

Fotogrametria de baixo custo para digitalização 3D de ornatos arquitetônicos – comparativo entre softwares gratuitos e pagos

Low-cost photogrammetry for 3D scanning of architectural ornaments – comparison between free and paid software

Fotogrametría de bajo coste para escaneo 3D de adornos arquitectónicos: comparación entre software libre y de pago

DOI: 10.54033/cadpedv21n3-100

Originals received: 02/19/2024

Acceptance for publication: 03/08/2024

Roger Langone Leal

Mestre em Memória Social e Patrimônio Cultural pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

Instituição: Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Avenida Osvaldo Aranha, 99, sala 607, Centro Histórico, Porto Alegre - RS, CEP: 90035-190

E-mail: rogerlangone@hotmail.com

Léia Miotto Bruscato

Doutora em Arquitetura pela Universidad Politecnica de Cataluna (ETSAB - UPC Barcelona)

Instituição: Departamento de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Rua Sarmiento Leite, 320, Centro Histórico, Porto Alegre - RS, CEP: 90050-170

E-mail: leia.bruscato@ufrgs.br

RESUMO

Tecnologias digitais surgidas nas últimas décadas, como as de digitalização tridimensional, têm se mostrado úteis em atividades ligadas ao patrimônio cultural. Entretanto, o custo e o conhecimento necessário para seu uso podem ser empecilhos para sua ampla aplicação. A fotogrametria se apresenta como uma alternativa com menores custos frente às demais tecnologias de digitalização e tende a ser de mais fácil aprendizado. Entretanto, os equipamentos e os *softwares* usados em fotogrametria ainda podem apresentar custos impeditivos. Mas o surgimento de *softwares* gratuitos e a popularização de câmeras fotográficas em *smartphones* têm impacto neste fator e tende a aproximar os interessados por esta tecnologia. Neste contexto, este estudo compara o desempenho de *softwares* gratuitos e pagos quando usadas as suas configurações padrão pela forma

como estes *softwares* conduzem o processo para obtenção de um produto comum a eles, uma malha poligonal texturizada. Foi escolhido para a digitalização tridimensional um ornato arquitetônico de um imóvel de interesse histórico da cidade de Pelotas/RS. As imagens deste ornato foram obtidas pela câmera primária de um *smartphone* Motorola Edge 20, com sensor Samsung ISOCELL HM2 de 1/1,52", píxeis de 0,7 μ m, 108 MP de resolução, abertura f/1.9, ângulo de visão de 82°, distância focal de 24mm e PDAF. Para a reconstrução tridimensional por fotogrametria foram selecionados seis *softwares*, sendo três gratuitos – Colmap, Meshroom e Regard3D – e três pagos – 3DF Zephyr, Agisoft Metashape e Photomodeler Premium. Obteu-se um retrato do processo de reconstrução em tais *softwares* por meio da observação das etapas pelas quais eles produzem as malhas poligonais e pelas características destas malhas.

Palavras-chave: Fotogrametria. *Software*. Patrimônio Cultural. Arquitetura.

ABSTRACT

Digital technologies that emerged in recent decades, such as three-dimensional scanning, have proven useful in activities linked to cultural heritage. However, the cost and knowledge required for its use can be obstacles to its wide application. Photogrammetry presents itself as an alternative with lower costs compared to other digitization technologies and tends to be easier to learn. However, the equipment and software used in photogrammetry can still present prohibitive costs. But the emergence of free software and the popularization of cameras on smartphones have an impact on this factor and tends to bring together those interested in this technology. In this context, this study compares the performance of free and paid software when using their default settings based on the way these software conduct the process to obtain a product common to them, a textured polygonal mesh. An architectural ornament from a property of historical interest in the city of Pelotas/RS was chosen for three-dimensional scanning. The images of this ornament were taken by the primary camera of a Motorola Edge 20 smartphone, with a 1/1.52" Samsung ISOCELL HM2 sensor, 0.7 μ m pixels, 108 MP resolution, f/1.9 aperture, 82° viewing angle, 24mm focal length and PDAF. For the three-dimensional reconstruction by photogrammetry, six software were selected, three of which were free – Colmap, Meshroom and Regard3D – and three paid – 3DF Zephyr, Agisoft Metashape and Photomodeler Premium. A portrait of the reconstruction process was obtained in such software by observing the steps through which they produce polygonal meshes and the characteristics of these meshes.

Keywords: Photogrammetry. Software. Cultural Heritage. Architecture.

RESUMEN

Las tecnologías digitales surgidas en las últimas décadas, como el escaneo tridimensional, han demostrado ser útiles en actividades vinculadas al patrimonio cultural. Sin embargo, el costo y los conocimientos necesarios para su uso pueden ser obstáculos para su amplia aplicación. La fotogrametría se presenta como una alternativa con costos más bajos en comparación con otras tecnologías de digitalización y tiende a ser más fácil de aprender. Sin embargo, el equipo y el

software utilizados en la fotogrametría todavía pueden presentar costos prohibitivos. Pero el surgimiento del software libre y la popularización de las cámaras en los teléfonos inteligentes tienen un impacto en este factor y tienden a reunir a los interesados en esta tecnología. En este contexto, este estudio compara el rendimiento del software libre y de pago cuando se utilizan sus configuraciones predeterminadas en función de la forma en que estos software conducen el proceso para obtener un producto común para ellos, una malla poligonal texturizada. Un ornamento arquitectónico de una propiedad de interés histórico en la ciudad de Pelotas/RS fue elegido para escaneo tridimensional. Las imágenes de este adorno fueron tomadas por la cámara principal de un smartphone Motorola Edge 20, con un sensor Samsung ISOCELL HM2 de 1/1.52", píxeles de 0.7µm, resolución de 108 MP, apertura f/1.9, ángulo de visión de 82°, longitud focal de 24mm y PDAF. Para la reconstrucción tridimensional por fotogrametría, se seleccionaron seis programas, tres de los cuales eran gratuitos - Colmap, Meshroom y Regard3D - y tres de pago - 3DF Zephyr, Agisoft Metashape y Photomodeler Premium. Se obtuvo un retrato del proceso de reconstrucción en dicho software observando los pasos a través de los cuales producen mallas poligonales y las características de estas mallas.

Palabras clave: Fotogrametría. Software. Patrimonio Cultural. Arquitectura.

1 INTRODUÇÃO

Tecnologias digitais como a digitalização tridimensional, a modelagem digital e a manufatura aditiva ou subtrativa de objetos, mesmo sendo ferramentas surgidas há pouco mais de trinta anos, já demonstraram sua eficácia em projetos ligados ao patrimônio cultural (ROBLES; GARCIA, 2009). Neste contexto, tais tecnologias são aplicáveis à pesquisa, preservação, disseminação e conservação-restauração, com a documentação como um objetivo comum (ACKE et al., 2021). Entretanto, alguns fatores impedem a sua aplicação de maneira mais ampla, como preocupações relacionadas ao conhecimento necessário e aos custos envolvidos para sua utilização (ACKE et al., 2021).

Uma destas tecnologias destaca-se, justamente, por proporcionar a digitalização tridimensional de objetos a custos baixos e com uma curva de aprendizado pequena (RAHAMAN, 2021), a fotogrametria. A sua evolução enquanto tecnologia de digitalização tridimensional permitiu, nos últimos vinte anos, a usuários não especialistas, a reconstrução digital de bens patrimoniais. Entre o começo dos anos 1980 e início dos 1990, as câmeras digitais proporcionaram o

uso não só de fotografias analógicas, mas também de imagens digitais para a fotogrametria (FASSI; CAMPANELLA, 2017). Essas novas possibilidades aumentaram as suas aplicações e fizeram avançar a automação do processo (YILMAZTURK; GURBAK, 2019). Nos anos 2000, os custos foram reduzidos, assim como as limitações operacionais em virtude da oportunidade de pré-calibração e consequente uso de câmeras digitais não específicas para levantamento fotogramétrico (FASSI; CAMPANELLA, 2017).

Na década de 2010, o surgimento de câmeras de alta resolução em aparelhos celulares permitiu seu uso em fotogrametria (YILMAZTURK; GURBAK, 2019), indo ao encontro da necessidade apontada na década anterior pela International Society for Photogrammetry and Remote Sensing no que se referia ao uso da fotogrametria no contexto do patrimônio cultural: o desenvolvimento de equipamentos de baixo-custo (TAKAHASHI, 2009). Assim, com resultados podendo ser alcançados com o uso de *smartphones* para a obtenção das imagens (KINGSLAND, 2020), a distância entre o uso desta tecnologia e potenciais usuários diminuiu, tornando-os alternativas para atividades de digitalização tridimensional no contexto do patrimônio.

Entretanto, apesar de apresentar baixo custo em relação a processos de digitalização tridimensional com o escaneamento a *laser*, a fotogrametria pode apresentar custo considerável quando se trata do uso de *softwares* pagos. Mas *softwares* gratuitos que possibilitam a reconstrução tridimensional de artefatos patrimoniais vêm ganhando popularidade por conta da qualidade dos dados por eles produzidos (RAHAMAN, 2021; KINGSLAND, 2020).

Neste contexto, este trabalho propõe a comparação entre *softwares* gratuitos e pagos para verificar o quanto o processo de fotogrametria pode ser afetado pelo uso de tais *softwares* e se existem diferenças no processo de obtenção de modelos digitais de objetos entre estas ferramentas que possam levar a escolha de uma ou de outra.

2 ESTUDO DE CASO: ORNATO ARQUITETÔNICO DE IMÓVEL INVENTARIADO EM PELOTAS/RS

Segundo o IPHAN (201?), a cidade de Pelotas possui um dos maiores acervos de arquitetura eclética do Brasil, tanto pela quantidade de imóveis quanto pela sua qualidade. Tal acervo foi construído, principalmente, na época de pujança econômica que a cidade viveu em virtude da produção de charque (carne salgada e seca para aumento da sua durabilidade), impulsionada pelo ciclo do ouro (IPHAN, 2007) e pelo seu uso na alimentação da mão-de-obra escravizada, que precisava ser melhor tratada em virtude da promulgação da Lei Eusébio de Queiroz, que mais não permitia o tráfico (GUTIERREZ, 1999).

