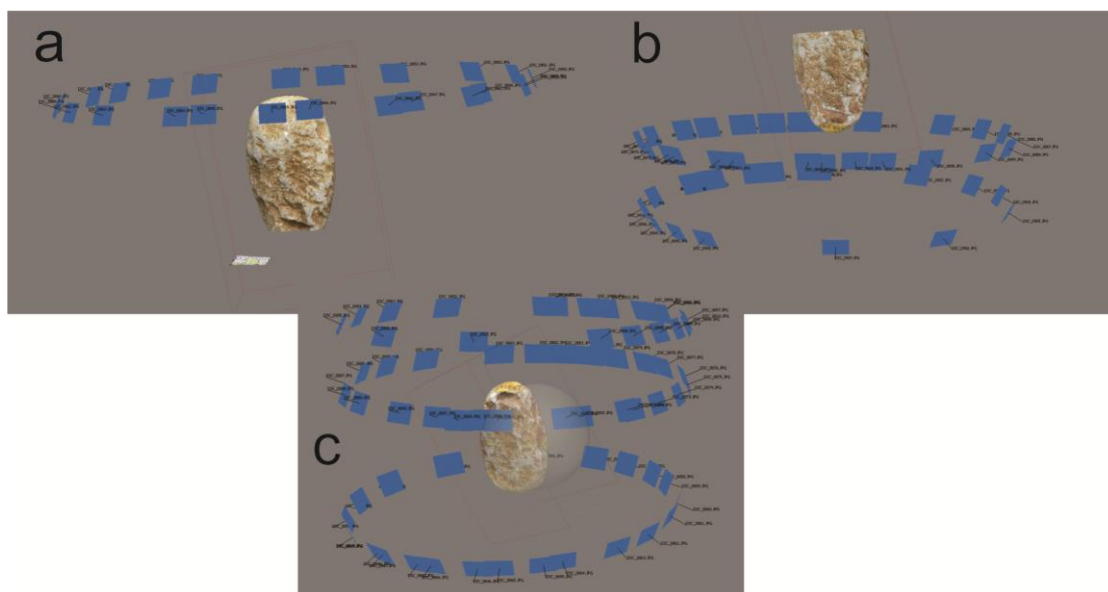


Figura 75 - a) Verso. b) Anverso. c) Corte medial. d) Modelo 3D com relevo em destacado.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

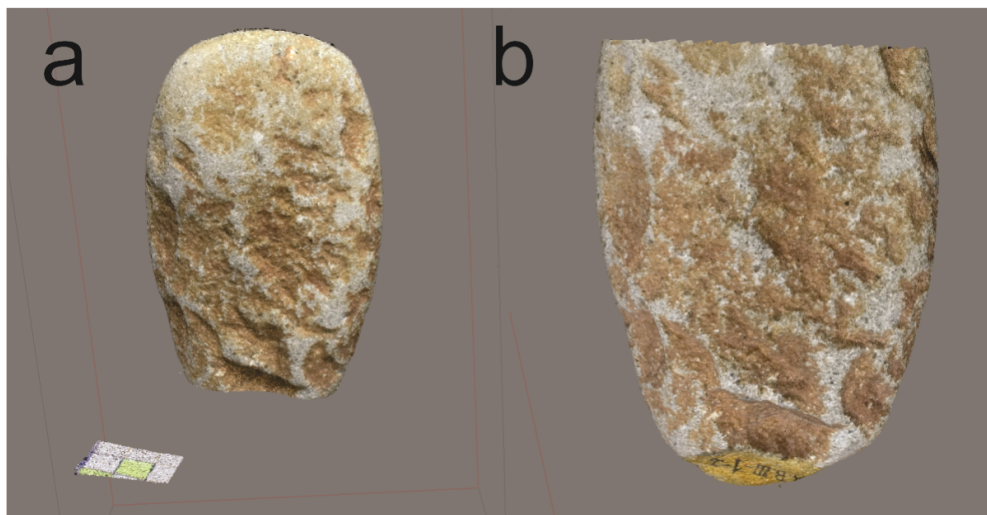
#### 4.6.2 Peça nº 64.208 - Machado Polido

Foi realizado um levantamento fotogramétrico da peça n.º 64.208 no dia 03 de janeiro de 2017, totalizando um conjunto de 69 fotos. Neste caso foi novamente aplicada a metodologia de levantamento fotogramétrico de pequenos objetos para o levantamento da peça lítica, ambos os lados da peça foram fotografados sobre uma plataforma giratória com a câmera fixa e girando a peça sobre o eixo (figura 76). Devido ao lado do encabamento da peça (figura 76b) apresentar mais detalhe do que o lado do gume do machado (figura 76a) este foi alvo de um número maior de fotografias.



**Figura 76 - Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de pontos da parte 2. c) Nuvem densa de pontos após alinhamento das duas partes.**

Desta forma, as fotos foram conseguidas em duas tomadas (24/45 fotos) que correspondem aos dois lados da peça (figura 77). Cada conjunto foi posteriormente alinhado no *Photoscan* na qualidade mais alta criando-se duas nuvens de pontos densas as quais foram alinhadas após remoção da base (76c).



**Figura 77 - a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de parte 2.**

Através de 4 pontos de controle identificados nas duas partes do modelo, foi possível alinhar e combinar as duas nuvens densas de pontos (ver figura 78). Com outros 2 pontos criou-se uma escala de 1cm (figura 78a), usando como referência a base rotatória milimétrica, que serviu para colocar o modelo em escala, apresentando um erro de distorção de 0 mm (Tabela 33).

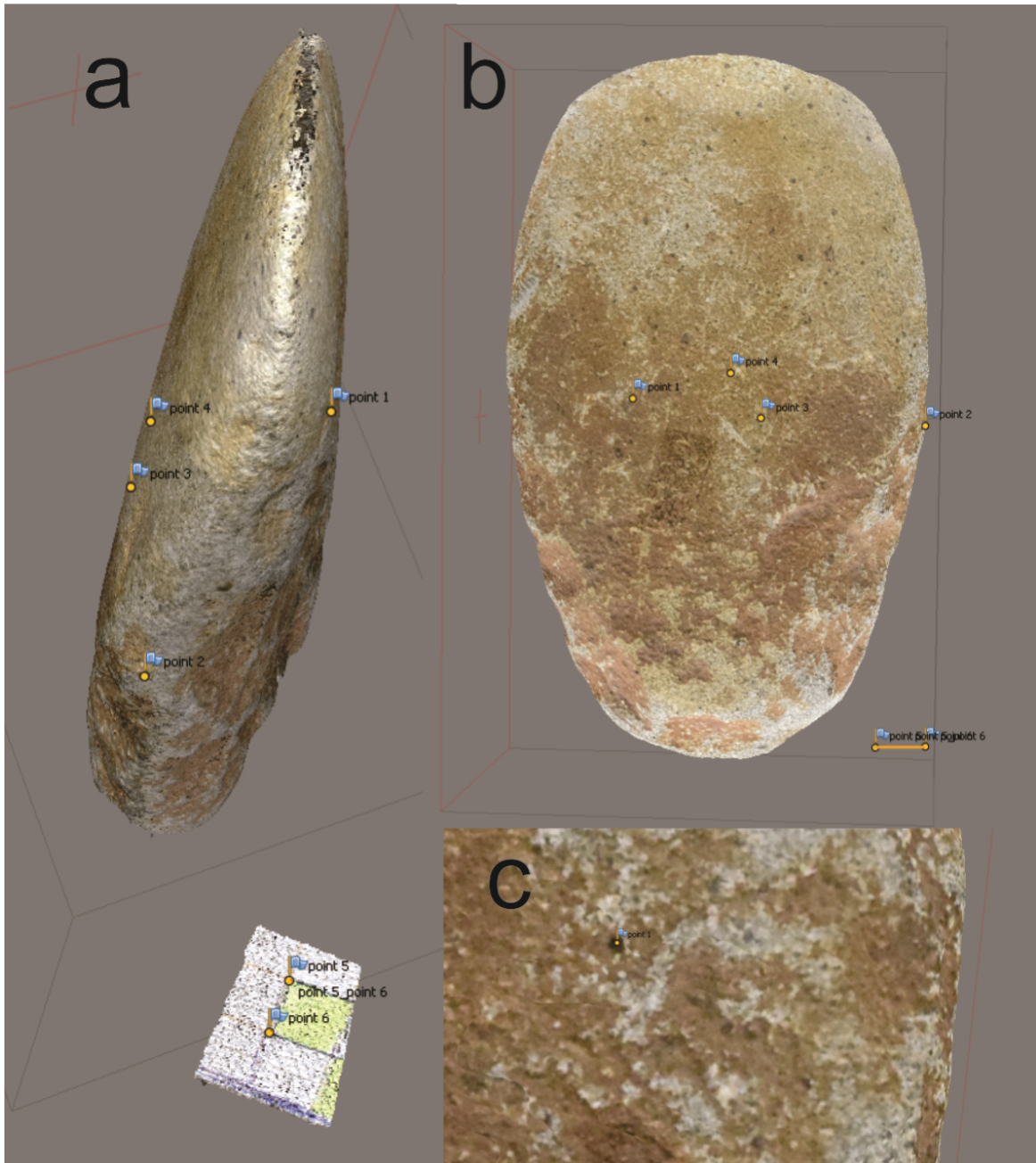


Figura 78 - a) Vista lateral da nuvem densa de pontos da peça nº 64.208, onde são visíveis os pontos (1 ao 4) usados para alinhamento das duas partes da peça. Na parte inferior da imagem podemos ver os pontos 5 e 6 que foram utilizados para criar a escala de 1 cm, b) Modelo texturizado com os marcadores evidenciados. Note-se que a base giratória milimetrada que serviu de escala foi apagada antes das fases de criação de malha poligonal e aplicação de textura, mas ainda é possível verem-se os pontos que serviram de referência para colocar a escala o modelo. c) Os pontos foram colocados usando marcas naturais presentes na patina da peça.

Tabela 33 - Apresenta a distância e margem de erro da régua de 1cm criada através da base milimétrica rotatória.

Escala	distância (m)	erro (m)
point 1_point 2	0.01	0.000000
<b>TOTAL</b>		<b>0.000000</b>

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Esta margem de erro foi confirmada através da comparação entre medidas tomadas diretamente na peça e no modelo (figura 79 e tabela 34). Com exceção do comprimento que apresentou uma discrepância de 3 mm, que pensamos que possa ser atribuída ao mau posicionamento do taquímetro, as restantes medidas efetuadas no modelo 3D não só coincidiram, como ainda refinaram o grau de detalhe da medição trazendo mais uma casa decimal ao registro.



Figura 79 - Medidas tomadas no modelo 3D. a) Comprimento. b) Largura. c) Marca de registro.



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 34 - Apresenta medidas tiradas na peça física e no modelo 3D**

Medidas	Artefato (cm)	Modelo 3d (cm)
Comprimento	12.1	12.4
Largura	7	7.07
Marca (A.B.III 8 - 156)	1.3	1.36

Como podemos verificar através da Tabela 35, após o processamento dos dados todas as 128 fotografias foram alinhadas com sucesso, na mais alta resolução, resultando numa nuvem esparsa com 69,242 pontos convergentes. Em seguida criou-se uma nuvem densa de pontos, em resolução ultra alta, da qual resultaram 4.512.900 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obteve-se uma malha poligonal 3D com 902,580 faces representativa da geometria do artefacto lítico, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

**Tabela 35 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D da peça n.º 64.208 proveniente da coleção lítica do sítio Alice Boer, SP. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

Etapa	Qualidade	Tempo	Pontos/Faces
Número de fotos	69/69(total/alinhadas)	15 m (aquisição em laboratório)	-----
Máscaras	-----	34m30s	
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta +	1m56s (Parte A) 5m33s (Parte B)	69,242 pontos
Nuvem densa	Ultra alta	1m18s (Parte A) 3m35s (ParteB)	4,512,900 pontos
Mesh	Ultra alta	2m06s	902,580 faces
Textura	20,000 x 20,000	5m15s	-----
Ortomosaico	-----	9s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>1h9m22s</b>	-----

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 1h9m22s, também neste caso a fase mais demorada foi a de aplicação de máscaras nos dois conjuntos de imagens para criação das nuvens de pontos onde cada máscara demorou em média meio minuto a ser aplicada, totalizando 34m30s. Obtendo-se um registro de 128 fotografias, mais um registro gráfico de alta resolução através da ortofoto retificada do artefacto lítico (figura 80). O modelo 3D gerado pela técnica fotogramétrica permite ainda que este sirva de base para análises arqueométricas da peça. Como nos casos anteriores o modelo 3D foi ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. O modelo 3D da peça n.º 64.207 pode ser visualizado no link: (<https://skfb.ly/6Aunr>).

Coleção Alice Boer  
Peça nº 64.208 - Machado

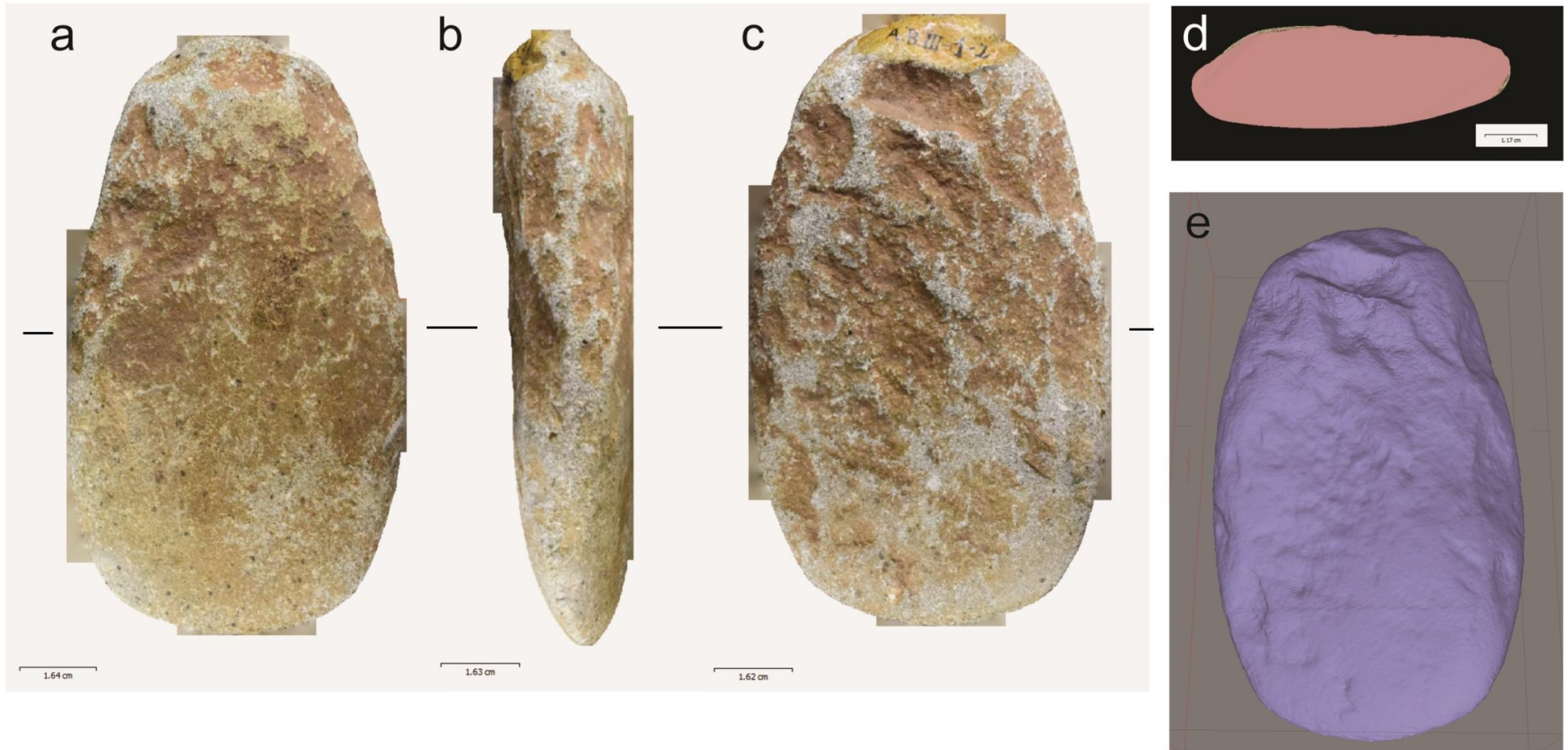


Figura 80- a) Verso. b) Lateral. c) Anverso. d) Corte medial. e) Modelo 3D com relevo em destacado.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

### 4.6.3 Peça nº 64.195 - Ponta de Seta em quartzo branco

Foi realizado um levantamento fotogramétrico da peça n.º 64.195 no dia 03 de janeiro de 2017, totalizando um conjunto de 57 fotos. Neste caso foi aplicada a metodologia de levantamento fotogramétrico de pequenos objetos para o levantamento da peça lítica, ambos os lados da peça foram fotografados sobre uma plataforma giratória com a câmera fixa e girando a peça sobre o eixo realizando-se apenas uma rodada para cada lado da peça devido ao seu tamanho (figura 81).