Neste contexto, o ornato escolhido para o estudo foi um detalhe presente na fachada revestida com a técnica de pedra fingida do imóvel (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) localizado na rua Lôbo da Costa, nº 866, em frente ao Theatro Guarany. O imóvel foi escolhido por constar do conjunto de imóveis inventariados na cidade de Pelotas/RS, de acordo com a lei nº 4.568/2000¹ e com os decretos nº 4.490/2003² e nº 4.703/2004³, sendo, portanto, de interesse histórico. A escolha do ornato deu-se em virtude de suas características formais, com detalhes retilíneos e curvos, mas que não apresentam sobreposições de formas que pudessem dificultar a tomada de imagens, e pela sua facilidade de acesso, pois pode ser fotografado para fins fotogramétricos sem a necessidade do uso de andaimes.

¹ Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/pelotas/lei-ordinaria/2000/457/4568/lei-ordinaria-n-4568-2000-declara-area-da-cidade-como-zonas-de-preservacao-do-patrimonio-cultural-de-pelotas-zppcs-lista-seus-bens-integrantes-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 4 fev. 2024.

² Disponível em: <<https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:rio.grande.sul;pelotas:municipal:decreto:2003-02-27;4490>>. Acesso em: 4 fev. 2024.

³ Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/rs/p/pelotas/decreto/2004/471/4703/decreto-n-4703-2004-dispoe-sobre-os-bens-integrantes-do-inventario-do-patrimonio-cultural-de-pelotas?q=Decreto+4.703>>. Acesso em: 4 fev. 2024.

Figura 1 – Fachada do imóvel escolhido (esquerda) e detalhe mostrando o ornato fotografado (direita)



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir das imagens obtidas do ornato escolhido, os *softwares* do estudo foram usados para reconstrução tridimensional deste objeto. Seu uso foi registrado para verificação do processo de obtenção de uma malha poligonal texturizada em cada um deles. Os *softwares* foram usados nas mesmas condições de espaço livre em disco, sem outros *softwares* abertos e sem conexão à Internet.

Ao final da reconstrução tridimensional, verificou-se a possibilidade de exportação do resultado. Para tanto, procurou-se exportar os modelos na extensão “obj” e, quando o *software* exportava a textura do modelo em formato de imagem, exportar estas imagens na extensão “png”. Tal extensão foi escolhida em virtude de seu amplo uso.

Após a obtenção dos resultados iniciais, em virtude da discrepância dos resultados entre os *softwares* – em relação ao tempo de reconstrução e o número de vértices dos modelos – a reconstrução do ornato foi realizada com as definições de maior qualidade nos *softwares* em questão.

3.1 INSTRUMENTOS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS

O instrumento usado para captura das imagens foi um smartphone Motorola Edge 20, com sensor Samsung ISOCELL HM2 de 1/1,52", píxeis de 0,7µm, 108 MP de resolução, abertura f/1.9, ângulo de visão de 82°, distância focal de

24mm, PDAF (Phase Detection AutoFocus) para a câmera primária (a ser usada no projeto).

Este dispositivo foi escolhido em virtude de sua classificação por órgãos de imprensa especializados como “intermediário premium” (TECMUNDO, 2021; TUDOCELULAR, 2022), ou seja, que alia recursos usualmente encontrados em dispositivos “topo de linha”, como o conjunto de câmeras, por preços mais atraivos (o preço do *smartphone* usado oscilava em torno de R\$ 2.000,00 em meados de 2022). Juntamente com o *smartphone* foram usados um tripé para sua sustentação e um disparador *bluetooth* para disparo remoto.

3.2 INSTRUMENTOS PARA PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS – HARDWARE

O computador responsável pelo processamento das imagens obtidas pelo *smartphone* nos *softwares* fotogramétricos foi um *notebook* Lenovo com processador Intel® Core™ i7-10750H, CPU @ 2.60GHz, 16 GB de memória RAM instalada, sistema Windows 10 Home Single Language de 64 bits, disco rígido de 1 T + 28 GB SSD, placa de vídeo NVIDIA Geforce RTX 2060 com capacidade de computação de 7.5 (em uma escala de produtos disponíveis entre 2.0 e 8.6). Este dispositivo foi escolhido por conveniência.

3.3 INSTRUMENTOS PARA PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS – SOFTWARES

Para a geração de modelos tridimensionais digitais do ornato a partir das imagens obtidas e posterior comparação dos resultados foram selecionados seis *softwares* fotogramétricos, sendo três gratuitos e licenciados de forma a permitirem uso comercial – **Colmap**, **Meshroom** e **Regard3D** – e três pagos – **3DF Zephyr**, **Agisoft Metashape** e **Photomodeler Premium**. Os *softwares* pagos foram utilizados no período de teste de 30 dias oferecidos pelos fabricantes.

Estes *softwares* possuem interface gráfica plenamente funcional e integrada, ou seja, todo o processo de reconstrução pode ser feito pela interface e

ela não precisa ser instalada separadamente do *software*, são destinados a fotogrametria de curta distância (não exclusivamente), foram lançados ou atualizados nos últimos cinco anos e estão disponíveis para o sistema operacional Windows.

O **Colmap** foi concebido pelos seus desenvolvedores, Johannes L. Schönberger e seus orientadores de doutorado, Jan-Michael Frahm e Marc Pollefeys, como uma sequência linear de módulos especializados em *Structure-from-Motion* (SfM) e *Multi-View Stereo* (MVS) de aplicação genérica (SCHOENBERGER, 201?). A edição empregada neste estudo foi disponibilizada em janeiro de 2022.

O **Meshroom**, desenvolvido pela Associação AliceVision, é um *software* de código aberto destinado à reconstrução tridimensional, fundamentado no framework AliceVision (ALICEVISION, 201?a). A edição empregada neste projeto foi disponibilizada em fevereiro de 2021.

O **Regard3D** é descrito por seu criador, Roman Hiestand, como uma aplicação gratuita de código aberto dedicada a transformar fotografias de um objeto em um modelo tridimensional (HIESTAND, 201?). A versão aqui empregada foi disponibilizada em março de 2019.

O **3DF Zephyr** é apresentado pela sua desenvolvedora, a 3Dflow, como um *software* fotogramétrico para reconstrução automática de modelos tridimensionais a partir de fotografias obtidas por qualquer sensor fotográfico ou *scanner a laser* (3DFLOW SRL, 2024). O *software* foi lançado em 2011 e a versão 7.511 foi usada neste estudo.

O **Agisoft Metashape** é descrito como um *software* rápido e preciso para processamento de imagens digitais e geração de dados tridimensionais (AGISOFT, 2023). Inicialmente lançado como PhotoScan em 2010, teve sua designação alterada para Metashape em 2018. A versão utilizada aqui é a 2.1.0.

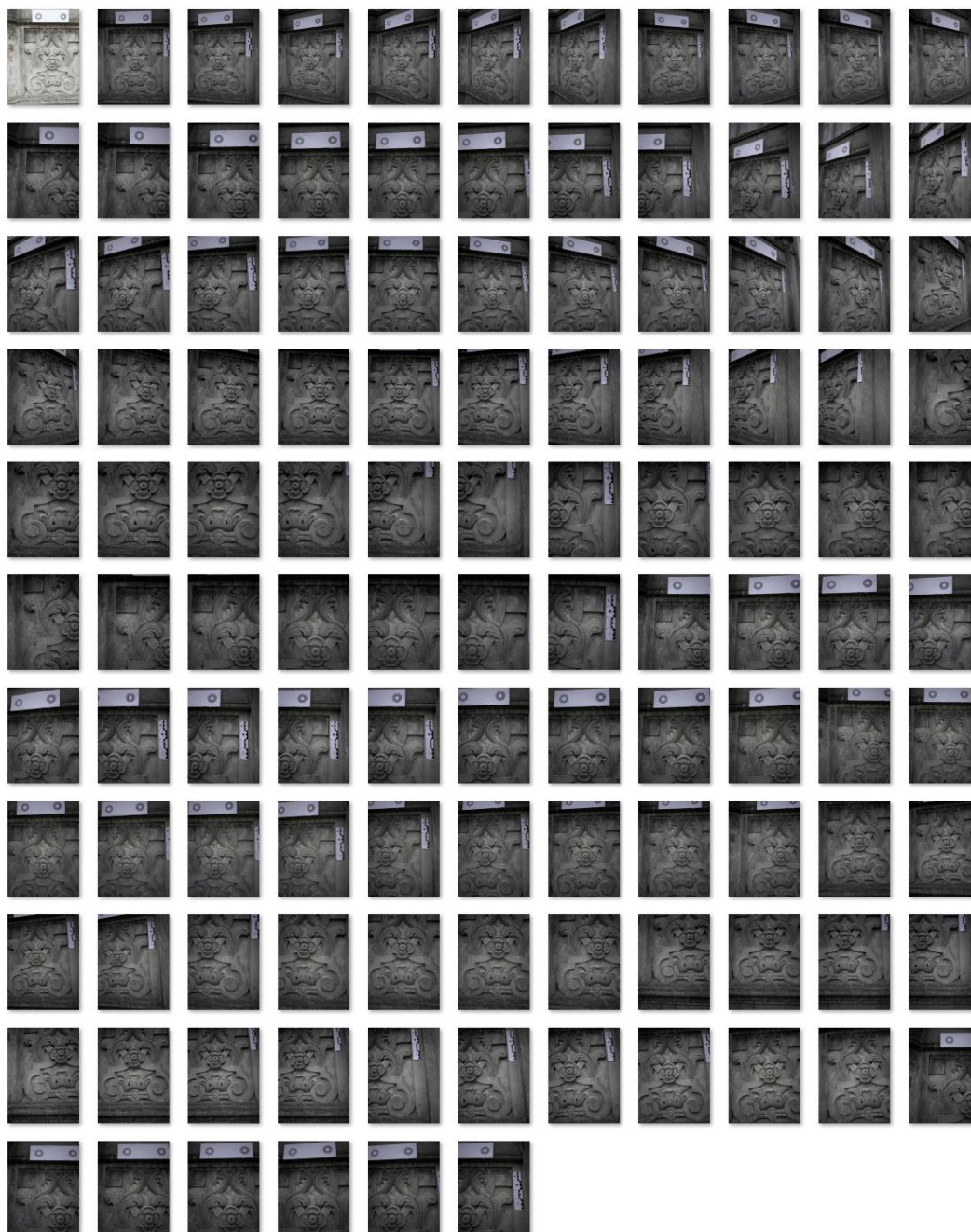
O **Photomodeler Premium** é apresentado como um *software* capaz de extrair medidas e modelos precisos a partir de imagens obtidas com câmeras comuns (PHOTOMODELER TECHNOLOGIES, 2024?). Foi lançado em 1993, sendo que a versão 2024.0.0.260 foi utilizada no estudo.

3.4 AQUISIÇÃO DE DADOS

A sessão de fotos foi realizada no primeiro dia de outubro de 2022, no período da manhã, antes que o sol incidisse diretamente sobre a fachada do imóvel, para que houvesse menor variação de luz durante a sessão e o ornato não apresentasse sombras marcadas. O tripé para sustentação do *smartphone* e o disparador *bluetooth* proporcionaram a captação de imagens sem as possíveis vibrações oriundas do disparo da câmera com o toque na tela do aparelho. Foram obtidas 116 imagens (

Figura 2) do ornato em questão, com sensibilidade ISO 100, velocidade de exposição de 1/180 s e resolução de 12 MP (3000 x 4000 píxeis) com *pixel biding* (nove píxeis funcionando como um), na extensão RAW da câmera (dng).

Figura 2 – Conjunto de imagens obtido para reconstrução digital do ornato⁴



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS

As imagens na extensão “dng” foram convertidas em “jpg” para que pudessem ser usadas nos *softwares* que não reconhecessem tal extensão. A

⁴ As cctags e a escala observáveis nas imagens não foram usadas no contexto deste estudo.

conversão das imagens foi realizada pelo *software* gratuito ImBatch⁵, versão 7.6.0. Sua escolha deu-se, para além da sua gratuidade⁶, em virtude de sua capacidade de converter os arquivos em lote sem prejuízo dos metadados das imagens como sensibilidade ISO, velocidade de exposição e distância focal, como ocorreu com outros *softwares* experimentados, como PhotoScape X⁷ versão 4.2.1 e Gimp⁸ versão 2.10.32, e sem prejuízo das dimensões das imagens, de 3000 x 4000 píxeis para 2984 x 3984 píxeis, como ocorrido com o Photoshop versão 24.0.

3.6 RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL

Devido ao número, usualmente considerável, de parâmetros disponíveis para regulação nestes *softwares*, estabeleceu-se que as reconstruções tridimensionais aconteceriam a partir das configurações padrão apresentadas por eles, sem o uso de configurações avançadas. Assim sendo, após a importação das imagens pelos *softwares*, os comandos executados restringiram-se à concordância com as definições de qualidade apresentadas pelos *softwares* e/ou especificação do tipo de resultado (malha poligonal texturizada). Somente quando houvesse interrupção da reconstrução pelo *software*, em virtude da necessidade do fornecimento de alguma informação, é que haveria algum tipo de interferência no processo. Assim, também não foi usada nenhuma ferramenta de edição, eventualmente disponível, dos *softwares*. Quando foi necessário refazer o processo de reconstrução em virtude do resultado obtido, as alterações ficaram restritas aos parâmetros que apresentavam rótulos qualitativos, como “alta qualidade”, por exemplo, sem a mudança em parâmetros que cujos valores fossem de ordem numérica.

Como o pesquisador possuía experiência em reconstrução tridimensional com os *softwares* gratuitos usados no estudo, para diminuir o viés em relação

⁵ Disponível em: <<https://www.highmotionsoftware.com/products/imbatch>>. Acesso em: 12 set. 2023

⁶ Este *software* é gratuito somente para uso pessoal.

⁷ Disponível em: <<http://x.photoscape.org/>>. Acesso em: 13 set. 2023

⁸ Disponível em: <<https://www.gimp.org/>>. Acesso em: 14 out. 2022

aos *softwares* pagos, foram usados tutoriais para o entendimento do processo de obtenção do resultado desejado para o Agisoft Metashape⁹, para o PhotoModeler¹⁰ e para o 3DF Zephyr¹¹.

O tempo de carregamento das imagens não foi considerado pois, em alguns *softwares*, envolve muitas interações do usuário, como o estabelecimento de diretórios de salvamento dos arquivos ou diferentes formas de carregamento das imagens, dificultando a definição de seu início e de seu término. Tampouco foi medido o tempo de exportação, por razões semelhantes, como a escolha de extensões e seus diferentes parâmetros. Assim, o tempo registrado considerou o início da reconstrução após a importação das imagens, e o comando para que ela começasse, até o momento em que foi produzida uma malha poligonal texturizada, ou o equivalente disponibilizado pelo *software*. Esta mensuração ocorreu por consulta aos *logs* dos *softwares* e por cronometragem. Os tempos obtidos foram arredondados para minutos.

3.6.1 Colmap

As etapas de reconstrução no Colmap para obtenção do resultado estipulado para este estudo são realizadas pelas opções de menu “Processing” – “Feature Extraction” e “Feature Matching” – e “Reconstruction” – “Start reconstruction” e “Dense reconstruction”, sendo esta última opção separa nos seguintes passos: “Undistortion/Stereo/Fusion” e “Poisson” ou “Delaunay”, mas é possível usar o comando “Automatic Reconstruction” para que todo o processo de reconstrução a partir das imagens seja feito de uma só vez (

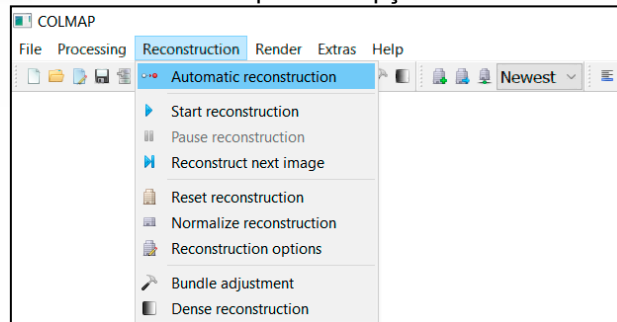
⁹ Disponível em: <<https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000152092>>. Acesso em: 22 jan. 2024.

¹⁰ Disponível em: <<https://cdn.photodeler.com/downloads/tutorials/2019/media/SmartMatchAndDenseSurfaceModeling/SmartMatchAndDenseSurfaceModeling.html>>. Acesso em: 22 jan. 2024.

¹¹ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=17UTelgZqBg>>. Acesso em: 22 jan. 2024.

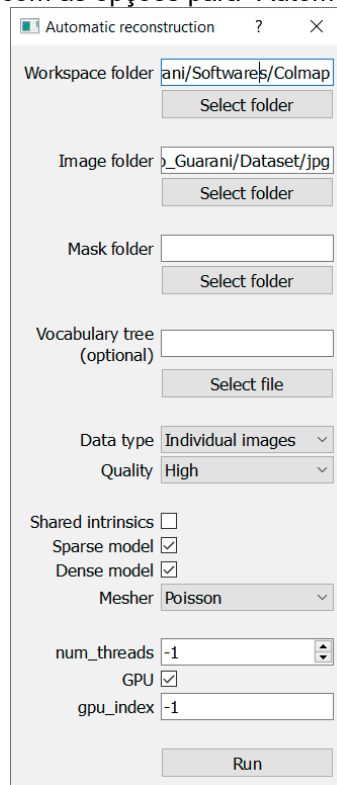
Figura 3). Na janela *pop-up* que se abre após este comando é necessário especificar onde serão armazenados os arquivos do projeto e a pasta na qual estão as imagens do objeto em questão (Figura 4).

Figura 3 – Detalhe da interface do Colmap com a opção de menu “Automatic Reconstruction”



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Figura 4 – Janela com as opções para “Automatic Reconstruction”

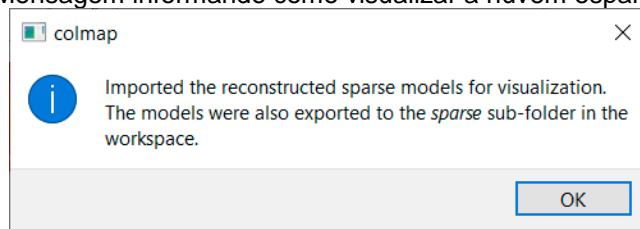


Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Em caso de sucesso, ao final deste processo, são apresentadas mensagens informando onde as nuvens de pontos podem ser encontradas e como podem ser visualizadas, e que a visualização da malha poligonal deve ser feita em outro *software* (

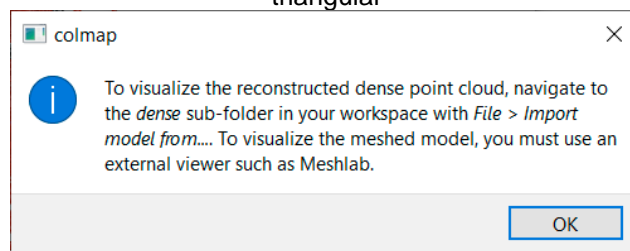
Figura 5 eFigura 6).

Figura 5 – Mensagem informando como visualizar a nuvem esparsa de pontos



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Figura 6 – Mensagem informando como visualizar a nuvem densa de pontos e a malha triangular



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

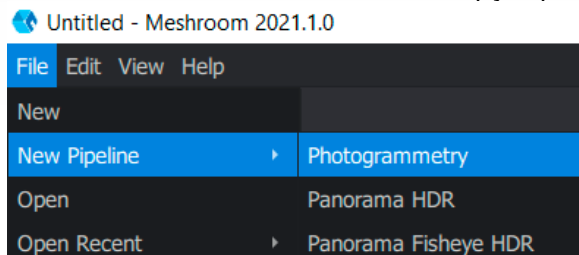
O produto final não pode ser exportado pelo programa, sendo encontrado na pasta do projeto, subpasta “dense/0”.

3.6.2 Meshroom

O menu “File” do Meshroom apresenta a opção “New Pipeline”, que leva à escolha dos produtos gerados por ele; dentre tais produtos, a opção para este estudo foi “Photogrammetry” (

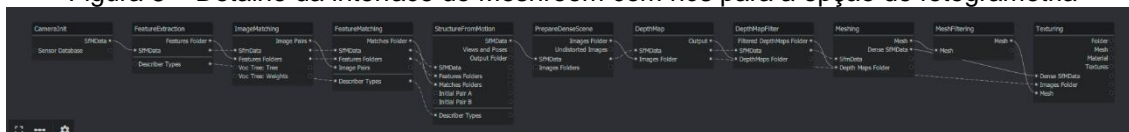
Figura 7). Esta escolha já coloca na base da interface uma sequência de nós para reconstrução tridimensional de objetos a partir de imagens (Figura 8).