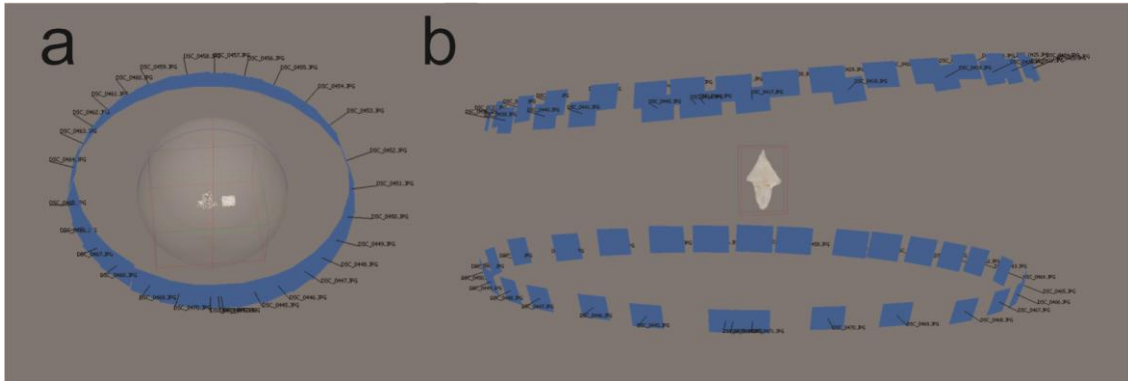


Figura 81 - Localização das câmeras, cada retângulo azul representa uma fotografia. a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de pontos após alinhamento das partes 1.

O total de fotografias foi alcançado em duas tomadas (28/29 fotos) que correspondem aos dois lados da peça (figura 82). Cada conjunto foi alinhado no *Photoscan* na qualidade mais alta criando-se duas nuvens de pontos esparsas as quais foram alinhadas após remoção da base.

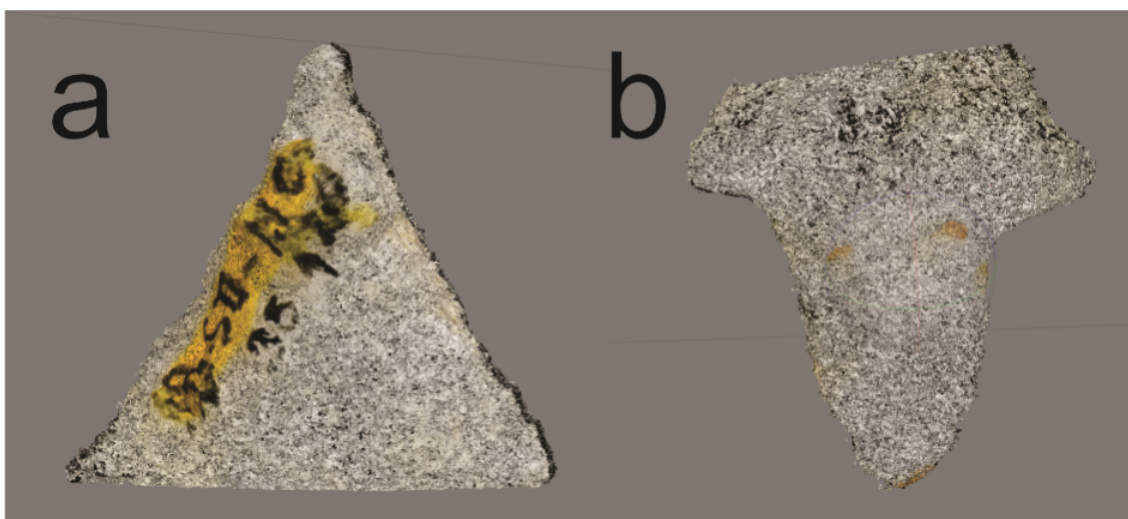


Figura 82 - a) Nuvem densa de pontos da parte 1. b) Nuvem densa de parte 2.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Através de 7 pontos de controle identificados nas duas partes do modelo, foi possível alinhar e combinar as duas nuvens densas de pontos (ver figura 83a). Com outros 2 pontos criou-se uma escala de 1cm, usando como referência a base rotatória milimétrica, que serviu para colocar o modelo em escala, apresentando um erro de distorção de 0 mm (Tabela 36).

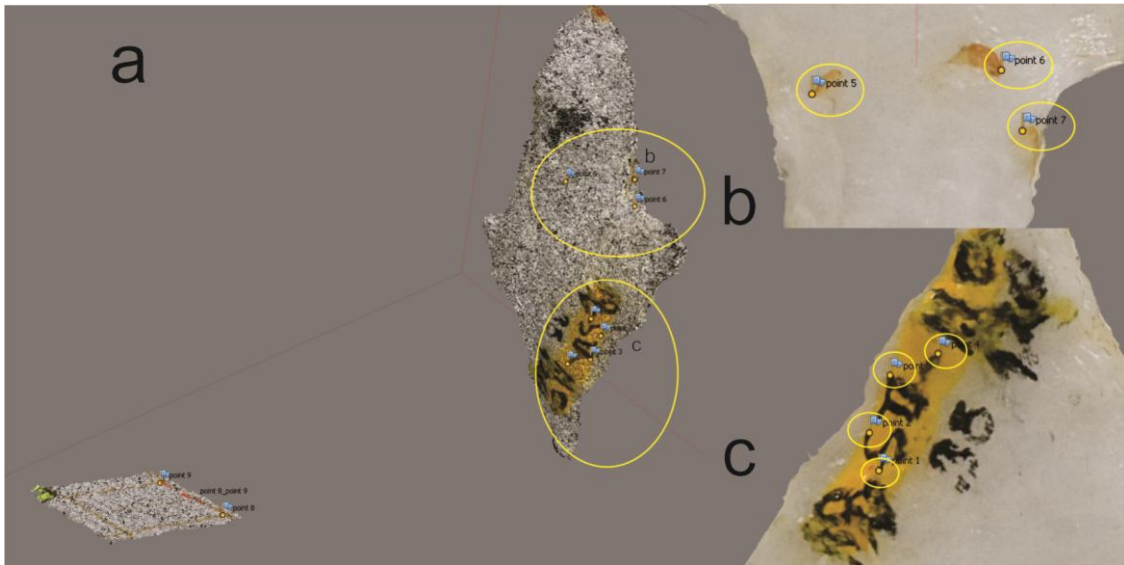


Figura 83 - a) Verso da peça lítica, com os pontos 5, 6 e 7 usados para alinhamento das duas partes. À esquerda da imagem podemos ver os pontos 8 e 9 que foram utilizados para criar a escala de 1 cm. b) Anverso da peça lítica com os pontos. c) Pontos (1 ao 4) no verso da peça aproveitando a marca como referência.

Tabela 36 - Apresenta a distância e margem de erro da régua de 1cm criada através da base milimétrica rotatória.

Escala	distância (m)	erro (m)
point 1_point 2	0.01	0.000000
<b>TOTAL</b>		<b>0.000000</b>

Mais uma vez, a margem de erro pode ser confirmada através da comparação entre medidas tomadas diretamente na peça e no modelo (tabela 37 e figura 84). Nesta peça apenas foram tomadas as medidas de comprimento e largura. A marca de registro encontrava-se de difícil leitura tendo sido desconsiderada.

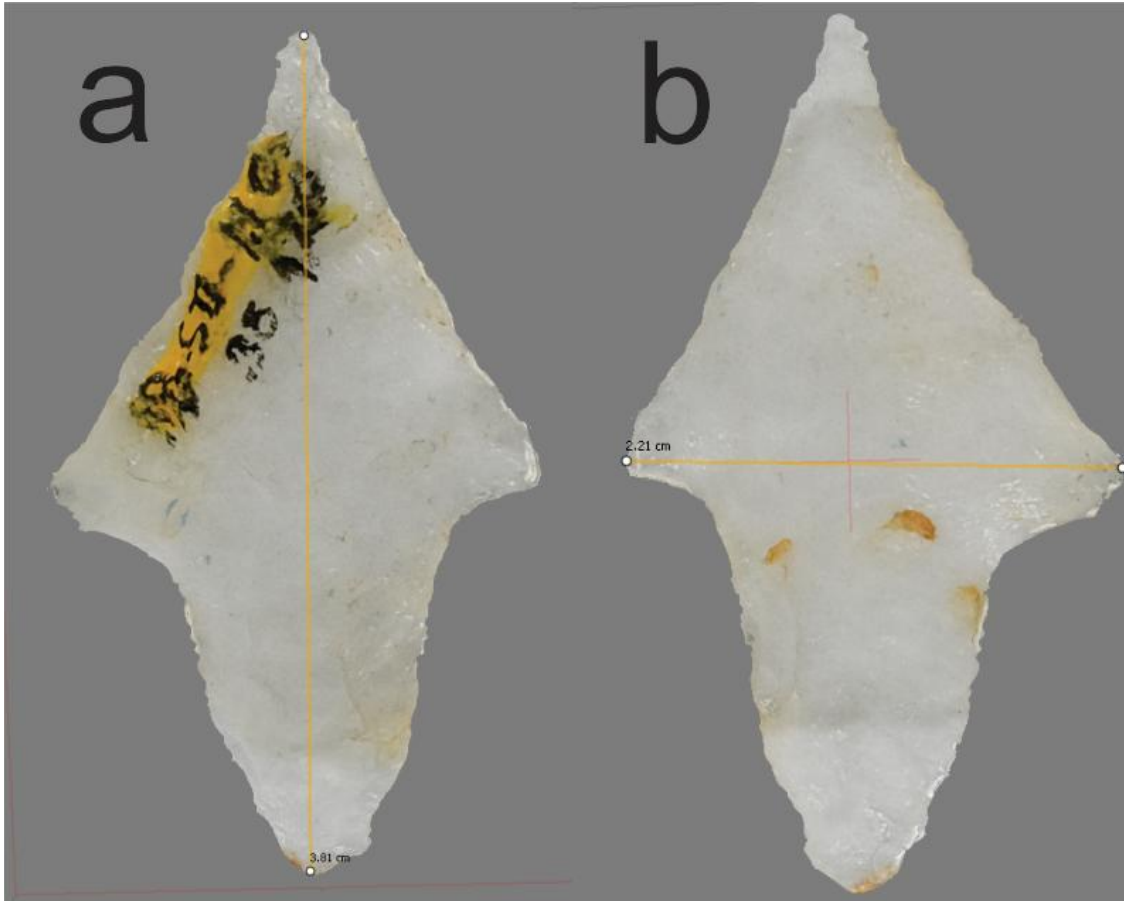


Figura 84 - Medidas tomadas no modelo 3D. a) Comprimento. b) Largura.

Tabela 37 - Apresenta medidas tiradas na peça física e no modelo 3D

Medidas	Artefato (cm)	Modelo 3d (cm)
Comprimento	3.8	3.81
Largura	2.2	2.21
Marca (A.B.III 8 - 156)	-----	-----

Como podemos verificar através da Tabela 38, após o processamento dos dados todas as 57 fotografias foram alinhadas com sucesso, na mais alta resolução, resultando numa nuvem esparsa com 46,431 pontos convergentes. Em seguida criou-se uma nuvem densa de pontos, em resolução ultra alta, da qual resultaram 1.517.505 pontos de convergência entre as fotografias processadas. Da conexão desses pontos obteve-se uma malha poligonal 3D com 326,836 faces representativa da geometria do artefacto lítico, tendo sido aplicada sobre esta uma textura foto realista.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

**Tabela 38 - Síntese do processo de elaboração do modelo 3D da peça n.º 64.207 proveniente da coleção lítica do sítio Alice Boer, SP. Este modelo foi realizado com o computador MSI.**

<b>Etapa</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Tempo</b>	<b>Pontos/Faces</b>
Número de fotos	57/57(total/alinhadas)	12 m (aquisição em laboratório)	-----
Mascarás	-----	28m30s	
Alinhamento e nuvem esparsa	Alta +	2m33s (Parte A) 2m45s (Parte B)	46,431 pontos
Nuvem densa	Ultra alta	1m24s (Parte A) 1m28s (Parte B)	1,517,505 pontos
Mesh	Ultra alta	1m10s	326,836 faces
Textura	20,000 x 20,000	2m36s	-----
Ortomosaico	-----	4s	-----
<b>TOTAL</b>	-----	<b>52m27s</b>	-----

Relativamente ao tempo despendido obtivemos um total de 57m27s, mais uma vez a fase mais demorada foi a de aplicação de máscaras nos dois conjuntos de imagens para criação das nuvens de pontos onde cada máscara demorou em média meio minuto a ser aplicada, totalizando 28m30s. Gerando-se um registro gráfico de alta resolução, composto de 57 fotografias e ortofoto retificada do artefacto lítico (figura 85). Como nos casos anteriores o modelo 3D pode servir de base para análises arqueométricas e ainda exportado em arquivo formato Obj. e PDF 3D. O modelo 3D da peça n.º 64.195 pode ser visualizado no link: (<https://skfb.ly/6AunL>).