Figura 7 – Detalhe da interface do Meshroom com a opção para fotogrametria



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Figura 8 – Detalhe da interface do Meshroom com nós para a opção de fotogrametria



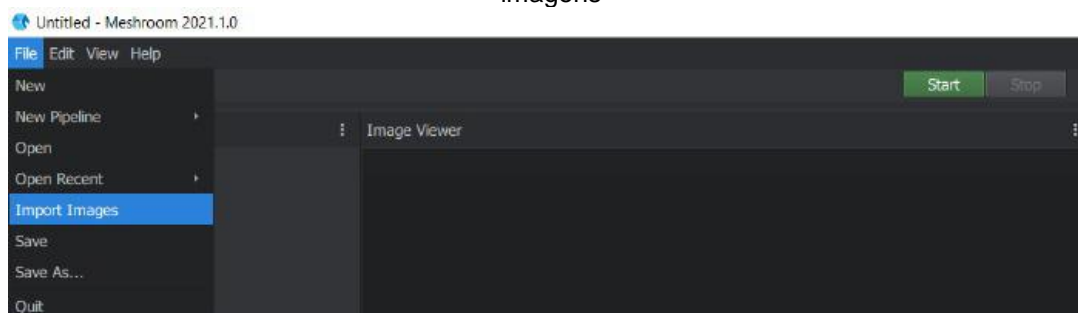
Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Os nós são módulos que correspondem às etapas para obtenção de um determinado produto neste *software* e podem ser ajustados que acordo com o contexto de cada projeto; mais nós podem ser inseridos para suprir diferentes necessidades. Os nós básicos apresentados pelo Meshroom para o processo em questão são: “Camera Init”, “Feature Extraction”, “Image Matching”, “Feature Matching”, “Structure From Motion”, “Prepare Dense Scene”, “Depth Map”, “Depth Map Filter”, “Meshing”, “Mesh Filtering” e “Texturing”.

Assim, após a importação (

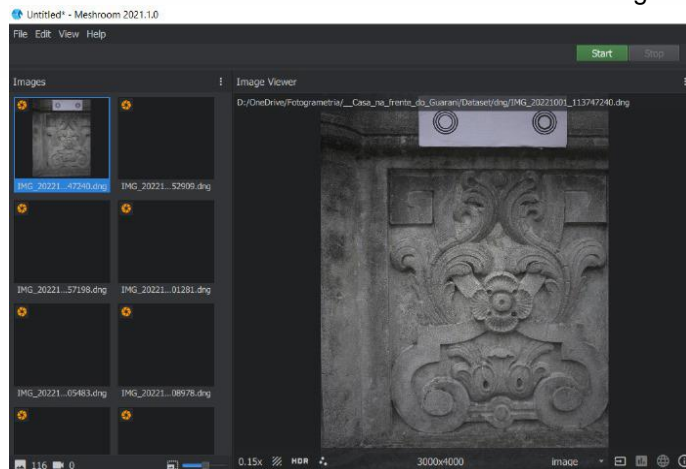
Figura 9) e o carregamento das imagens (Figura 10), a reconstrução do objeto pelo *software* já pode ser iniciada pelo clique no botão “Start”, que neste estudo prosseguiu sem necessidade de intervenção até a obtenção de uma malha poligonal texturizada. Cada etapa é sinalizada como pronta por uma linha verde abaixo do rótulo do nó (Figura 11).

Figura 9 – Detalhe da interface do Meshroom com a opção de menu para importação de imagens



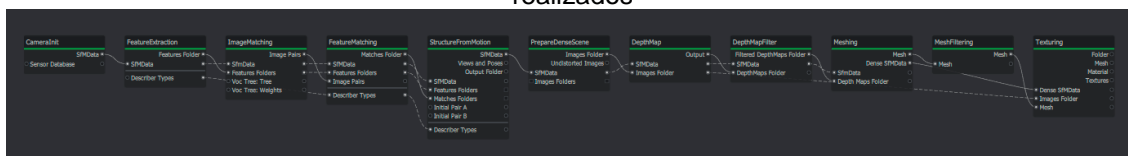
Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Figura 10 – Detalhe da interface do Meshroom mostrando as imagens carregadas



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

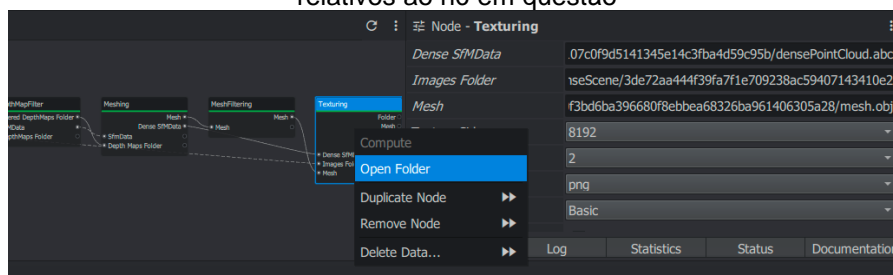
Figura 11 – Detalhe da interface do Meshroom com os nós de cada etapa de reconstrução já realizados



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Para acessar os arquivos gerados em cada etapa do processo pode-se clicar com o botão direito no nó correspondente e escolher a opção de abrir a pasta onde estão localizados os arquivos (Figura 12).

Figura 12 – Detalhe da interface do Meshroom com a opção de abrir a pasta com os arquivos relativos ao nó em questão



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

3.6.3 Regard3D

Antes de realizar a importação das imagens é necessário criar um arquivo com o projeto em questão (

Após a inserção destas informações e do carregamento das imagens, é preciso realizar o processamento por etapas. A cada etapa concluída o *software* disponibiliza o comando para a etapa seguinte (

Figura 15).

Figura 15 – Detalhes da interface do Regard3D mostrando o surgimento dos comandos para cada etapa da reconstrução tridimensional (da esquerda para a direita, de cima para baixo)

The image shows a screenshot of the Regard3D software interface, divided into four main panels, each representing a different stage of the 3D reconstruction process. Each panel contains input fields, parameters, and buttons for the next step.

- Top Left Panel (Compute matches...):** Includes fields for 'Picture set name', 'Picture set id' (0), and 'Number of pictures' (116). It has buttons for 'Compute matches...', 'Edit picture set...', 'Clone picture set', and 'Delete'.
- Top Middle Panel (Triangulation...):** Includes fields for 'Matches Id' (0), 'Parameters' (Detector(s): AKAZE/Threshold), 'Keypoints' (2302/8626/5728/5854), and 'Running time' (05:41.015). It has buttons for 'Show matching results...', 'Triangulation...', and 'Delete'.
- Top Right Panel (Create dense pointcloud...):** Includes fields for 'Triangulation Id' (0), 'Parameters' (New Incremental, MaxPa), 'Cameras' (116/116), 'Number of points' (63157), 'Residual errors' (2.19e-08/4.66/0.38/0.26), and 'Running time' (01:29.722). It has buttons for 'Create dense pointcloud...', 'Show triangulated points', 'Export to external MVS', and 'Delete'.
- Bottom Left Panel (Create Surface...):** Includes fields for 'Densification Id' (0), 'Densification type' (CMVS/PMVS), 'Parameters' (UseVis: yes Level: 1 Cell s), and 'Running time' (30:35.537). It has buttons for 'Create Surface...', 'Show point cloud', 'Export point cloud', 'Export scene to MeshLab', and 'Delete'.
- Bottom Right Panel (Show surface):** Includes fields for 'Surface Id' (0), 'Surface type' (Poisson reconstruction), 'Surface parameters' (Depth: 9 Samples per N), 'Colorization type' (Colored vertices), 'Colorization params' (Number of neighbours), and 'Running time' (00:11.842). It has buttons for 'Show surface', 'Export surface', and 'Delete'.

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

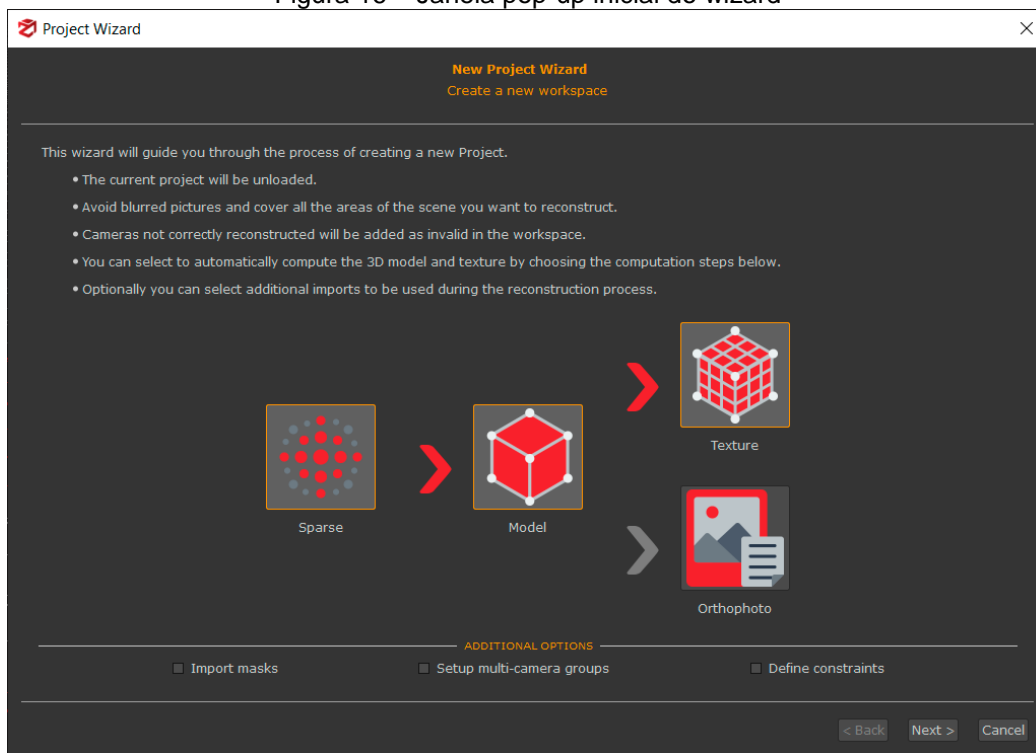
O processo é dividido em “Compute matches...”, “Triangulation”, “Create dense pointcloud...” e “Create Surface”. Ao final de cada etapa é possível exportar o resultado obtido, sendo que eles também podem ser obtidos acessando-se as pastas dentro diretório usado no projeto.

3.6.4 3DF Zephyr

Para obtenção de uma versão para testes do 3DF Zephyr é necessário preencher um pequeno cadastro com o fornecimento de um endereço de *e-mail* comercial ou institucional para recebimento de um *link* para *download* do arquivo de instalação e de um número de licença do *software*. Após a sua instalação e ativação, para iniciar a reconstrução, é necessário criar um projeto (menu

“Workflow/New Project...”), que leva à abertura uma janela de *wizard*¹², guiando o processo (Figura 16).

Figura 16 – Janela pop-up inicial do wizard



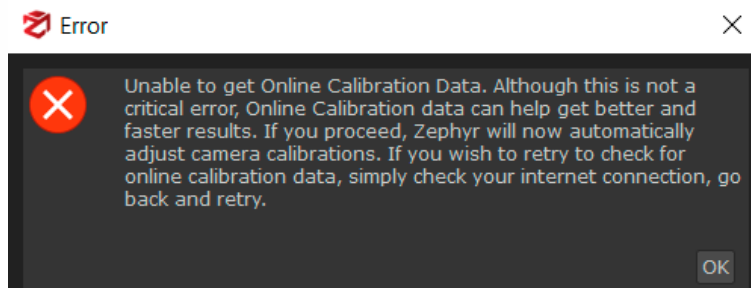
Fonte: elaborado pelo autor (2024)

As telas seguintes pedem a importação das imagens e a calibração da câmera usada (caso ela tenha sido feita, não sendo o caso neste estudo). Como o equipamento usado estava *offline*, o software retornou mensagem informando que não havia achado dados de calibração *online* (

¹² *Wizard* é uma ferramenta interativa que auxilia a realização de uma tarefa, separando-a em partes e funcionando como um passo-a-passo, orientando o usuário no fornecimento das informações necessárias para cada etapa e no cumprimento da tarefa em uma ordem determinada, com os passos seguintes podendo depender das informações fornecidas nos passos anteriores (BUDIU, 2017).

Figura 17). Assim, somente para esta etapa, o *notebook* foi conectado à Internet. Convém ressaltar que o 3DF Zephyr indica que esta opção não é mandatória.

Figura 17 – Janela pop-up informando a ausência de dados de calibração online

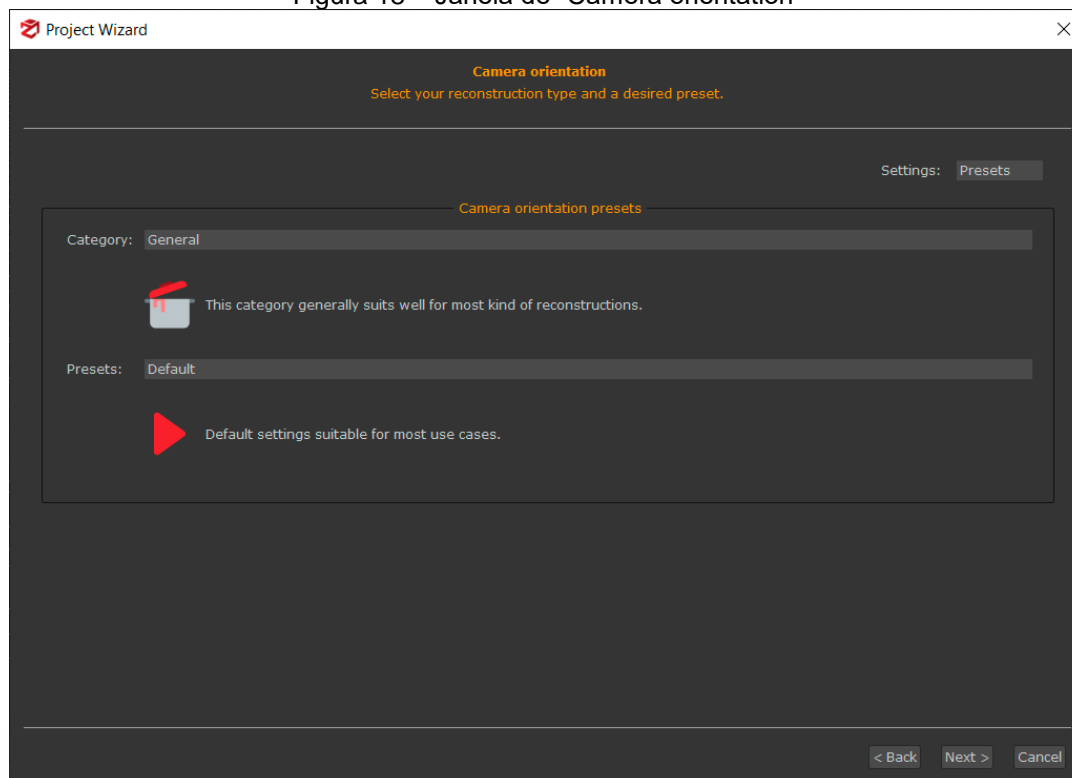


Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Em seguida, são apresentadas janelas para definição dos parâmetros das etapas de “Camera orientation”, “Dense Point Cloud creation” e “Texturing”; etapas estas correspondentes ao produto final selecionado no começo do processo (Figura 16).

Com a manutenção de “Presets” para a opção “Settings” no canto superior direito, para cada uma destas etapas, é possível escolher configurações para os itens “Category” e “Presets” (Figura 18).

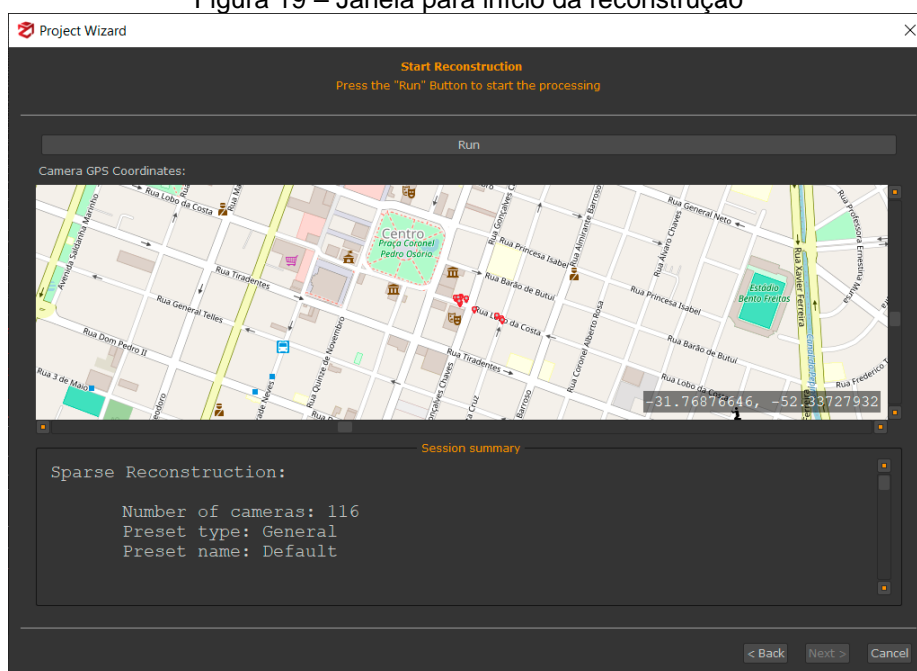
Figura 18 – Janela de “Camera orientation”



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Conforme o estabelecido para o estudo, as opções iniciais apresentadas pelo *software* foram mantidas (“General” para “Category” e “Default” para “Presets”). A tela seguinte apresenta um resumo das opções escolhidas para a reconstrução, as coordenadas de GPS da câmera usada e o botão “Run” para iniciar, de fato, a reconstrução (Figura 19).

Figura 19 – Janela para início da reconstrução



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Após o processamento, uma janela afirmando o sucesso da reconstrução apareceu, sendo que o resultado pode ser observado na interface após o fechamento da janela pop-up (

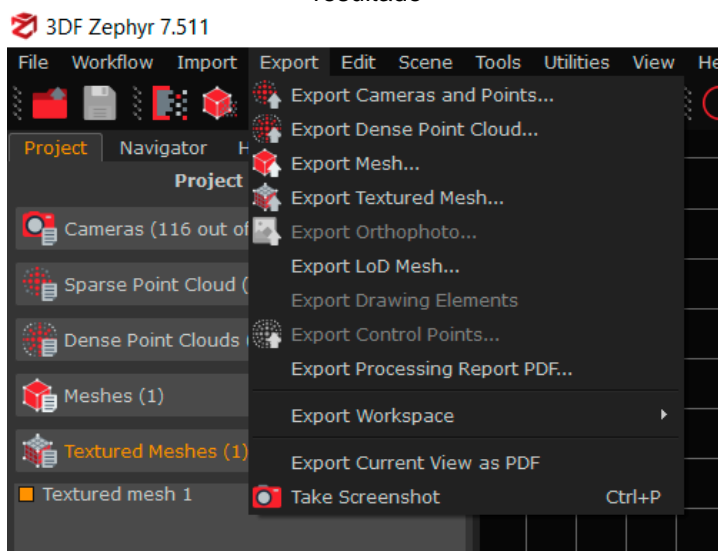
Figura 20 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) O resultado final pode ser exportado em diversas extensões no meu “Export” (Figura 21).

Figura 20 – Detalhe da interface do 3DF Zephyr mostrando a malha poligonal e a posição das câmeras



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Figura 21 – Detalhe da interface do 3DF Zephyr mostrando item de menu para exportação do resultado

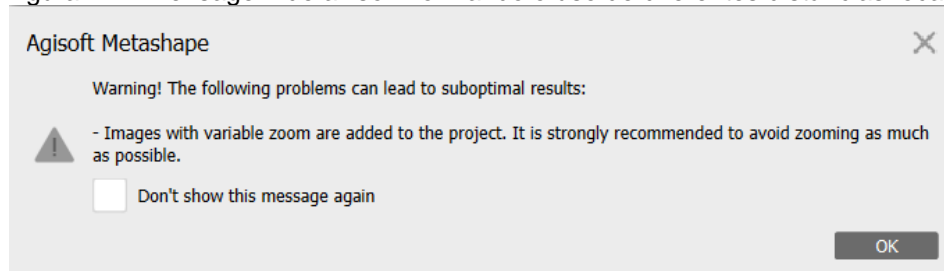


Fonte: elaborado pelo autor (2024)

3.6.5 Agisoft Metashape

Para o início da reconstrução, no item de menu “Workflow”, é preciso escolher a opção “Add Photos...”. Após a importação das fotos, o Metashape retornou mensagem informando que imagens com *zoom* variável¹³ devem ser evitadas (Figura 22).