## Coleção Alice Boer

### Peça nº 64.195 - Ponta de Seta (Quartzo Branco)

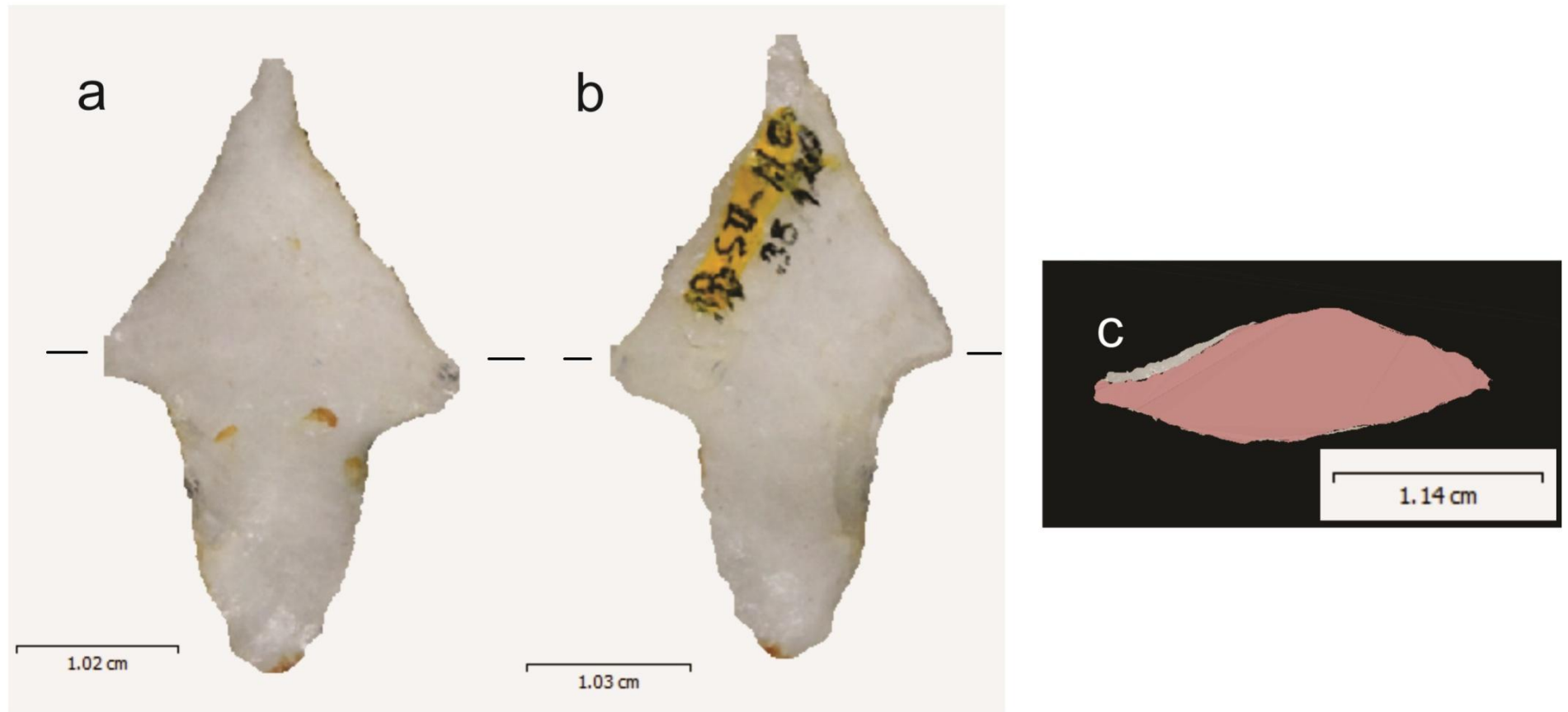


Figura 85 - a) Verso. b) Lateral. c) Anverso. d) Corte medial.

## Capítulo 5 - Discussão e aplicabilidades

Ao longo do capítulo 4 vimos como é possível obter modelos 3D a partir de conjuntos de fotografias e de como estes podem servir para a criação de ilustrações e mapas no âmbito de trabalhos arqueológicos. Esta documentação gráfica constitui uma parte significativa da documentação e preservação do Patrimônio Cultural Arqueológico, sendo que o modelo 3D vem acrescentar uma terceira dimensão ao registro, tornando-o assim ainda mais completo.

Neste capítulo iremos discutir os pontos positivos e negativos da fotogrametria embasando-os, sempre que possível, nos estudos de caso apresentados. Posteriormente, iremos apresentar outras aplicabilidades dos modelos 3D sejam elas para fins de pesquisa como ferramenta analítica e/ou interpretativa; de difusão ou até mesmo de conservação/restauro.

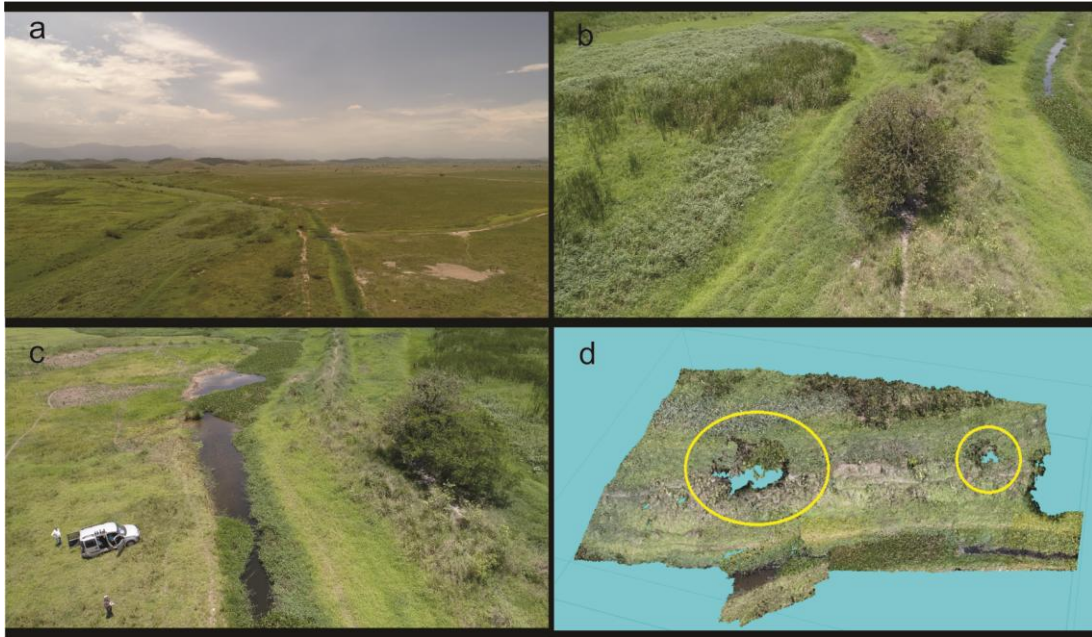
### 5.1 Pontos negativos

O maior problema da fotogrametria está relacionado com as suas limitações no que diz respeito à captura de cenas com vegetação, cordas, superfícies reflexivas ou transparentes que impedem uma boa modelagem 3D. Estas deformidades acontecem devido a limitações técnicas do *software*, mas à medida que este evolui os problemas tendem a ser resolvidos.

Por exemplo, o modelo do sítio Amourins apresentou distorção nas áreas de maior vegetação criando buracos no modelo (fig. 86).

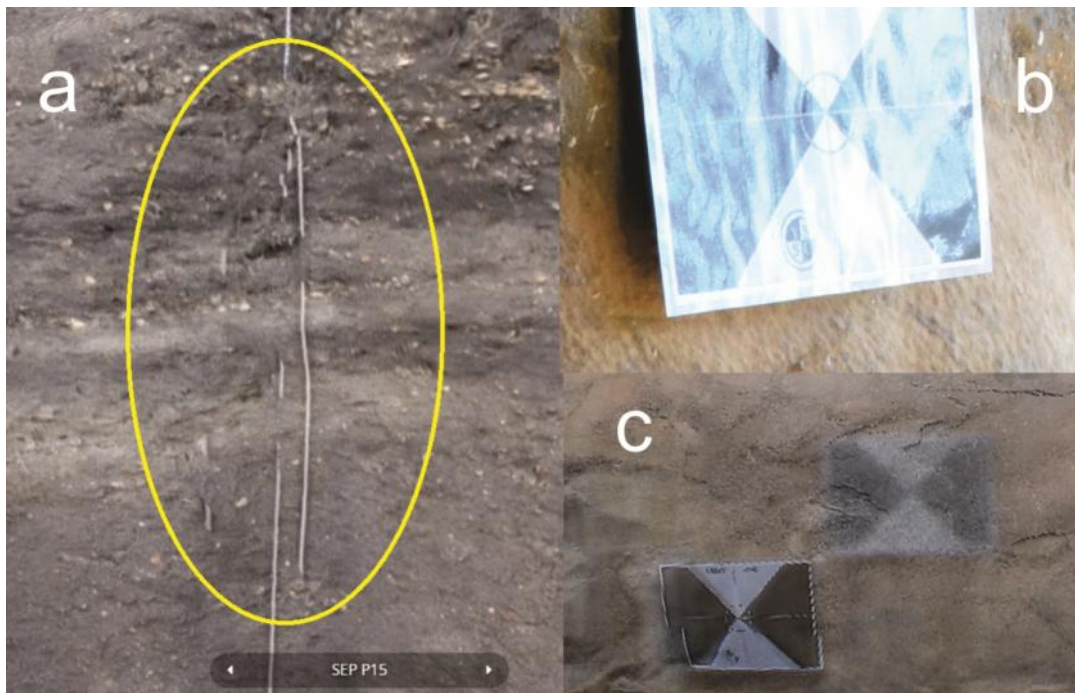


“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.



**Figura 86 - a/b/c) Vista aérea da área do sambaqui de Amourins onde é possível vermos a vegetação alta; d) modelo 3D do sítio onde é possível vermos os buracos na nuvem densa de pontos resultantes das áreas com maior vegetação.**

Já no Sambaqui de Cabeçada, em um dos modelos do perfil 1, foram colocados barbantes sobre o perfil e estes saíram distorcidos (fig.87a). E nos levantamentos dos painéis de arte rupestre os alvos apresentaram problemas devido a reflexividade ou deslocamento destes durante a tomada fotográfica (fig. 87b e 87c).



**Figura 87 - a) Distorção das cordas. b) Reflexo dos alvos devido ao fato de este ser plastificado. c) Alvo repetido devido ao seu deslocamento durante a aquisição das fotos.**

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Outro problema que destacamos é o da iluminação que necessita ser difusa para uma boa apresentação da textura. A projeção de sombras sobre o modelo pode criar dificuldades de leitura das cores das camadas estratigráficas, já que diferenças de luz podem causar colorações distintas entre as partes do modelo. De forma a minimizar este ponto sugerimos que os registros sejam realizados preferencialmente em dias nublados e de forma contínua, sem interrupções, para garantir uma incidência de luz o mais constante possível, minimizando as discrepâncias de cor na textura do modelo.

Um dos inconvenientes da técnica é a impossibilidade de detectar algum erro no modelo até o processamento das imagens ter terminado, o que muitas vezes só acontece no dia seguinte, podendo representar em termos arqueológicos uma alteração significativa numa área de escavação. Caso os dados estejam incompletos poderão existir lacunas e distorções que poderão comprometer o modelo.

Isso significa que, em termos práticos, para que a técnica fotogramétrica tenha bom resultado é necessário que o arqueólogo responsável pelo registro tenha boas noções de como os equipamentos funcionam na aquisição das imagens, mas também de como o *software*, neste caso o *Photoscan*, extrai pontos em comum das imagens para recriar o ambiente espacial, ou seja, de como o algoritmo Sfm funciona, de forma a realizar uma cobertura fotográfica que contemple todas as oclusões.

Um caso específico em que as noções de operação do equipamento foram fulcrais foi no levantamento aéreo de Cabeçuda através de *drone*. O aparelho estava programado para realizar um voo autónomo sobre a área do sítio arqueológico. O plano de voo havia sido previamente preparado e carregado para o aplicativo *Drone Deploy*. Contudo, já no local o *drone* solicitou atualizações de *firmware* e o aparelho não conseguiu conexão com o *Drone Deploy*, impossibilitando o voo autónomo, o que obrigou à sua pilotagem manual.

Um outro fator negativo desta metodologia é o grande volume de dados que este gera. As imagens são obtidas através de câmeras DSLR em alta resolução, de forma a garantir a sua reutilização, o que leva à produção de grandes quantidades de dados e consequentemente à necessidade de comprar muitos suportes de armazenamento. Além de que não podemos garantir que os atuais suportes, como discos rígidos, DVDs, pen drives e cartões não se tornem obsoletos no futuro e que as novas plataformas sejam capazes da leitura destes.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Destacamos ainda que os equipamentos eletrônicos usados no registro fotogramétrico, como câmera fotográfica, *drone* e computador, apesar de resistentes são propensos a avarias devido ao seu uso e exposição aos elementos, como água e poeira, em campo. Desta forma, sugerimos que existam sempre que possível equipamentos de reserva para prevenir este tipo de situações.

Por último, o uso exclusivo de aparelhos eletrônicos para a aquisição e processamento dos dados pode conduzir a uma falta de prática, ou até mesmo a um esquecimento, dos métodos convencionais de registro. Criando uma relação de dependência direta dos arqueólogos dos aparatos digitais para a realização do registro arqueológico. Esse é um dos motivos pelo qual acreditamos que a fotogrametria não deve substituir os métodos tradicionais analógicos mas sim agregar ao registro como ferramenta complementar.

## 5.2 Pontos positivos

Através dos estudos de caso apresentados no capítulo anterior, pudemos verificar que a fotogrametria é uma ferramenta complementar, que pode diminuir drasticamente a quantidade de tempo normalmente requerido no registro arqueológico. Ao mesmo tempo que fornece uma documentação tridimensional de qualidade visual e analítica de maior qualidade em relação às técnicas convencionais.

A precisão dos modelos foi algo que também ficou bem evidente nos casos apresentados. Grandes áreas como o Sambaqui Amourins ou a Polinter 1 apresentaram distorções na ordem dos centímetros. Enquanto que áreas menores como os perfis e áreas de escavação de Cabeçuda; o bloco de sepultamento de Amourins e os painéis de arte rupestre, entre outros, exibiram distorções na ordem dos milímetros. Chegando mesmo a uma distorção inferior aos milímetros para peças mais pequenas como os líticos da coleção Alice Bôer.