Figura 22 – Mensagem de aviso informando o uso de diferentes distâncias focais



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

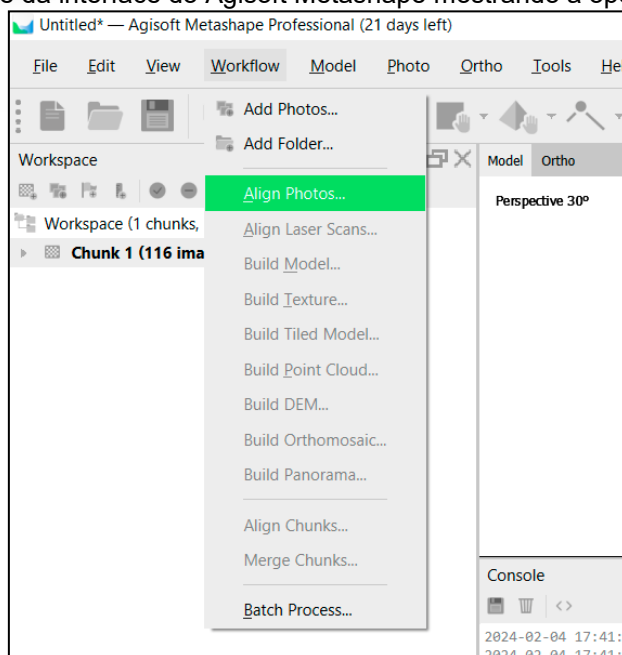
No menu “Workflow”, a etapa da posterior à importação das imagens é o seu alinhamento (

¹³ O *software* deve ter interpretado as diferentes distâncias usadas entre a camera e o objeto para obtenção das imagens como uso de uma lente com *zoom* variável.

Figura 23 e Figura 24

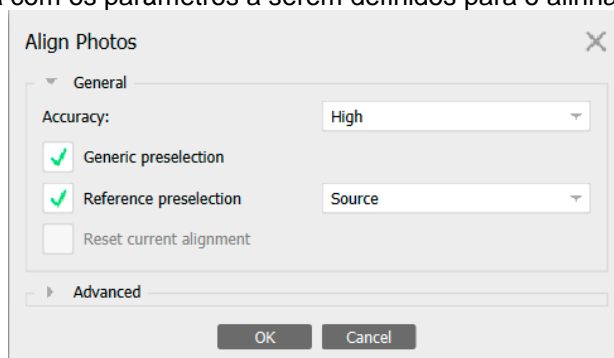
Figura 23).

Figura 23 – Detalhe da interface do Agisoft Metashape mostrando a opção “Align Photos...”



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Figura 24 – Janela com os parâmetros a serem definidos para o alinhamento das imagens

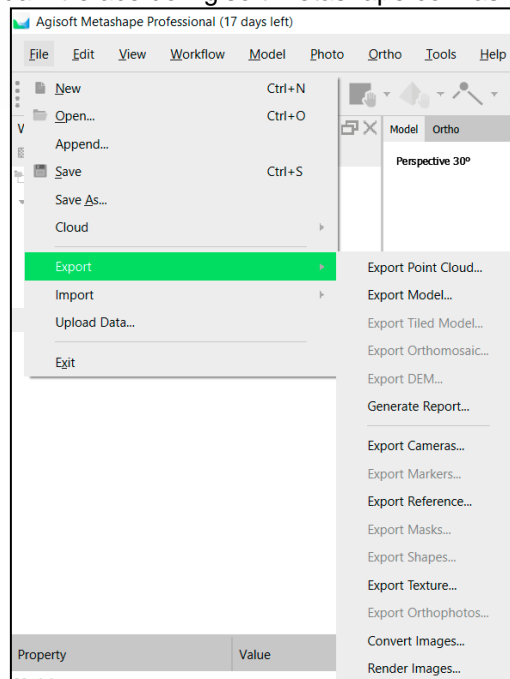


Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Ao final desta etapa, ainda no menu “Workflow”, a opção seguinte é “Build Model...”. Após este processamento, a última etapa é a obtenção de uma malha texturizada, em “Build Texture...”. Para exportação do resultado, usa-se a opção “File/Export” (

Figura 25).

Figura 25 – Detalhe da interface do Agisoft Metashape com as opções de exportação

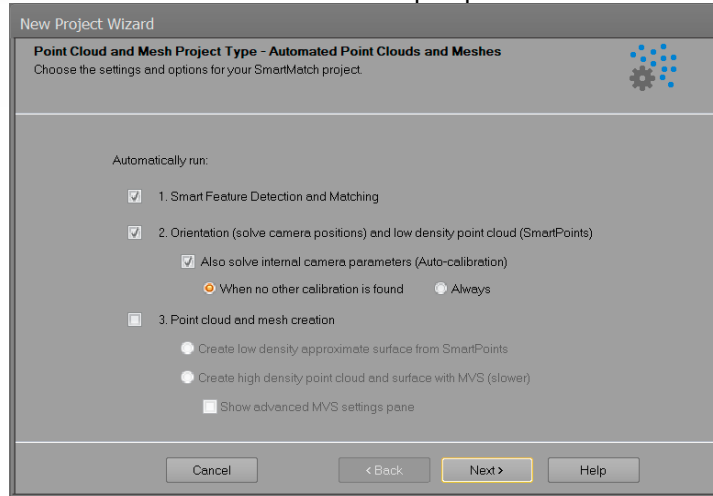


Fonte: elaborado pelo autor (2024)

3.6.6 Photomodeler Premium

Após o registro do *software*, ao começar um novo projeto (“Start a new project...”), o usuário é levado a uma janela com as opções oferecidas pelo Photomodeler Premium. Para obtenção do resultado desejado neste estudo, tem-se a opção “Smartmatch / DSM Project”. A escolha desta opção leva a um *wizard* que mostra a sequência do processo para que seja definido até que ponto da reconstrução o projeto será levado: “SmartFeature Detection and Matching”, “Orientation” e “Point cloud and mesh creation” (Figura 26).

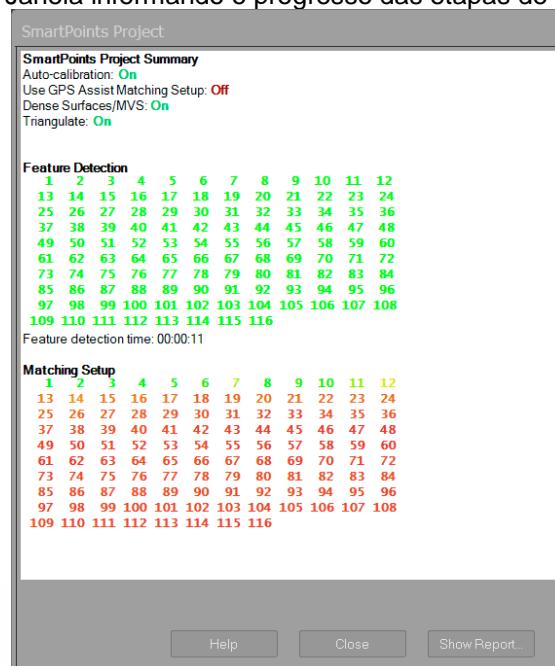
Figura 26 – Tela do wizard com as etapas possíveis da reconstrução



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Por definição, a opção “3. Point cloud and mesh creation” aparece desmarcada, sendo necessário selecioná-la para obtenção deste tipo de resultado. Na janela seguinte são adicionadas as imagens ao projeto e o prosseguimento dos passos do *wizard* leva ao início da reconstrução. Enquanto a reconstrução está sendo executada, uma janela *pop-up* sobre a interface informa o andamento do processo (Figura 27).

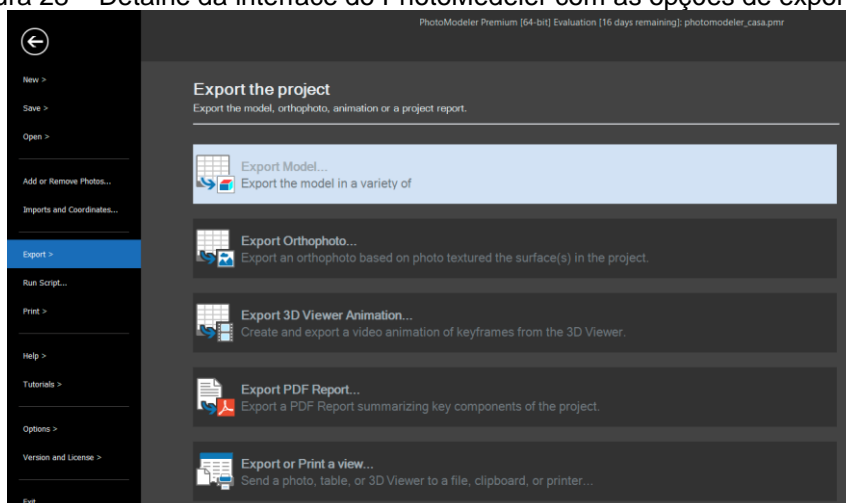
Figura 27 – Janela informando o progresso das etapas de reconstrução.



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Ao final do processo, é possível exportar o resultado pela opção “File/Export” do menu principal. No caso deste estudo, pela opção em destaque na Figura 28.

Figura 28 – Detalhe da interface do PhotoMedeler com as opções de exportação



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

4 RESULTADOS

Em relação ao **processo de reconstrução** pelos *softwares*, somente o **Meshroom** aceitou a importação de imagens na extensão “dng”. Acreditava-se que, pelo uso da biblioteca Freemage¹⁴, o **Colmap** também a aceitaria, o que não aconteceu. A documentação do **Regard3D** apresenta a sua limitação ao uso de imagens em “jpg” somente (REGARD3D, 2017), sendo esperado que não importasse as imagens em “dng”. Dentre os *softwares* pagos, somente o **PhotoModeler Premium** não importou as imagens em “dng”.

O **Meshroom** não permite a exportação do resultado final; ele é obtido na extensão “obj”, a escolhida para este estudo. Entretanto, ele permite a mudança da extensão das imagens da textura. O **Colmap** também não permite a exportação do resultado final em outros formatos; ele é disponibilizado em “ply”. O **Regard3D** exporta os resultados nestas duas extensões; entretanto, ele só separa

¹⁴ Disponível em: <<https://freemage.sourceforge.io/documentation.html>>. Acesso em: 29 set. 2021

a textura em imagens se esta definição for feita durante o processo de reconstrução. Os demais *softwares* foram capazes de exportar malhas texturizadas na extensão “obj”, com imagens em “png”; à exceção do **Photodeler Premium**, que exporta a textura em “jpg” e outras extensões, mas não “png”.