De fato, a técnica em apreciação demonstrou que consegue registrar a múltiplas escalas, que vão desde sítios arqueológicos até pequenos artefatos. Permitindo um registro de todas as fases de um trabalho de campo (prospecção/escavação), bem como os trabalhos em laboratório. Somando-se a este fato, demonstramos que a técnica fotogramétrica pode ser aplicável tanto no âmbito da arqueologia acadêmica como na arqueologia de contrato.

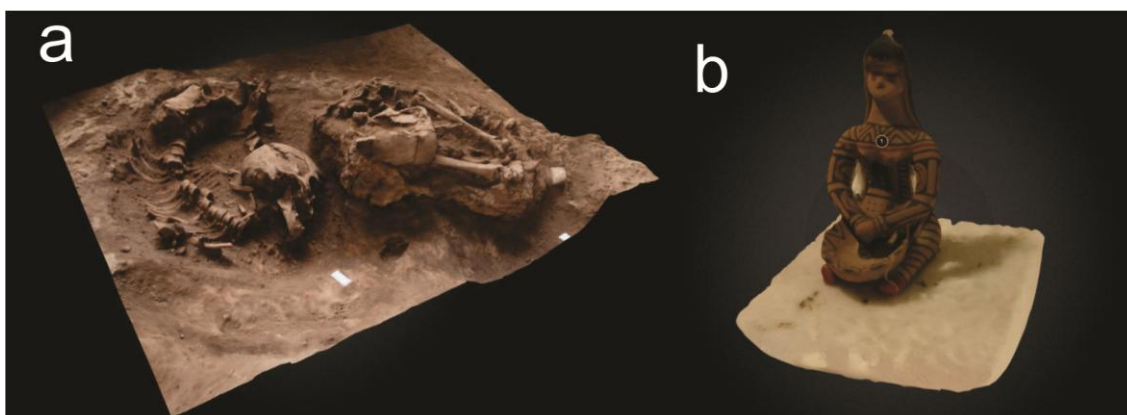
“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Além disso, a fotogrametria mostra ser uma técnica de fácil integração no fluxo de trabalho arqueológico, permitindo o registro de áreas de escavação, perfis ou até mesmo estruturas, sepultamentos e artefatos *in situ*. Visto que o registro arqueológico já necessitaria de um tempo para o desenho arqueológico, a técnica não prejudica ou acarreta aumento de tempo, tendo sido esse um dos motivos que estiveram na sua escolha como método de registro na campanha arqueológica de 2017 do Sambaqui de Cabeçuda, bem como nos trabalhos da Transoceânica:

- permitindo uma maximização do tempo despendido, em campo, no registro gráfico dos perfis, estruturas e áreas de escavação;
- agilizando todo o processo de registro;
- resgatando a tridimensionalidade das áreas escavadas.

Outro fator a ter em conta é o baixo custo dos equipamentos, sendo apenas necessária uma câmera fotográfica digital para registro em campo e um computador para pós processamento das fotos e criação dos modelos 3D. Se juntarmos a isso a grande portabilidade que a câmera fotográfica oferece, chegamos à conclusão que a técnica é uma excelente opção para o registro arqueológico 3D, quando comparada com outros equipamentos necessários para a obtenção do mesmo tipo de registro. Salientamos ainda que no caso do sambaqui de Cabeçuda foi utilizado um computador de características e desempenho inferiores à máquina utilizada para elaboração dos modelos desta dissertação, permitindo mesmo assim gerar modelos e ortofotos de um dia para o outro. O que possibilitou que estes fossem usados como ferramenta analítica complementar em campo, facilitando o registro dos perfis através do uso das ortofotos retificadas como base gráfica para o seu desenho.

Outra vantagem que a técnica apresenta é o fato de ser um método de registro indireto, ou seja, não necessita tocar no objeto alvo de registro nem impacta materiais sensíveis, como foi o caso dos ossos humanos presentes no bloco de sepultamento de Amourins, ou de peças cerâmicas com caixi na composição da sua pasta, que por causarem irritação na pele são de difícil manipulação (figura 88).



**Figura 88 - Exemplos de materiais que devido à sua fragilidade ou dificuldade de manipulação beneficiaram com o registro indireto proporcionado pela técnica fotogramétrica. a) Modelo 3D de um sepultamento da Lapa do Santo, MG. b) Modelo 3D de boneca Karajá<sup>25</sup>.**

Além do mais, é reutilizável, já que as fotografias que compõem a base do registro fotogramétrico oferecem a possibilidade de refazer o modelo fotogramétrico com melhor resolução e em velocidades mais rápidas no futuro. Um exemplo claro do potencial de reutilização de fotos foi apresentada no caso de estudo da área de escavação Polinter 1, no âmbito do projeto Porto Maravilha, onde fotos aéreas obtidas sem propósitos fotogramétricos, apenas como registro fotográfico da área de escavação, foram utilizadas para gerar modelos 3D da área e ortofotomapas agregando tridimensionalidade ao registro arqueológico. Através deste caso comprovamos que é possível reaproveitarmos registros de trabalhos arqueológicos pretéritos para resgatar a tridimensionalidade dos sítios registrados.

De fato, como referimos no início do capítulo, a principal vantagem que este tipo de registro oferece é a inclusão de uma terceira dimensão ao registro. Esta dimensão adicional permite observar o objeto a partir de múltiplas perspectivas e ter uma melhor noção da profundidade dos objetos ou áreas de estudo quando comparadas com os registros gráficos 2D, potencializando a sua análise e conseqüentemente contribuindo para uma melhor formulação de hipóteses interpretativas (figura 89).

<sup>25</sup> Estes modelos 3D fazem parte do acervo digital do autor, podendo ser visualizados através do link: <https://sketchfab.com/archeodrone/models>.

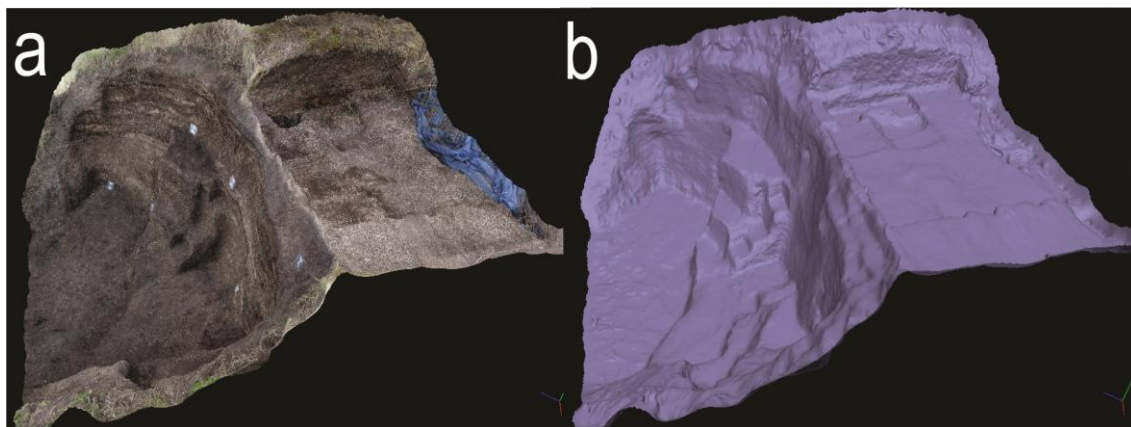
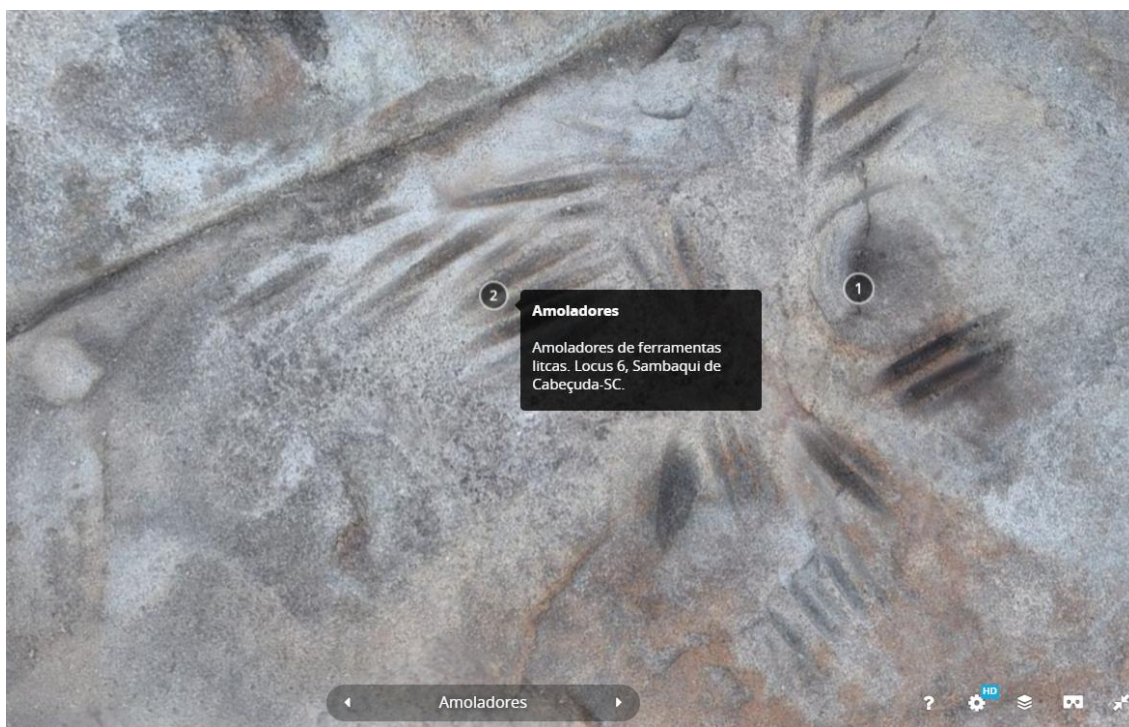


Figura 89 - Exemplo da otimização de visualização de profundidade que as múltiplas vistas do modelo 3D oferecem: a) vista da textura foto realista do modelo; b) vista da *mesh* do modelo.

Neste sentido a qualidade dos modelos depende diretamente do seu objetivo final, ou por outras palavras, da análise geométrica pretendida. Um exemplo prático são os painéis de arte rupestre e a oficina lítica do Sambaqui de Cabeçuda usados como caso de estudo nesta dissertação em que, por se tratarem de gravuras, foi dada maior atenção à qualidade geométrica do que à textura do objeto, usamos para isso um maior número de fotografias no levantamento deste tipo de suporte pétreo, principalmente nas áreas das gravuras, de forma registrá-las com o máximo detalhe possível. Já no caso das pinturas da Cerca Grande e dos perfis de Cabeçuda foi dado maior destaque à qualidade da textura do objeto, visto que o objetivo final destas seriam análises das figuras rupestres e da estratigrafia, respectivamente.

A sua exportação em múltiplos formatos e manipulação dos modelos 3D fazem, também, da fotogrametria uma ferramenta flexível. Um exemplo claro desta flexibilidade é o formato (Obj.), que permite a reedição do modelo em resoluções mais altas, caso se tenha acesso a um computador com mais capacidade de processamento, bem como o processamento deste em outros *softwares*. Já o formato PDF 3D permite a visualização do modelo em qualquer computador que tenha a última versão do Adobe Reader, a qual suporta este tipo de arquivo e é gratuita. Além disso, após subir os modelos no Sketchfab é possível editá-los de forma a que estes sirvam como meios de difusão, acrescentando informações aos modelos com fins educacionais/pedagógicos ou como forma de difusão do Patrimônio Arqueológico entre pesquisadores (figura 90).

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.



**Figura 90 - Através do registro digital é possível agregar informações ao modelo. Na imagem podemos ver um close-up dos amoladores da oficina lítica do Sambaqui de Cabeçuda, SC.**

Por último, a digitalização do Património Arqueológico é uma forma que confere durabilidade ao registro, devido ao seu armazenamento ser digital, podendo facilmente ser copiado e transferido.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

### 5.3 Aplicações dos modelos 3D

Através dos estudos de caso demonstramos como os modelos 3D podem complementar o registro no âmbito da Arqueologia, permitindo a criação de documentação gráfica 2D para trabalhos arqueológicos, como mapas e ilustrações.

Contudo, a digitalização de bens culturais é uma ferramenta complementar que pode auxiliar diversas outras áreas do Patrimônio Cultural, nomeadamente:

- para o estudo das propriedades geométricas das peças como ferramenta de análise e interpretação;
- como meio de difusão entre pesquisadores e destes com o público em geral;
- servindo ainda como forma de monitoramento e restauro do Patrimônio Cultural.

Desta forma, dividiremos as aplicações consoante o seu objetivo: documentação gráfica, análise/interpretação, difusão e restauro.

#### 5.3.1 Documentação gráfica

Serve para ilustrar os trabalhos arqueológicos, através de: mapas, planos, perfis e desenhos de artefatos. Apresenta-se como uma forma de registro que permite criar documentação gráfica de uma forma rápida e precisa, conferindo uma melhor leitura da profundidade relativamente as formas de registro tradicionais 2D.

Ao longo do capítulo 4, através dos estudos de caso demonstramos como a técnica fotogramétrica pode servir para documentar trabalhos arqueológicos. Razão pela qual não nos deteremos mais neste ponto de momento.

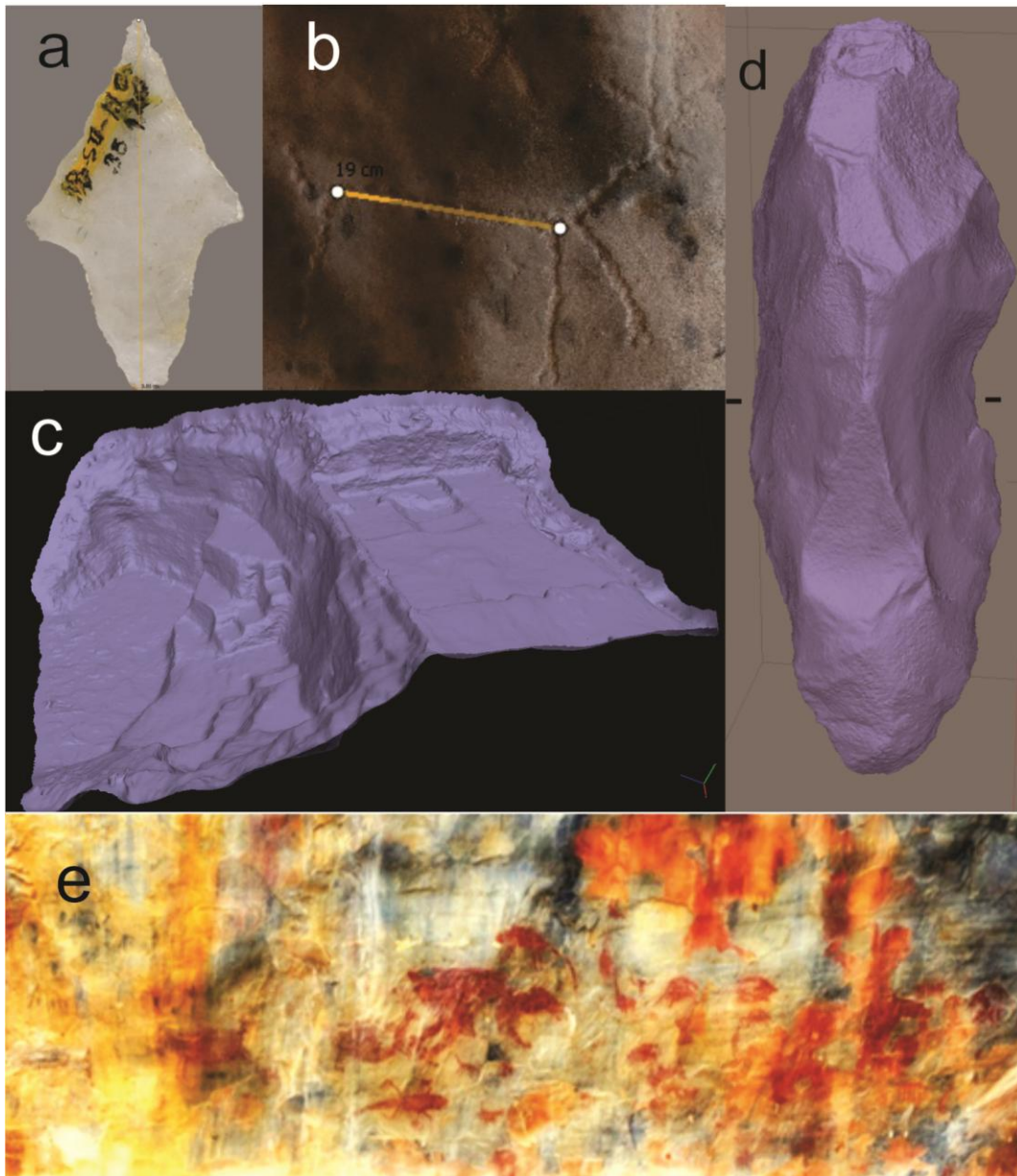
#### 5.3.2 Ferramenta de análise e interpretação

No que se refere à análise os modelos 3D, permite a manipulação dos seus avatares digitais proporcionando uma visão 360° do objeto de estudo, com possibilidade de *close-up*, de criação de seções, além da tomada de medidas precisas (cálculo de área, cálculo de volumes, tamanho, altura, entre outras - ver figura 91a e 91b), sem contato direto com o objeto e proporcionando uma melhor leitura da profundidade (figura 90c e



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

90d), completando o registro gráfico convencional e permitindo condensar sobre o modelo informações que auxiliam no processo interpretativo.



**Figura 91 - a/b) Exemplos de medições de peças através do modelo 3D; c/d) O modelo permite uma melhor noção de profundidade da geometria de sítios e artefato; e) A aplicação de filtros permite manipular as cores realçando figuras, permitindo uma melhor leitura dos grafismos.**

Com base nas ortofotos geradas a partir dos modelos 3D, vimos como é possível realçar texturas, manipulando-as através da aplicação de filtros (figura 91e), permitindo-nos ter uma análise mais clara das figuras representadas. Pode-se inclusive realçar figuras que são, muitas vezes, quase imperceptíveis a olho nu devido ao desgaste da patina, ou mudar a incidência de iluminação sobre os modelos virtuais através de *softwares* de edição.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Em casos como o da Oficina Lítica de Cabeçuda ou dos painéis de arte rupestre de Lagoa Santa, onde temos estruturas que se encontram ao ar livre, expostas aos elementos e sujeitas a bioturbações e depredações antrópicas (figura 92), o modelo 3D é de suma importância, pois permite-nos ter informação geométrica detalhada de um painel em diferentes momentos de forma a gerar informações sobre o seu estado de conservação. Este tipo de registro possibilita-nos ter um controle sobre o grau de desgaste do suporte pétreo ao longo do tempo, através da comparação de modelos digitais de superfície tirados em diferentes momentos.



**Figura 92 - Nas imagens é possível vermos depredações antrópicas e bioturbações do suporte pétreo: a) pichações e manchas de fezes de morcego (pontos negros); b) gravuras contemporâneas; c) remoção de parte do suporte pétreo e casa de maribondo.**

No caso do bloco de sepultamento de Amourins, a digitalização do bloco permitiu observar de que maneira os ossos humanos e os acompanhamentos funerários se relacionavam com a estratigrafia, além de otimizar a visualização das marcas de estaca presentes no bloco (figura 93). Na interpretação de Magalhães, Berredo e Gaspar (2018) a textura foto realista dos modelos 3D auxiliou na interpretação estratigráfica, servindo de apoio à escavação e permitindo à pesquisadora ter um maior controle sobre o contexto de proveniência dos artefatos e de como estes se relacionam com outras estruturas ou com a estratigrafia do sítio como um todo.



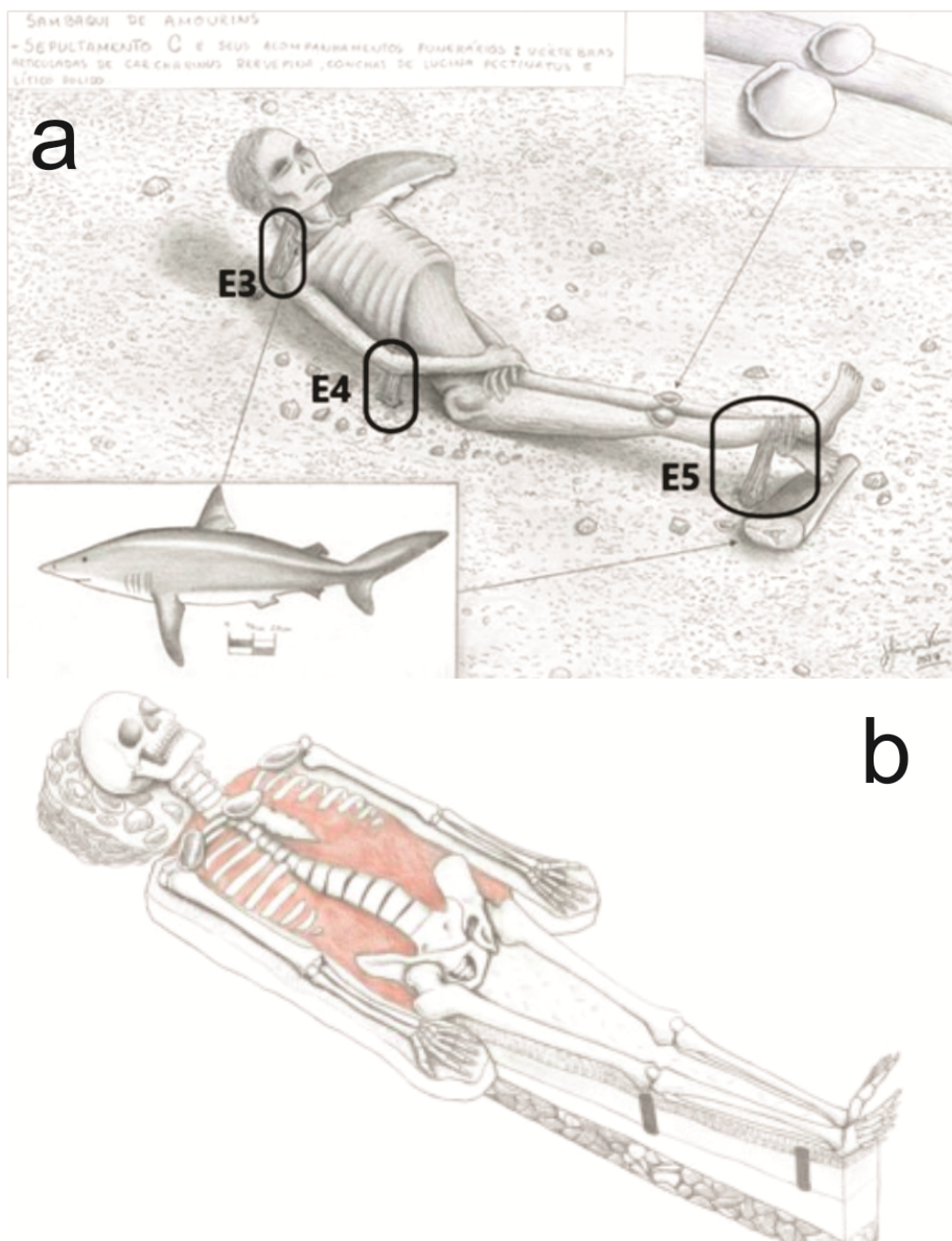
**Figura 93 - Modelo 3D do bloco de sepultamento C de Amourins, onde é possível observarmos a marca de estaca (elipse amarela) e a medição dos fácies que se encontravam acima desta.**

Além de contribuir para a análise geométrica ou estratigráfica do bloco, o modelo 3D contribui com dados que auxiliaram a formulação de novas hipóteses interpretativas em relação à função das estacas presentes no bloco de sepultamento.

Segundo Berredo (2018:157),

(...) inicialmente na escavação do bloco de sepultamento de Amourins, foi considerado equivocadamente que as marcas de estacas chegavam até os ossos humanos, dando a ideia errônea de que as estacas estivessem sustentando o crânio, os pés e os braços.

Como o bloco já havia sido escavado, foi possível através do modelo 3D voltar ao modelo 3D do bloco e verificar que na realidade existia um espaço de 7,1 cm entre a estaca e o corpo (figura 92), composta por "fácies de sedimentos com valvas de mariscos triturados, conchas inteiras e cinzas (...) interpretados como indicadores de atividades empreendidas na construção do ritual funerário" (Berredo, 2018:158). Foi possível a reformulação da hipótese interpretativa por parte da pesquisadora relativamente à funcionalidade das estacas, remetendo-as para uma função delimitadora do sepultamento e não de sustentação do corpo (figura 94).



**Figura 94 - a) Ilustração da primeira hipótese levantada, na qual as estacas (E3, E4 e E5) serviriam para sustentação do corpo. b) Ilustração da segunda hipótese interpretativa, onde as estacas funcionam como delimitadoras do espaço de sepultamento. Desenhos Henrique Vences (Fonte: Berredo (2018), fig. 77 e 84).**

A técnica serve também como base de análise arqueométrica para pequenas peças arqueológicas, como os líticos da coleção Alice Bôer apresentados ao longo desta dissertação. Através dos modelos é possível realizar medições e análises morfológicas das peças sem contato direto com o objeto real, permitindo ainda o compartilhamento

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

das peças com múltiplos pesquisadores o que aumenta a possibilidade de gerar novas interpretações sobre as peças.

Por último, a aplicabilidade da fotogrametria não se resume apenas a objetos de pequena ou média dimensão. Como demonstramos através do caso de estudo do Sambaqui de Amourins, através do uso de um *drone* é possível criar modelos digitais de superfície 3D de um sítio, bem como de toda a sua área de entorno. Tais modelos são de suma importância para a interpretação dos sítios arqueológicos sob a ótica da Arqueologia da Paisagem, auxiliando na compreensão da escolha do local de assentamento e da sua visibilidade na paisagem.

### **5.3.3 Difusão do Patrimônio Arqueológico**

As técnicas digitais são, na atualidade, um meio essencial para a divulgação do conhecimento, permitindo a partilha de informação de uma forma rápida e à escala global. No âmbito da difusão do Patrimônio Arqueológico, os modelos 3D apresentam várias vantagens de aplicação, podendo ser usados em museus para atividades interativas com o visitante; utilizados como material didático de apoio ao professor para uso em sala; ou disponibilizados em plataformas virtuais. Isto permite que tanto os profissionais como o público em geral possam acessar de maneira livre e gratuita os modelos, tornando o Patrimônio Arqueológico mais visível e perceptível para todos.

Além disso, o caráter lúdico e apelativo da modelagem 3D oferece uma possibilidade ímpar de atrair a atenção do público geral para a questão do Patrimônio Arqueológico. Neste sentido, várias ferramentas estão sendo utilizadas por museus e pesquisadores como forma de difusão do Patrimônio Arqueológico. Dentre elas destacamos as realidades virtuais, as coleções digitais e o uso de impressão 3D.

#### **5.3.3.1 Realidade Virtual imersiva /aumentada e impressão 3D**

A utilização de realidade virtual não é recente na Arqueologia mas, com os recentes progressos no meio digital, as suas aplicações tem crescido exponencialmente. Por exemplo, atualmente é possível fundir-se a realidade com o mundo virtual; aumentar a realidade física associando-a com o mundo virtual através do uso de *tablets* ou celulares; ou ainda, graças a instrumentos como óculos de realidade virtual e luva de

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

realidade aumentada, é possível criar uma nova realidade extremamente imersiva e interativa.

Atualmente a maior aplicação das realidades virtuais está, sem dúvida, ligada à difusão do Patrimônio Cultural junto ao público. O projeto *Archeoguide* na Grécia, no santuário de Olympia (Vlahakis et al., 2001); o projeto *Cultural Heritage Experiences through Socio-personal interactions and Storytelling* (CHESS), no Acropolis Museum; e a visita 3D de Pompei consistem em três exemplos famosos. Já no Brasil destacamos os trabalhos de Moraes Wichers et al. (2017), com o uso de realidades aumentadas no âmbito de Educação Patrimonial; a exposição *Mãos no barro da cidade: uma olaria no coração de Pinheiros*, que resultou de um trabalho da empresa Zanettini no centro de São Paulo, através do uso de realidades aumentadas (figura 95).



**Figura 95 - Imagem dos objetos que foram digitalizados e que podem ser visualizados através de aplicativo baixado para o celular. Este faz a leitura do QR code e gera uma vista fixa do modelo 3D que pode ser manipulada.**

E os trabalhos do Laboratório de Arqueologia Romana Provincial do Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo (LARP/MAE-USP), através dos projetos *Banho Romano*, *ROMA360 D.C.*, *DOMUS*, *DOMUS REDUX*, *DOMUS R.A.*, *DOMUS WebGL* (Fleming et al., 2017), explorando o uso da realidade virtual através

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

do uso de óculos (figura 96) e luva de realidade aumentada, da digitalização de objetos e impressão 3D.



**Figura 96 - Imagem do autor experienciando uma realidade virtual imersiva, navegando em um modelo 3D, através dos óculos 3D .**

Outra vantagem da sua aplicabilidade é a possibilidade do pesquisador ter uma imersão muito melhor do sítio arqueológico que ele estuda. Por exemplo, o Sambaqui de Cabeçuda, onde durante os milhares de anos de ocupação do sítio o nível do mar mudou consideravelmente, existem modelos informáticos para simular essa mudança. Com óculos de realidade aumentada, o pesquisador teria a oportunidade de viver no lugar do sítio e vivenciar essas flutuações marinhas, o que, sem dúvida, permitiria uma melhor interpretação do sítio. Um bom exemplo do uso das realidades virtuais no âmbito da pesquisa arqueológica é o projeto *3D-Digging at Çatalhoyuk* (Forte et Dell'Unto, 2012), coordenado por Ian Hodder e que visa reproduzir virtualmente todo o processo de escavação do sítio, permitindo a sua reversibilidade e contribuindo para "*estimular uma nova hermenêutica digital*".