Interrupções no processo de reconstrução ocorreram somente em dois *softwares*: o **Regard3D** solicitou informações sobre sensor usado na câmera do Motorola Edge 20, que não estava em seu banco de dados, impossibilitando o seu início até o fornecimento deste dado; o **Agisoft Metashape** indicou possíveis problemas na reconstrução devido ao uso de diferentes *zooms*, como exemplificado anteriormente, mas tal mensagem não impediu o prosseguimento da reconstrução.

O **PhotoModeler Premium** e o **3DF Zephyr** guiam o processo de reconstrução por meio de *wizards* que apresentam, sequencialmente, as etapas necessárias para a obtenção do produto e, conseqüentemente, os parâmetros passíveis de regulação. Apesar de não apresentarem tal recurso, o **Agisoft Metashape** e o **Regard3D** não são inscrutáveis em relação ao que deve ser feito para a obtenção do produto desejado. Enquanto o **Agisoft Metashape** apresenta os itens necessários para uma reconstrução básica todos no mesmo menu, em seqüência, o **Regard3D** só apresenta as etapas seguintes do processo após a anterior ser completada, solução que conduz o processo.

O **Meshroom** permite a reconstrução, depois da definição da *pipeline* e importação das imagens, somente com o clique em “Start”, e o **Colmap** permite usar o “Automatic Reconstruction”, que, após a importação das imagens, faz todo o processo.

Dentre os *softwares* analisados, somente o **Colmap** não possibilita a visualização da malha poligonal em sua interface, sugerindo o **Meshlab** para esta tarefa (sua capacidade de visualização de resultados vai até a nuvem densa de pontos).

Todos os *softwares* salvam um arquivo de projeto para eventual posterior edição e/ou conferência, mas alguns pedem que o arquivo de projeto seja criado antes da importação das imagens e outros permitem o salvamento após a reconstrução.

Em relação à **reconstrução do ornato**, todos os *softwares* conseguiram fazê-lo a partir das imagens obtidas (

Tabela 1), sendo todas as 116 fotografias reconhecidas.

Tabela 1: dados das reconstruções

	Software	Tempo de processamento	Tamanho do arquivo	Vértices	Faces
	Colmap	175min	399.723 KB (ply)	9.099.406	18.186.641
Gratuitos	Meshroom	115min	174.729 KB (obj)	1.213.247	2.413.552
			12.197 KB (png)		
			12.906 KB (png)		
			8.821KB (png)		
			1KB (mtl)		
	Regard3D	38min58	42.844 KB (obj)	250.374	500.196
	3DF Zephyr	22min	44.983 KB (obj)	202.630	404.726
			85.941 KB (png)		
			73.151 KB (png)		
			1KB (mtl)		
Pagos	Agisoft Metashape	13min	32.385 KB (obj)	200.077	399.814
			266.621 KB (png)		
			1KB (mtl)		
			1.821 KB (obj)	8.057	15.827
PhotoModeler Premium	49min	1.369 KB (jpg)			
		1KB (mtl)			

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Pode-se notar que, em usando as configurações padrão dos *softwares*, os gratuitos **Meshroom** e **Colmap** geraram modelos com maior número de vértices e de faces. O **Regard3D**, apesar de figurar em terceiro lugar, gerou modelo mais próximo ao dos *softwares* pagos **Agisoft Metashape** e **3DF Zephyr** em número de vértices, em torno de 200 mil, enquanto o **PhotoModeler Premium** registrou o menor número.

Considerando o número de vértices e faces gerados e o tempo de processamento (

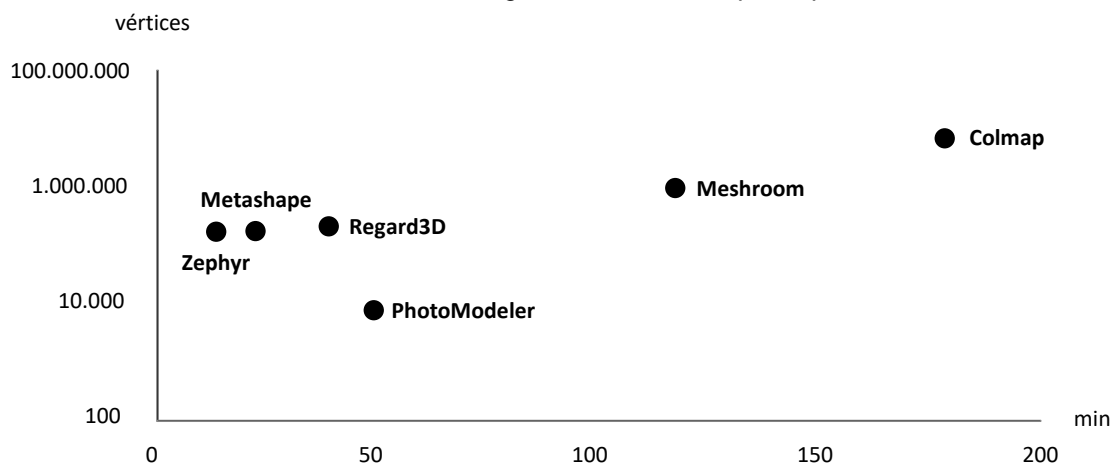
Tabela 2), nota-se que, à exceção do **PhotoModeler Premium**, quanto maior o número de vértices e faces, maior foi o tempo de reconstrução (Gráfico 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Tabela 2: número de vértices gerados e tempo de processamento

	Software	Vértices	Tempo de processamento
Gratuito	Colmap	9.099.406	175min
Gratuito	Meshroom	1.213.247	115min
Gratuito	Regard3D	250.374	38min
Pago	3DF Zephyr	202.630	22min
Pago	Metashape	200.077	13min
Pago	PhotoModeler	8.057	49min

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Gráfico 1 – número de vértices gerados versus tempo de processamento



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

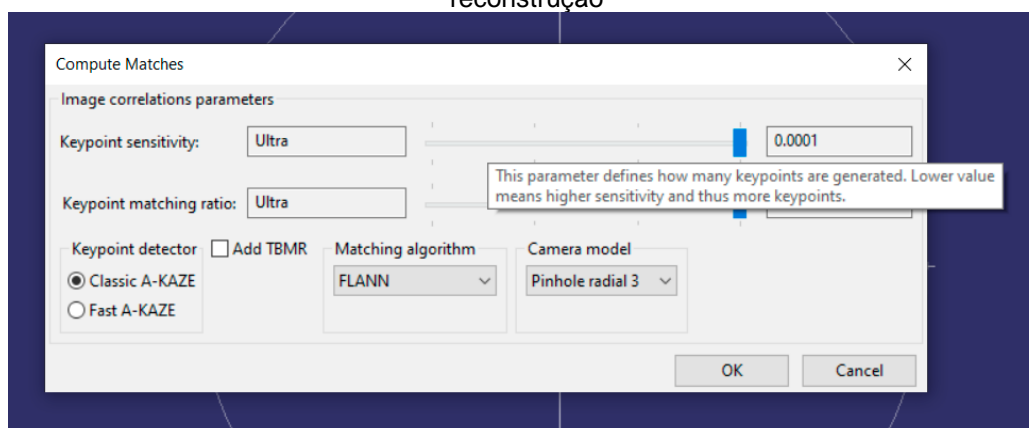
Apesar do estudo não ter por objetivo avaliar a qualidade dos modelos obtidos em si, em virtude da discrepância entre os números de vértices das malhas poligonais dos modelos obtidos pelos *softwares* gratuitos **Colmap** e **Meshroom** e pelos *softwares* pagos e o **Regard3D**, iniciou-se a reconstrução novamente nestes últimos, agora mudando os parâmetros para obtenção de maior qualidade, como forma de verificar as maneiras de obtenção para

resultados semelhantes.

No **Regard3D**, as únicas definições de parâmetros por rótulos qualitativos apresentadas pelo *software* no processo de reconstrução são as de “Keypoint sensitivity” e “Keypoint matching ratio” na etapa de “Compute Matches”. Assim, tais parâmetros foram definidos como “Ultra” (

Figura 29).

Figura 29 – Detalhe da interface do Regard3D mostrando os parâmetros alterados na segunda reconstrução



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

No **3DF Zephyr**, com a mudança das predefinições (“Presets”) para “Deep” em “Camera orientation” e para “High details” em “Dense Point Cloud creation” e “Texturing”, foi possível gerar um novo modelo. No **Agisoft Metashape**, em “Align Photos”, a acurácia (“Accuracy”) foi definida como “Highest”; em “Build Model”, a qualidade (“Quality”), como “Ultra high”; e, em “Build Texture”, o “Mapping mode” como “high quality”, tendo o *software* gerado um novo modelo, também.

Entretanto, no **PhotoModeler Premium** o *software* encerrou após 51 minutos de processamento, o que se repetiu por mais duas tentativas. Assim, buscou-se uma alternativa para obtenção deste modelo. Inicialmente, procurou-se desinstalar o *software* e instalá-lo no outro *drive* do *notebook* em uso que dispunha de mais espaço; entretanto, tal tentativa de mudança corrompeu algum arquivo ou registro necessário para instalação do *software*, o que levou à impossibilidade de instalá-lo novamente em qualquer um dos *drives* do

notebook¹⁵.

Assim sendo, instalou-se uma nova versão de avaliação do **PhotoModeler Premium** em outro *notebook*¹⁶ disponível para o estudo. Em virtude da configuração inferior apresentada, era esperado que neste equipamento também houvesse problema na reconstrução, o que de fato ocorreu. Mas foi possível gerar um modelo de maior qualidade somente com a mudança no item “3. Point cloud and mesh creation” para “Create high densit point cloud and surface with MVS (slower)” sem escolher a opção “Show advanced MVS settings pane” (Figura 26) com a qual houve o problema de travamento.

Apesar da medição do tempo ficar prejudica pela reconstrução haver sido feita em equipamento de menor capacidade de processamento, em virtude do elevado tempo de processamento, pode-se supor que ele aumentaria consideravelmente, mesmo que em grandeza menor.

Assim, com estas novas definições, aumentou-se o tempo de processamento dos modelos e o número de vértices apresentados por eles (

Tabela 3).

Tabela 3: dados das reconstruções nos *softwares* pagos e no Regard3D com definições para maior qualidade

	Software	Tempo de processamento	Tamanho do arquivo	Vértices	Faces
Gratuito	Regard3D	244min	46.137 KB (obj)	268.592	536.624
			533.693 KB (obj)		
	Metashape	92min	253.774 KB (png)	3.032.761	6.061.118
			1 KB (mtl)		
Pagos			117.342 KB (obj)		
	3DF Zephyr	46min	72.943 KB (png)	449.832	998.046
			7.259 KB (png)		
			1 KB (mtl)		

¹⁵ Mesmo o serviço de suporte do PhotoModeler Premium não foi capaz de apresentar uma solução para o problema.

¹⁶ *Notebook* Samsung, com processador Intel®Core™ i7-5500U, CPU @ 2.40GHz, 16 GB de memória RAM instalada, sistema Windows 10 Home Single Language de 64 bits, disco rígido de 1 T, com placa de vídeo NVIDIA GeForce 910M, com capacidade de computação de 5.2 (em uma escala de produtos disponíveis entre 2.0 e 8.6).

		508.744 KB (obj)		
PhotoModeler	1.289min	1.463 KB (jpg)	7.482.294	350.096
		1 KB (mtl)		

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Como o modelo do **PhotoModeler** apresentou um número muito maior de vértices em relação ao número de faces, inspecionou-se a malha triangular no *software* MeshLab¹⁷, o qual informou a existência de 7306373 vértices não referenciados a faces. A eliminação de tais vértices levou a um modelo com 175.921 vértices, mais compatível com o número de faces geradas. A Tabela 4 mostra os resultados dos demais *softwares* juntamente com o do **PhotoModeler** ajustado.

Tabela 4: número de vértices gerados por cada software (pagos com configurações para qualidade máxima)

	Software	Vértices
Gratuito	COLMAP	9.099.406
Pago	Metashape	3.032.761
Gratuito	Meshroom	1.213.247
Pago	3DF Zephyr	449.832
Gratuito	Regard3D	268.592
Pago	PhotoModeler	175.921

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

5 DISCUSSÃO

O uso de *wizards* no **PhotoModeler** e no **3DF Zephyr** permite ao usuário obter o resultado desejado sem conhecimento técnico aprofundado sobre o funcionamento de tais ferramentas, ao mesmo tempo que possibilita o entendimento das etapas necessárias para a reconstrução tridimensional a partir de imagens

¹⁷ Disponível em: < <https://www.meshlab.net/>>. Acesso em: 18 fev. 2024

ao apresentá-las sequencialmente, possibilitando ao usuário uma compreensão inicial do processo.

Softwares como o **Meshroom** e o **Colmap**, ao apresentarem uma alternativa de reconstrução a partir de um clique após a importação das imagens, também não exigem conhecimento técnico aprofundado. A disposição dos nós no **Meshroom**, dispostos de maneira sequencial, também informam ao usuário as etapas de reconstrução de maneira didática; o **Colmap**, por sua vez, só apresenta as etapas que estão sendo realizadas pela janela de *status* da reconstrução.

O **Agisoft Metashape**, apesar de não disponibilizar um *wizard* ou possibilitar a reconstrução com um só clique, apresenta todas as etapas do processo em um só menu (“Workflow”), o que pode facilitar o trabalho do usuário, desde que ele tenha algum conhecimento teórico do processo de reconstrução tridimensional. Este *software* até apresenta a opção de criação de um processo automatizado (“batch process”) para obtenção do produto de reconstrução desejado, mas é o usuário que precisa definir quais etapas serão incluídas.

O **Regard3D** só apresenta as etapas subsequentes do processo após a anterior estar concluída, guiando o usuário, mas também exigindo que ele tenha algum conhecimento do processo de reconstrução. Entretanto, ele não apresenta os itens em ordem após completar uma etapa, podendo levar à dúvida de qual é a etapa seguinte (

Figura 15).

Em se tratando da **exportação do resultado** obtido neste estudo, os *softwares* pagos permitem a exportação em diferentes extensões. O **Meshroom** e o **Colmap** não permitem a exportação em diferentes extensões, enquanto o **Regard3D** permite exportá-lo nas extensões “ply” e “obj”.

Quando usadas as configurações padrão, os *softwares* gratuitos produziram modelos com maior número de vértices do que os pagos, situação que não se repetiu quando estes foram ajustados para resultados de melhor qualidade.

Entretanto, o **PhotoModeler**, quando ajustado para melhor qualidade, sobrecarregou o *hardware* utilizado, não chegando ao resultado final e precisando ter sua configuração de qualidade reduzida. O **3DF Zephyr**, após ajuste dos parâmetros de maior qualidade do modelo, gerou um arquivo com maior número de vértices, mas apresentou problema geração do arquivo de textura (

Figura 30).

Figura 30 – Modelo gerado pelo 3DF Zephyr com ausência de parte da textura



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção de modelos tridimensionais digitais com o uso de *softwares* fotogramétricos em suas configurações padrão atinge resultados potencialmente mais precisos com os *softwares* gratuitos do que com os pagos, considerando o número de vértices e, conseqüentemente, de faces. Mas os *softwares* pagos, com ajustes que não demandam conhecimento técnico aprofundado, podem atingir resultados da mesma ordem com mudanças de fácil realização nos parâmetros de reconstrução. Uma outra vantagem dos *softwares* pagos é o maior número de extensões nos quais eles conseguem exportar os resultados obtidos.

Tais resultados mostram que potenciais usuários iniciantes, estudantes, ou mesmo profissionais, sem conhecimento aprofundado sobre o processo de reconstrução tridimensional por fotogrametria, podem obter bons resultados com *softwares* fotogramétricos sem a necessidade de configurá-los ou realizando ajustes que não demandam expertise técnica.

Resta considerar se as potenciais facilidades de uso dos *softwares* pagos compensam os custos atrelados à assinatura/aquisição de tais *softwares*, tendo em vista que o uso profissional de tais ferramentas vai, eventualmente, depender de um aprofundamento no manejo dos parâmetros a serem definidos para produção dos modelos e que existem outros *softwares* gratuitos que podem fazer a conversão dos resultados pelos *softwares* fotogramétricos em diversas extensões.

Como limitação deste estudo, coloca-se não ser possível generalizar os resultados apresentados para toda e qualquer reconstrução realizada pelos *softwares*. Trabalhos futuros poderão superar tal limitação ao usar um número maior

de objetos nas reconstruções. Tais reconstruções deverão usar objetos com diferentes características formais e materiais e os resultados deverão ser comparados com os obtidos por algum método de digitalização tridimensional conhecido pelo atingimento de resultados mais precisos, como, por exemplo, os resultados alcançados por equipamentos de escaneamento por luz estruturada em termos dimensionais. Além disso, para afirmar que alguns *softwares* são consideravelmente mais fáceis de usar, deverão ser realizados testes de usabilidades junto a usuários.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

3DFLOW SRL. **3DF ZEPHYR**. 2024. Disponível em: <https://www.3dflow.net/3df-zephyr-photogrammetry-software/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

ACKE, L.; DE VIS, K.; VERWULGEN, S.; VERLINDEN, J. Survey and literature study to provide insights on the application of 3D technologies in objects conservation and restoration. **Journal of Cultural Heritage**, v. 49, p. 272-288, 2021. DOI: 10.1016/j.culher.2020.12.003.

AGISOFT. **Discover intelligent photogrammetry with Metashape**. 2023. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

AUTODESK. **Autodesk ReCap Pro: transforme o físico em digital**. 2024. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. Acesso em: 25 jan. 2024.

BUDIU, R. **Wizards: Definition and Design Recommendations**. 2017. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/wizards/>. Acesso em: 14 fev. 2024.

FASSI, F.; CAMPANELLA, C. From daguerreotypes to digital automatic photogrammetry. Applications and limits for the built heritage project. In: Geomatics & Restoration – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era. **Proceedings** [...] Florence: 2017. p. 313-319. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-313-2017>.

GUTIERREZ, E. J. B. **Barro e Sangue: mão-de-obra, arquitetura e urbanismo em Pelotas (1777-1888)**. 1999. 549 p. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

IPHAN. **Patrimônio Vivo - Pelotas/RS**. Brasília: IPHAN/Programa Monumenta, 2007, 116 p. (Preservação e Desenvolvimento).

IPHAN. **Pelotas (RS)**. 201?. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/281>. Acesso em: 12 dez. 2022.

KINGSLAND, K. Comparative analysis of digital photogrammetry software for cultural heritage. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 18, p. 1-10, 2020. DOI: 10.1016/j.daach.2020.e00157.

PHOTOMODELER TECHNOLOGIES. **Use Your Camera to Measure and Model the Real World**. [2024?]. Disponível em: <https://www.photomodeler.com/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

RAHAMAN, H. Photogrammetry: What, How, and Where. In: CHAMPION, E. M. **Virtual Heritage**. 1. ed. Londres: Ubiquity Press, 2021. cap. 2, p. 25-38.

REGARD3D. **Picture Set**. 2017. Disponível em: <https://www.regard3d.org/index.php/documentation/details/picture-set>. Acesso em: 6 out. 2022.

ROBLES, L. G.; GARCÍA, V. Q. Nuevas tecnologías para difundir el Patrimonio Cultural. **e-rph, Revista Electrónica de Patrimonio Histórico**, n. 4, p. 150-173, 2009. Disponível em: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/erph/article/view/18249/17820>. Acesso em: 15 jun. 2021.

RUPNIK, E.; DAAKIR, M.; DESEILLIGNY, M. P. MicMac – a free, open-source solution for photogrammetry. **Open Geospatial Data, Software and Standards**, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2017. DOI: 10.1186/s40965-017-0027-2.

SECRETARIA MUNICIPAL DE CULTURA. Prefeitura Municipal de Pelotas. **Manual do usuário de imóveis inventariados**. Pelotas: Nova prova, 2008, 104 p.

TAKAHASHI, Y.; CHIKATSU, H. 3D Modelling and visualization of cultural heritage using mobile phone cameras. In: 3rd ISPRS international workshop 3D-ARCH. **Proceedings** [...] Trento: 2009. Disponível em: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W1/pdf/takahashi_chikatsu.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

YILMAZTURK, F.; GURBAK, A. E. Geometric evaluation of mobile-phone camera images for 3D information. **International Journal of Optics**, v. 2019, p. 1-11, 2019. DOI: 10.1155/2019/8561380.