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

Já a nível nacional destacamos o trabalho de Soares e Mota (2017), do Laboratório de Estudos Antárticos em Ciências Humanas (LEACH), que, através do projeto *Paisagens em Branco: arqueologia e antropologia antártica*, usaram métodos de registro 3D para a digitalização de sítios e artefatos provenientes da Antártica, criando para fins de pesquisa e divulgação uma base de dados georeferenciada, um *website* interativo, bem como um domo imersivo que remete o utilizador para vivenciar a experiência de estar na Antártica em pleno sítio arqueológico.

A todas estas realidades somamos, também, a possibilidade de impressão 3D dos objetos digitalizados. As réplicas podem ser impressas nos mais variados tipos de materiais, sendo o mais comum o filamento de resina. Podendo ser usadas no âmbito exposições museológicas, como peças tácteis ou peças educacionais no âmbito da educação patrimonial, ou ainda como objetos de estudo, evitando o manuseamento dos originais.

#### 5.3.3.2 Acervos científicos digitais e bases de dados

A criação de acervos digitais e bases de dados representam um esforço atual para ampliar a preservação e acessibilidade, de pesquisadores e do público em geral, ao Patrimônio cultural. De fato, a digitalização 3D apresenta-se como uma solução viável para os problemas de curadoria atuais, onde a redução de fundos e do espaço disponível nos repositórios existentes, são cada vez mais uma constante.

Neste sentido, muitos museus já começaram a criar acervos digitais, como por exemplo o *Smitsonian Museum* que introduz nos seus trabalhos de curadoria o registro digital das suas peças, disponibilizando-as online. Outros trabalhos tem sido desenvolvidos também por algumas instituições privadas, como a *Cyark* no âmbito da digitalização dos principais sítios qualificados como Patrimônio Mundial da Humanidade, pela UNESCO. Destacamos ainda o uso crescente de plataformas online de armazenamento e visualização de modelos 3D, como o *Sketchfab* (figura 97), por parte de pesquisadores de todo o mundo, como forma de divulgação e partilha dos seus trabalhos.

Deixamos uma lista de links para acervos digitais:

- *Sketchfab* <https://sketchfab.com/>
- *Smitsonian* <https://3d.si.edu/>
- *Smitsonian* <http://humanorigins.si.edu/evidence/3d-collection>



“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

- CyArk <http://www.cyark.org/>
- ReArk <https://sketchfab.com/reark>

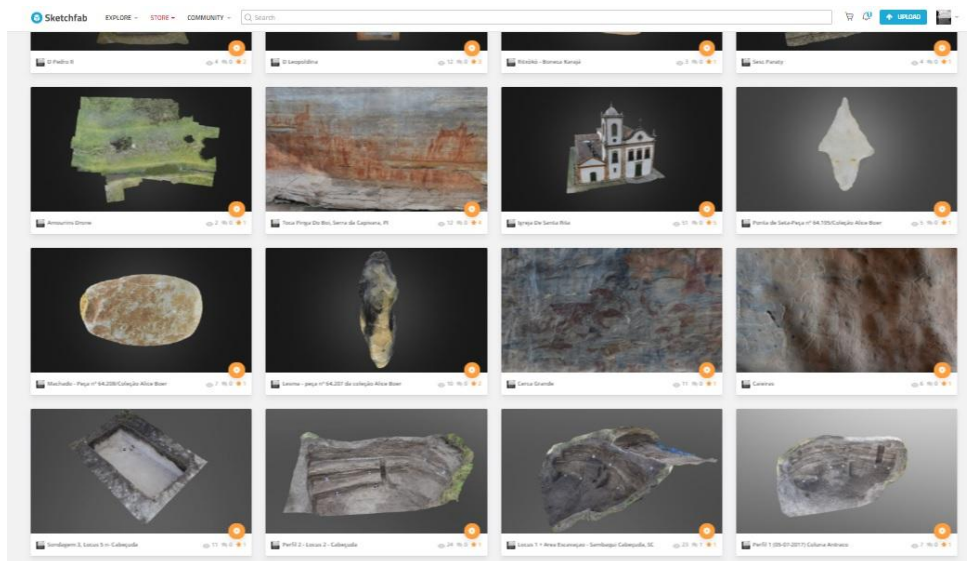


Figura 97 - Vista da plataforma online de armazenamento e partilha Sketchfab.

Outro esforço realizado neste sentido tem sido levado a cabo por instituições governamentais, para criarem e manterem bases de dados patrimoniais que possam servir de espaço educativo e de investigação. Um bom exemplo deste gênero de iniciativa é a *Europeana*, criada pela União Europeia, e que permite o acesso a mais de 50 milhões de itens digitalizados, servindo como repositório de bens materiais e imateriais. No Brasil destacamos ainda a base de dados *Tainacan*, desenvolvida através da parceria entre o Ministério da Cultura, o Instituto Brasileiro de Museus e a Universidade Federal de Goiás, como forma auxiliar no “*gerenciamento de museus, documentos, repositórios e ontologias*”.

Seguem os links para as suas plataformas:

- *Europeana* <https://www.europeana.eu/portal/pt>
- *Tainacan* <http://tainacan.org/>

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

### 5.3.4 Conservação e Restauro

Por último, a digitalização do Patrimônio pode ser aplicada como meio de conservação e restauro do Patrimônio Arqueológico. De fato, a cópia digital é em si mesma uma forma de conservação digital, pois cria uma réplica fidedigna do original, ainda que virtual, possibilitando a sua reprodução física através da impressão 3D. Desta forma, é possível minimizar impactos destrutivos que possam afetar os originais, sejam eles advindos da sua manipulação, visitação ou até mesmo fruto de vandalismo.

Através do uso de técnicas de registro 3D de baixo custo, como a fotogrametria,   viável realizar um monitoramento dos bens patrimoniais, por meio da obten o de registros tridimensionais regulares, que permitiriam uma análise do seu grau de degrada o através da compara o dos modelos. Além disso, em caso de perda ou danifica o do original seria possível o seu restauro, usando o modelo digital como base geométrica. Partilhamos da opinião que o uso deste tipo de documenta o permite-nos obter uma maior eficácia na gestão e preserva o do Patrim nio Cultural, nomeadamente de estruturas arqueológicas que se encontrem ao ar livre, expostas ao elementos naturais, como no caso dos painéis de arte rupestre analisados ao longo desta disserta o.

Neste sentido, alguns pesquisadores tem usado as ferramentas digitais como forma de restauro de peças arqueológicas, dos quais destacamos os trabalhos de L. Arbace, et al. (2012) com o restauro da “Madonna di Pietranico”, e Mingquam Zhou et al. (2017) que explora o uso de algoritmos de computa o para auxiliar na montagem e restauro de peças arqueológicas. Outro exemplo que gostaríamos de referir   o trabalho dos investigadores italianos, Daria Montemaggiori e Antonio Iaccarino Idelson (2017)<sup>26</sup>, que, utilizando técnicas de digitaliza o e impressão 3D, restauraram dois bustos funerários (figura 98), provenientes de Palmyra na S ria, que haviam sido danificados após os atentados terroristas do grupo ISIS, que destr iram grande parte da cidade.

---

<sup>26</sup> Não temos conhecimento da publica o deste trabalho por parte dos autores. O artigo   de fevereiro de 2017, por Benedict, tendo sido consultada por meio do site: <http://www.3ders.org//articles/20170217-preserving-syrias-heritage-3d-printing-helps-restore-palmyra-busts-destroyed-by-isis.html>, acessado pela última vez a 27 de julho de 2018.

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.



**Figura 98 - Na imagem podemos ver o pesquisador Antonio Iaccarino Idelson e os dois bustos após o seu restauro (Fonte: 3ders.org, 2017).**

Através da digitalização de todos os fragmentos, os pesquisadores puderam testar combinações de montagem, salvaguardando os fragmentos de manuseio, o que minimizou o seu risco de dano. Posteriormente, mediante o uso de impressoras 3D, as partes em falta puderam ser ligadas por meio de ímanes (figura 99). Este tipo de trabalho é de suma importância devido à alta reversibilidade do método e compatibilidade das partes restauradas, ao mesmo tempo que oferece uma leitura clara para o público, de quais são as partes originais ou restauradas na peça.



**Figura 99 - Pormenor da peça impressa e dos ímanes que servem para a junção das suas partes (Fonte: 3ders.org, 2017).**

## CONCLUSÃO

Ao longo desta dissertação cumpriram-se os objetivos propostos. Demonstrámos, através de um conjunto de estudos de caso brasileiros, o potencial da fotogrametria digital de curto alcance (terrestre e aérea) enquanto ferramenta de registro arqueológico não invasivo, no âmbito da documentação do Patrimônio Cultural.

Apresentando uma revisão histórica de como os arqueólogos documentaram os fenômenos arqueológicos espacialmente, desde as origens da disciplina até ao advento dos métodos de registro digitais e das suas implicações teóricas dentro dos paradigmas da disciplina. Exemplificando, tanto a nível internacional como brasileiro, as aplicações da técnica no âmbito de trabalhos arqueológicos.

Por meio de comparação, vimos como a fotogrametria apresenta vantagens sobre os métodos de registro convencionais, conferindo ao registro textura foto realista, melhor noção de profundidade e múltipla perspectiva. Capaz de criar um documento fiel da superfície de um objeto que, ao contrário do desenho ou da fotografia, passa a não depender mais da aptidão ou subjetividade interpretativa do pesquisador.

Comparativamente às outras formas de aquisição de dados 3D, como os escâneres a laser, escâneres de luz estruturada ou até mesmo estações totais, vimos que a fotogrametria se destaca por ser uma alternativa de registro barata, precisa, portátil, indireta, objetiva, reutilizável e de fácil integração no fluxo de trabalho arqueológico. E que devido à sua celeridade de registro permite dedicar mais tempo em campo à coleta de dados ou a sua análise e interpretação *in situ*. Além disso, através do uso do *drone*, a técnica demonstrou ser capaz de registros a múltiplas escalas, o que faz dela atualmente a forma de registro 3D mais versátil e mais vantajosa na relação custo benefício.

Apresentámos também uma proposta metodológica e os materiais necessários para a produção de modelos 3D, através da técnica fotogramétrica. De simples execução, os protocolos fotogramétricos permitiram uma fácil adaptabilidade ao fluxo de trabalho arqueológico. Permitindo-nos exportar o modelo em múltiplos formatos que podem ser usados como base para análises geométricas e interpretativas, e para monitoramento, restauro e divulgação do Patrimônio Arqueológico.

Poderíamos afirmar que o modelo digital passa a ser uma forma de registro mais "holístico", dos processos arqueológicos. Porém, na nossa perspectiva embora a fotografia possa ser remetida para um registro da equipe e das atividades por esta desempenhadas, o desenho não pode ser ignorado. Pois é nele que se concentram as

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

interpretações subjetivas de cada arqueólogo, a sua própria visão do cosmos Arqueológico, que é parte essencial para a construção de hipóteses. Porém, mais uma vez o modelo 3D surge como uma ferramenta auxiliar, complementando esse registro e permitindo, numa fase posterior, sintetizar todas essas visões, inclusive de múltiplos pesquisadores, condensando-as sobre um único suporte, o digital.

No entanto, também foi possível identificarmos algumas limitações do *software*. Na prática, o programa *Photoscan*, apesar de rápido e bastante preciso, tem dificuldades em modelar vegetação, espelhos de água ou qualquer outro tipo de superfície reflexa. A questão da iluminação, sombras e luz direta, também é relevante mas depende muito da finalidade pretendida do modelo. Outro inconveniente é a necessidade constante de se obter suportes de armazenamento devido ao grande volume de dados gerado. Porém, o maior inconveniente ao desempenho da técnica é o fator humano, por outras palavras, é necessário conhecer os meios para se atingir os fins. Conhecer os equipamentos e os *softwares* de pós processamento é fulcral para um bom desempenho.

Cabe-nos ainda destacar, que a fotogrametria não visa substituir o registro arqueológico convencional pelo modelo 3D, apenas facilitar o registro de dados, auxiliando na compreensão e análise de sítios e difusão dos resultados. Tal associação não deve ser feita pois levar-nos-ia a cair na falácia de que a réplica digital substitui o original. Na realidade, as técnicas da era digital, entre as quais a fotogrametria, podem ajudar a fugir do logro da salvaguarda pelo registro, já que potencializam o registro permitindo condensar sobre o modelo digital múltiplas informações sobre o objeto.

De fato, enquanto arqueólogos, temos a obrigação de estudar e preservar os objetos produzidos pelo Homem. Contudo, essa cultura material está também a virar virtual à medida que assistimos a uma crescente digitalização. De fato, Tardy e Dodebei (2015:45) chamam-nos a atenção para cada vez mais "*os objetos são produzidos em meio digital*". É, pois, acertado pensarmos que grande parte das nossas culturas "materiais", no futuro, possam vir a ser virtuais.

Apesar do modelo 3D ser o tipo de documento que mais se aproxima do original, não nos podemos esquecer que o maior potencial deste se encontra na sua facilidade de diminuir barreiras físicas, permitindo uma socialização dos resultados e uma democratização do acesso ao Patrimônio Cultural. Na verdade, é neste ponto que consideramos que as tecnologias digitais mais podem beneficiar a Arqueologia, permitindo, através da crescente conectividade entre os pesquisadores, aumentar a troca

“Arqueofotogrametria”: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D.

de ideias e de informações aproveitando todas as potencialidades ofertadas pelo mundo virtual.

Partindo desta premissa, concordamos com Rangel e Almeida (2012:48) quando afirmam que:

o que as componentes tecnológicas trazem para o mundo acadêmico, não é de todo a massificação descontrolada da produção, mas a adição de uma ferramenta, no seu todo indispensável, para atingir o objetivo de interligação de conhecimentos e profissionais, das redes e a “uniformização”. Isso levará, como já tem levado, a uma adaptação positiva das instituições e profissionais, da forma cada vez mais célere e eficaz como se relacionam entre si e, em última instância, beneficiará a própria investigação e a socialização dos conhecimentos através deles obtidos.

De fato, como nos destaca Torres (2017:13), apesar das facilidades de uso da técnica fotogramétrica,

faz-se necessário, dentro dos grupos de pesquisa, certo grau de *expertise* para gerenciar todas as etapas dos fluxos de trabalho envolvendo o registro, armazenamento, análise, visualização e disseminação dos resultados do trabalho arqueológico em mídia digital.

Consequentemente, é necessário que as instituições de ensino tenham isso em consideração e que implementem nos seus programas curriculares disciplinas voltadas para o estudo não só dos métodos e técnicas digitais, mas também no âmbito das Humanidades Digitais. Pois só assim poderemos entender o verdadeiro potencial destas ferramentas como "*unificadoras*" dos paradigmas arqueológicos e terminar com a dicotomia que aflige a disciplina nas últimas décadas.

E agora? Sabemos qual a utilidade das ferramentas digitais e que tipo de problemas nos permitem solucionar. Precisamos agora de dar um passo adiante, rumo à aplicação destas ferramentas para responder a problemas de pesquisa concretos, caso contrário não passaremos do mero "fetichismo"<sup>27</sup> tecnológico. Acreditamos que isso só será possível através da aposta na formação e crescente criação de projetos colaborativos, como o projeto *3D-Digging at Catalhoyuk*. Ou, de outra forma, como nos aponta Zubrow (2006), incorremos no risco de que o maior volume de dados que a comunidade arqueologia já alguma vez coletou vire obsoleto antes que os arqueólogos efetivamente os usem.

---

<sup>27</sup> Conceito de Fetichismo tecnológico na ótica de Zubrow, 2006.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGISOFT LLC. (2018). Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.4. Disponível em: [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_4\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf) acessado em: 16-02-2018
- AGUGIARO, G., REMONDINO, F. (2014). “3D GIS for Cultural Heritage sites: the QueryArch3D prototype”. In [3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage - Theory and Best Practices](#), F. Remondino and S. Campana (Eds), pp. 145-150, [Archaeopress BAR Publication](#) Series 2598, ISBN 9781407312309 (171 pages).
- ARAV, Reuma; FILIN, Sagi; AVNER, Uzi; NADEL, Dani. (2016). Three-dimensional documentation of masseboth sites in the ‘Uvda Valley Area, Southern Negev, Israel. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage. .10.1016/j.daach.2016.01.002.
- ARBACE, L., et al. (2012). “Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue”, *Journal of Cultural Heritage*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.06.008>.
- BAETA, Alenice Maria Motta. “Os grafismos rupestres e suas unidades estilísticas no Carste de Lagoa Santa e Serra do Cipó – MG” [doi:10.11606/T.71.2011.tde-18082011-142504]. São Paulo: Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, 2011. Tese de Doutorado em Arqueologia. [acesso 2018-07-17].
- BARKER, P. (1993). *Techniques of Archaeological Excavation*. 3rd ed. London: B.T. Batsford Ltd.
- BEWLEY, R., CRUTCHLEY, S. et SHELL, C. (2005). New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site. *Antiquity*, 79(305), pp.636-647.
- BENNET, R. (2014). “Airborne laser scanning for archaeological prospection”. In: F. Remondino and S. Campana, eds., *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*, 1st ed. Oxford: Archaeopress, pp.27-38.
- BERREDO, Ana Luíza. (2018). “Ritual funerário no sambaqui de Amourins: atividades de preparação do terreno para receber o corpo”. Dissertação de Mestrado em Arqueologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, Rio de Janeiro, 187 f.: il..
- BICHO, N. F. (2006). *Manual de Arqueologia Pré-histórica*. Edições 70. Lisboa.
- BRITO, Jorge Luís Nunes e Silva (2007). *Fotogrametria digital / Jorge Luís Nunes e Silva Brito, Luiz Carlos Teixeira Coelho Filho – Rio de Janeiro: EdUERJ*, p. 196.
- CALLIERI, M., DELL’UNTO, N., DELLEPIANE, M., SCOPIGNO, R., SODERBERG, B. and LARSSON, L. (2011). “Documentation and Interpretation of an Archaeological Excavation: an experience with Dense Stereo Reconstruction tools”. *The 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*. Matteo Dellepiane, Franco Nicolucci, Sebastian Pena Serna, Holly Rushmeier and Luc Van Gool (Eds.).

CAMPANA, S., SORDINI, M., REMONDINO, F. (2008). “Integration of geomatics techniques for the digital documentation of heritage areas”. Proceedings of the 1st European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) International Workshop on ‘Advances in Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management’, 30 September–4 October 2008, Rome, Italy.

CAMPANA, S. (2014). “3D modelling in archaeology and cultural heritage - theory and best practice”. In: F. Remondino and S. Campana, ed., 3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices, 1st ed. Oxford: Archaeopress, pp.7-12.

CAMPANA, S. (2017). Drones in Archaeology. State-of-the-art and Future Perspectives. *Archaeol. Prospect.*, 24: 275–296. doi: [10.1002/arp.1569](https://doi.org/10.1002/arp.1569).

CERAUDO, G. (2013). “Aerial Photography in Archaeology”. In: C. Corsi, B. Slapsak and F. Vermeulen, ed., *Good Practice in Archaeological Diagnostics*, 1st ed. Springer International Publishing Switzerland.

CHASE, A., CHASE, D., WEISHAMPEL, J., DRAKE, J., SHRESTHA, R., CLINT SLATTON, K., AWE, J. and CARTER, W. (2011). “Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize”. *Journal of Archaeological Science*, 38, pp.387-398.

CHASE, A., CHASE, D., AWE, J., WEISHAMPEL, J., IANNONE, G., MOYES, H., YAEGER, J., BROWN, K., SHRESTHA, R., CARTER, W., FERNANDEZ DIAZ, J. (2014). “Ancient Maya regional settlement and inter-site analysis: the 2013 west-central Belize LiDAR survey”. *Remote Sens* 6(9): 8671–8695. <https://doi.org/10.3390/rs6098671>

CHODORONEK, Michael (2015). “The Use and Application of Photogrammetry for the In-field Documentation of Archaeological Features: Three Case Studies from the Great Plains and Southeastern Alaska”. Unpublished Master's Thesis, Department of Anthropology, University of Nebraska, Lincoln.

CONOLLY, J. and LAKE, M. (2006). *Geographical information systems in archaeology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

DE REU J., Plets G., VERHOEVEN G., BATS M., CHERRETTE B., DE MAEYER W., De SMEDT P., DECONYNCK J., HERREMANS D., LALOO P., VAN MEIRVENNE M., DE CLERCQ W. (2013). “Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage”. *Journal of Archaeological Science*, 40(2): 1108-1121.

DELL'UNTO, N. (2014). “The use of 3D models for intra-site investigation in archaeology”. In: F. Remondino and S. Campana, eds., 3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage, 1st ed. Oxford: Archaeopress, pp.151-158.

DELL'UNTO, N., LANDESCHI, G., LEANDER TOUATI, A., DELLEPIANE, M., CALLIERI, M. and FERDANI, D. (2015). “Experiencing Ancient Buildings from a 3D GIS Perspective: a Case Drawn from the Swedish Pompeii Project”. *Journal Archaeology Method Theory*, 23(1), pp.73-94.



DUARTE, Ana Alice Miranda (2004). “A Fotogrametria a curta distância como uma ferramenta de documentação das inscrições rupestres.(Estudo de Caso Sítio Arqueológico Santinho Norte I– SC)”. Dissertação em Mestrado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 106 pg.

DONEUS, M., NEUBAUER, W. (2005). “3D laser scanners on archaeological excavations”. In: Dequal, S. (Ed.), Proceedings of the XXth International Symposium CIPA, Torino 2005. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI-5/C34/1, pp. 226-231.

DONEUS, M.; BRIESE, C.; FERA, M.; FORNWAGNER, U.; GRIEBL, M.; JANNER, M.; ZINGERLE, M.-C. (2007). “Documentation and Analysis of Archaeological Sites Using Aerial Reconnaissance and Airborne Laser Scanning”. Proceedings of the XXIst International Symposium CIPA: AntiCIPAting the Future of the Cultural Past. Athens, Greece, 1–6 October; XXXVI-5/C53, pp. 275–280.

DONEUS, M., BRIESE, C., FERA, M. et JANNER, M. (2008). “Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning”. Journal of Archaeological Science, 35, pp.882-893.

DONEUS, M., VERHOEVEN, G., FERA, M., BRIESE, C., KUCERA, M., NEUBAUER, W. (2011). “From deposit to point cloud e a study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations”. In: Cepek, A. (Ed.), XXIIIrd International CIPA Symposium, Prague, 12-16 September 2011. Geoinformatics, vol. 6. Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University, Prague, pp. 81-88.

DONEUS M, DONEUS N, BRIESE C, VERHOEVEN G. (2015). “Airborne laser scanning and Mediterranean environments - Croatian case studies”. In The Island Research Projects. Croatian Archaeological Society: Zagreb 147–165.

EVANS, D., R. FLETCHER, C., POTTIER, J.-B., CHEVANCE, D., SOUTIF, B. S., TAN, S., IM, D. EA, T., TIN, S., KIM, CROMARTY, C. (2013). “Uncovering archaeological landscapes at Angkor using LiDAR”. Proc. Natl. Acad. Sci. 110: 12595–12600.

ENGSTRÖM, T., et JOHANSSON, M. (2009). “The use of terrestrial laser scanning in archaeology. Evaluation of a Swedish project, with two examples”. Journal of Nordic Archaeological Science 16, pp. 3-13.

FERNANDEZ-DIAZ, J., CARTER, W., SHRESTHA, R., GLENNIE, C. (2014). “Now you see it. . . Now you don't: understanding airborne mapping LiDAR collection and data product generation for archaeological research in Mesoamerica”. Remote Sens 6(10):9951–10001. <https://doi.org/10.3390/rs6109951>

FERNÁNDEZ-HERNANDEZ, J., GONZÁLEZ-AGUILERA, D., RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P. and MANCERA-TABOADA, J. (2015). “Image-Based Modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry: An Effective, Low-Cost Tool for Archaeological Applications”. Archaeometry, 57(1), pp.128-145.

FERNÁNDEZ-LOZANO, Javier e GUTIERREZ-ALONSO, Gabriel. (2016). “Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry:

An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain)”. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 5. 509-520. 10.1016/j.jasrep.2016.01.007.

FIGUEIRÔA, R. A. D. (2012). “Arqueologia nas nuvens: Digitalizando em 3D o acervo cerâmico do Museu de Arqueologia de Xingó”. *IV Encontro de História, Racismo e religiosidades Negras*, V. 1, p. 42.

FLEMING, Maria Isabel D’ Agostino; ABREU, Tatiana Bina Ayres; BASTOS, Marcio Teixeira; MARTIRE, Alex da Silva, GREGORI Alessandro Mortaio (2017). “A importância das novas tecnologias para a arqueologia e suas possibilidades de uso. A impressão 3D e os projetos do LARP. Vestígios”. *Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica*, v.11, n.o 1 : 57-79.

FLINDERS PETRIE, W.M. (1904). *Methods & Aims in Archaeology*. Macmillan and Co. London.

FORTE, Maurizio. (2010). “Introduction to cyber-archaeology”. *Cyber-Archaeology, BAR International Series*. 2177. 9-13.

FORTE, M., DELL'UNTO, N., ISSAVI, J., ONSUREZ, L. & LERCARI, N. (2012). “3D Archaeology at Çatalhöyük”. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(3): 351–378.

FORTE, Maurizio, (2014). “Virtual Reality, Cyberarchaeology, Teleimmersive Archaeology”. In: F. Remondino and S. Campana, ed., *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*, 1st ed. Oxford: Archaeopress, pp.113-127.

FORTE, M., DELL'UNTO, N., JONSSON, K. et LERCARI, N. (2015). “Interpretation Process at Çatalhöyük using 3D”. In: I. Hodder and A. Marciniak, ed., *Assembling Çatalhöyük - EAA - Themes in Contemporary Archaeology*, 1st ed. Maney Publishing, pp.43-57.

GALIATZATOS, N. (2014). “Exploring archaeological landscapes with satellite imagery”. In: F. Remondino and S. Campana, ed., *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*, 1st ed. Oxford: Archaeopress, pp.91-102.

GRILLO, Orlando (2017). Rio de Janeiro: UFRJ, Museu Nacional, PPGGEO. (comunicação oral).

GÜTH, A., (2012). “Using 3D scanning in the investigation of Upper Palaeolithic engravings: first results of a pilot study”. *Journal of Archaeological Science* 39: 3105-3114.

HÄMMERLE, M. et HÖFLE, B. (2018). “Introduction to LiDAR in Geoarchaeology from a Technological Perspective”. In: Siart, C., Forbriger, M. & Bubenzer, O.: *Digital Geoarchaeology: New Techniques for Interdisciplinary Human-Environmental Research*, pp. 167-182.

HARRIS, Edward C. (1979). *Principles of archaeological stratigraphy*. London; New York : Academic Press.

HARRIS, T. (1987). “Digital Terrain Modelling and three-dimensional surface graphics for landscape and site analysis in archaeology and regional planning”. In: C. Ruggles and S. Rahtz, eds., *Computer applications and quantitative methods in archaeology*, 1st ed. Oxford: BAR International Series, pp.161-172.

HARRIS, E. C. (1989). *Principles of archaeological stratigraphy*. 2nd Edition. Academic Press: United Kingdom.

HENRIQUES, F.J.R. (2012). “Metodologias de documentação e análise espacial em conservação de pintura”. Tese de Doutorado. Porto, Universidade Católica Portuguesa Escola das Artes.

HODDER, I. (1999). *The Archaeological Process*. Oxford and Malden: Blackwell.

HOFFMEISTER, D., ZELLMANN, S., KINDERMANN, K., PASTOORS, A., LANG, U., BUBENZER, O., WENIGER, G.C., BARETH, G., (2014). “Geoarchaeological site documentation and analysis of 3D data derived by terrestrial laser scanning”. *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci II-5*: 173–179. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-173-2014>.

HOFFMEISTER, D. (2018). “3D Laser Scanning for Geoarchaeological Documentation and Analysis”. In: Siart C., Forbriger M., Bubenzer O. (eds). *Digital Geoarchaeology. Natural Science in Archaeology*. Springer, Cham.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. *Gestão Ambiental APA Carste de Lagoa Santa*. Belo Horizonte: IBAMA/Fund. BIODIVERSITAS/CPRM, 1998.

KATSIANIS, M., TSIPIDIS, S., KOTSAKIS, K., KOUSOULAKOU, A. (2008). “A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS”. *J. Archaeol. Sci.* 35 (3):655–667. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.06.002>

KIPNIS, Renato; SANTOS, Hélder Bruno Cipriano dos; TIZUKA, Michelle Mayumi; ALMEIDA, Miguel Jorge Gomes Tavares de; CORGA, Mónica Patrícia de Almeida e Silva. (2013). “Aplicação das tecnologias de modelagem 3D conjugada às técnicas tradicionais para o registro das gravuras rupestres do rio Madeira, Rondônia, Brasil”. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 8, n. 3, pp. 605-619.

KJELLMA, Erik (2012). “[From 2D to 3D: a photogrammetric revolution in archaeology?](#)”. Master’s Thesis in Archaeology, Faculty of Humanities, Social Sciences and Education, Department of Archaeology and Social Anthropology, University of Tromsø.

KOUTSOUDIS, Anestis; BLAZ VIDMAR, B; IOANNAKIS, George Alexis; ARNAOUTOGLU, Fotis; PAVLIDIS, George; CHAMZAS, Christodoulos. (2014). “Multi-image 3D reconstruction data evaluation”. *Journal of Cultural Heritage*. 15. pp. 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.12.003>.

LAMBERS, K., EISENBEISS, H., SAUERBIER, M., KUPFERSCHMIDT, D., GAISECKER, T., SOTOODEH, S., HANUSCH, T. (2007). “Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the late intermediate period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru”. *J. Archaeol. Sci.* 34 (10):1702–1712. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.12.008>

LERMA, José Luis, NAVARRO, Santiago, CABRELLES, Miriam and VILLAVERDE, Valentín. (2010). “Terrestrial laser scanning y close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study”. *Journal of Archaeological Science* 37(3):499-507.

LUO L., WANG X., LIU C., GUO H., DU X. (2014). “Integrated RS, GIS and GPS approaches to archaeological prospecting in the Hexi Corridor, NW China: a case study of the royal road to ancient Dunhuang”. *Journal of Archaeological Science* 50 (2014), pp.178-190.

LOCK, G. (2003). *Using computers in archaeology*. London: Routledge.

LOSIER, L. M., J. POULIOT et M. FORTIN (2007). “3D geometrical modeling of excavation units at the archaeological site of Tell ‘Acharneh (Syria)”. *Journal of Archaeological Science* 34(2):272-288.

LOWE, David G. (1999). “Object recognition from local scale-invariant features”. *Proceedings of the International Conference on Computer Vision 2*, pp. 1150–1157. Doi:10.1109/ICCV.1999.790410.

LUHMANN, T., Robson, S., Kyle, S. and Hartley, I. (2007). *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications*. Dunbeath: Whittles.

LYNNERUP, N. (1997). “Non-invasive Archaeology of Skeletal Material by CT Scanning and Three-dimensional Reconstruction”. *International Journal of Osteoarchaeology* 7(1):91 - 94.

MAGALHÃES, A., BERREDO E SILVA, A. de, and GASPAS, M. (2018). “De volta ao passado: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D”. *Revista de Arqueologia*. [Online] 31:1 Jun 28. DOI: <https://doi.org/10.24885/sab.v31i1.519>.

MATTHEWS, N. A. (2008). *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation*. Technical. Note 428. U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, Colorado. 42 pp.

MCPHERRON, S.P., GERNAT, T., HUBLIN, J.-J. (2009). “Structured light scanning for high resolution documentation of in situ archaeological finds”. *Journal of Archaeological Science* 36 (1), 19-24.

MILES, M.; MAVROGORDATO, M.; SINCLAIR, I.; HINTON, D.; BOARDMAN, R.; EARL, G. (2016). “The use of computed tomography for the study of archaeological coins”. *J. Archaeol. Sci.: Reports*, vol. 6, pp. 35–41.

MORAES WICHES, C.A; ZANETTINI, P.; TEGA-CALIPPO, G. M. V. (2017). “Entre seres e coisas: a aplicação de tecnologias 3D como ponte entre patrimônio arqueológico e sociedade”. *Vestígios – Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica*. Volume 11. Número 1. Laboratório de Arqueologia – FAFICH/UFMG; Belo Horizonte, MG, pp. 81-106.

NARCISO, Pedro Miguel da Silva (2016). “O Trapiche de Antônio Leite: (des)continuidades de uma infraestrutura portuária dos arrabaldes do Rio de Janeiro dos

séculos XVIII e XIX”. Dissertação de Mestrado em Arqueologia, Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, Museu Nacional, Rio de Janeiro. 271 f. (3 volumes),

NEX F., REMONDINO, F. (2014). “[UAV for 3D mapping applications: a review](#)”. *Applied Geomatics*, Vol.6(1), pp. 1-15, DOI 10.1007/s12518-013-0120-x

OLIVEIRA, Mário Mendonça de. (2008). A documentação como ferramenta de preservação da memória. Brasília, DF: IPHAN / Programa Monumenta, pp. 79-105.

ORTIZ, J., GIL, M. L., MARTÍNEZ, S., REGO, T. et MEIJIDE, G. (2013). “Three-dimensional Modelling of Archaeological Sites Using Close-range Automatic Correlation Photogrammetry and Low-altitude Imagery”. *Archaeol. Prospect.*, 20: 205–217. doi:10.1002/arp.1457.

PAVLIDIS, George, KOUTSOUDIS, Anestis, ARNAOUTOGLOU, Fotis, TSIOUKAS, Vassilios and CHAMZAS, Christodoulos. (2007). “Methods for 3D digitization of Cultural Heritage”. *Journal of Cultural Heritage* 8(1):93-98.

PESCARIN, S. (2014). “Virtual reality & cyberarchaeology – virtual museums”. In: F. Remondino and S. Campana, eds., *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*, 1st ed. Oxford: Archaeopress, pp.130-136.

PENG, Fei; LIN, Sam C.; GUO, Jialong; WANG, Huimin and GAO, Xing (2017). “The Application of SfM Photogrammetry Software for Extracting Artifact Provenience from Palaeolithic Excavation Surfaces”. *Journal of Field Archaeology*, DOI: 10.1080/00934690.2017.1338118.

PIERDICCIA, Roberto. (2017). “Mapping Chimu's settlements for conservation purposes using UAV and close range photogrammetry. The virtual reconstruction of Palacio Tschudi, Chan Chan, Peru”. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 10.1016/j.daach.2017.11.004.

POWELL, Eric A. (2009). “The Past in High-Def”. *Archaeology*, Vol. 62, No. 3 (May/June 2009), pp. 20-25.

REMONDINO F, RIZZI A (2010). “Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites techniques, problems, and examples”. *Appl. Geomat.* 2(3):85–100. <https://doi.org/10.1007/s12518-010-0025-x>

REMONDINO, F. (2011). “Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning”. *Remote Sensing*, 3(6), pp. 1104-1138

REMONDINO F., L. BARAZATTI, F. NEX, M. SCAIONI et D. SARAZZI (2011). “UAV photogrammetry for mapping y 3D modeling – current status y future perspectives. International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing y Spatial Information Sciences 38-1/C22”. Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland.

REMONDINO, F. (2014). “Photogrammetry - Basic theory”. In: F. Remondino and S. Campana, ed., *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*, 1st ed. Oxford: Archaeopress, pp.63-72.

RENFREW, Colin et BAHN, Paul. (2000). *Archaeology Essentials: Theories, Methods, and Practice* (Third Edition), Thames & Hudson Ltd, London

RIBEIRO, M. C. F. (2001). “A arqueologia e as tecnologias da informação: uma proposta para o tratamento normalizado do registro arqueológico”. Dissertação de Mestrado em Arqueologia – Universidade do Minho, Braga, 2001. <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/8603>>, 135 f.

RODRIGUES, R., SAMPAIO, R. C. B., AGUIAR, A. P. and BECKER, M. (2014) "FVMS Software-in-the-Loop Flight Simulation Experiments: Guidance, Navigation and Control". Joint Conference on Robotics: SBR-LARS Robotics Symposium and Robocontrol, São Carlos, pp.223-228. Doi:10.1109/SBR.LARS.Robocontrol.2014.48.

ROOSEVELT, C. (2014). “Mapping site-level microtopography with Real- Time Kinematic Global Navigation Satellite Systems (RTK GNSS) and Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry (UAVP)”. *Open Archaeology*, 1(1), pp.29-53.

SAMAAN M, Héno R, PIERROT-DESEILLIGNY M. (2013). Close-Range Photogrammetric Tools for Small 3d Archeological Objects. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 1(2): 549–553.

SANTOS, Jorge R. Lopes; BRANCAGLION, Antônio; AZEVEDO, Sergio Alex, Werner, Heron (2013). *Tecnologias 3D: desvendando o passado, modelando o futuro*. 1 ed., Rio de Janeiro: Lexikon.

SCHWERIN, Jennifer von; RICHARDS-RISSETTO, Heather; REMONDINO, Fabio; AGUGIARO, Giorgio, et GIRARDI, Gabrio. (2013). “The MayaArch3D project: A 3D WebGIS for analyzing ancient architecture and landscapes”. *Literary and Linguistic Computing* 28:4, pp. 736-753; doi: 10.1093/llc/fqt059

SILVA, S. F. S. M. da .; MÜTZENBERG, D. S. ; CISNEIROS, D. (2012). “Arqueologia Visual: o Uso das Imagens Fotográficas na Produção do Conhecimento Arqueológico e Historiografia da Arqueologia”. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, v. 22, p. 137-156.

SMITH, N., PASSONE, L., AL-SAID, S., AL-FARHAN, M. et LEVY, T. (2014). “Drones in Archaeology: Integrated Data Capture, Processing, and Dissemination in the al-Ula Valley, Saudi Arabia”. *Near Eastern Archaeology*, 77(3), pp.176-181.

SOARES, F. C.; MOTA, M. M. (2017). *Arqueologia Digital abaixo de zero: uma proposta de mediação para a Arqueologia Antártica*. *Vestígios. Revista Latino Americana de Arqueologia Histórica*, v. 11, pp. 19-39.

TRINKS, Immo; WALLNER, Mario; KUCERA, Matthias; VERHOEVEN, Geert; TORREJÓN VALDELOMAR, Juan ; LÖCKER, K; NAU, E; SEVARA, C; ALDRIAN, Lisa; NEUBAUER, E; KLEIN, M. (2017). “Documenting Bronze Age Akrotiri on Thera using laser scanning, image-based modelling and geophysical prospection”. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W3. 631-638. 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-631-2017.

- TOMMASELLI, A. M. G. (2009). *Fotogrametria básica – Introdução*. São Paulo: Unesp.
- TORRES, R. O. ; YAMAFUNE, K. ; CASTRO, L. F. V. ; FERREIRA, S. P. (2017). “Mapeando em Profundidade: A integração de técnicas digitais para a pesquisa arqueológica de sítios denaufrágios históricos”. *Vestígios. Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica*, v. 11, pp. 108-134.
- ULGUIM, P. F. (2017). “Recording In Situ Human Remains in Three Dimensions”. In Thompson, T. J. U. Errickson, D. *Human Remains: Another Dimension*. Academic Press: London, pp. 71-92. DOI: 10.1016/b978-0-12-804602-9.00007-2
- VALERO, Ángel Gutiérrez (2014). “Nadar por los aires”. *Revista FAKTA. Teoría del arte y crítica cultural*, Salamanca, Espanha. <https://revistafakta.wordpress.com/page/3/>.
- VAN RIEL, Sjoerd. (2016). “Exploring the use of 3D GIS as an analytical tool in archaeological excavation practice”. M.A. Thesis in Archaeology. Department of Archaeology and Ancient History. Lund University. 10.13140/RG.2.1.4738.2643.
- VERHOEVEN, G. (2009). “Providing an archaeological bird's-eye view –€“ an overall picture of ground-based means to execute low-altitude aerial photography (LAAP) in Archaeology”. *Archaeological Prospection*, 16(4), pp.233-249.
- VERHOEVEN, G. (2011). “Taking computer vision aloft - archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan”. *Archaeological Prospection*, 18(1), pp.67-73.
- VERHOEVEN, G. (2011). “Taking computer vision aloft e archaeological three dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan”. *Archaeological Prospection*, 18 (1), pp. 67-73.
- VERHOEVEN, G. (2017). “Are We There Yet? A Review and Assessment of Archaeological Passive Airborne Optical Imaging Approaches in the Light of Landscape Archaeology”. *Geosciences*, 7, 86.
- VLAHAKIS, Vassilios, KARIGIANNIS, John, TSOTROS, Manolis, GOUNARIS, Michael, ALMEIDA, Luís, STRICKER, Didier, GLEUE, Tim, CHRISTOU, Ioannis, CARLUCCI, Renzo, IOANNIDIS, Nikolaos. (2001). *ARCHEOGUIDE: first results of an augmented reality, mobile computing system in cultural heritage sites*, pp. 131-140. 10.1145/584993.585015
- WHEATLEY, D. et M. GILLINGS (2002). “Spatial Technology and Archaeology: The Archaeological Applications of GIS”, Taylor & Francis, London.
- WHEELER, R. E. M. (1954). *Archaeology from the Earth*. Oxford University Press, Clarendon Press, Oxford.
- XU, Z., WU, L., SHEN, Y., LI, F., WANG, Q., WANG, R. (2014). Tridimensional Reconstruction Applied to Cultural Heritage with the Use of Camera-Equipped UAV and Terrestrial Laser Scanner. *Remote Sensing* 6 (11), 10413-10434.

YAMAFUNE, R., TORRES, F. Castro (2016). “Multi-image Photogrammetry to Record and Reconstruct Underwater Shipwreck Sites”. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 1-23.

ZHANG, Chun-Sen; ZHANG, Meng-Meng; ZHANG, Wei-Xing. (2017). “Reconstruction of measurable three-dimensional point cloud model based on large-scene archaeological excavation sites”. *Journal of Electronic Imaging*, 26(1), 011027 (2017), doi: 10.1117/1.JEI.26.1.011027

ZUBROW, E. (2006). “Digital archaeology: a historical context”. In: T. Evans and P. Daly, ed., *Digital Archaeology. Bridging method and theory*, 1st ed. Oxon: Routledge, pp.10-31.

ZUBROW, E. (2010). “From Archaeology to I-archaeology: Cyberarchaeology, paradigms, and the end of the twentieth century”. In: M. Forte, ed., *Cyber-Archaeology*, 1st ed., Oxford: Archaeopress.

### **Recursos Online utilizados**

AGISOFT (2018). User Manuals. [online] Disponível em: <<http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>> [Acessado a 20 Fev. 2018].

CIPA Heritage Documentation (2018) [online] Disponível em: <<http://cipa.icomos.org/>> [Acessado a 20 Fev. 2018].

DJI.COM (2018). Phantom 4 Pro. [online] Disponível em: <<https://www.dji.com/search?q=phantom%204%20pro>> [Acessado a 20 Fev. 2018].

DRONEAPPS.CO (2015) Price wars: counting the cost of drones, planes and satellites [online] disponível em: <<https://droneapps.co/price-wars-the-cost-of-drones-planes-and-satellites/>> [Acessado a 20 Fev. 2018].

LEICA.COM (2018) [online] Disponível em: <<http://www.leica.com/>> [Acessado a 20 Fev. 2018].

MAPS.GOOGLE.COM. (2018). Google Maps. [online] Disponível em: <<http://maps.google.com>> [Acessado a 20 Fev. 2018].

NATIONALGEOGRAFICBRASIL.COM (2018) [online] Disponível em: <<http://www.nationalgeographicbrasil.com/historia/2018/02/exclusivo-megalopole-maia-e-revelada-sob-floresta-da-guatemala-por-varredura-de>> [Acessado a 20 Fev. 2018].

THEIA-SFM.ORG (2016). Structure from Motion (SfM) — Theia Vision Library. [online] Disponível em: <<http://www.theia-sfm.org/sfm.html>> [Acessado a 20 Fev. 2018].

ZEISS.COM (2018) [online] Disponível em: < <https://www.zeiss.com.br/>> [Acessado a 20 Fev. 2018].