



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Roger Langone Leal

**TECNOLOGIAS 3D DE BAIXO CUSTO APLICADAS AO PATRIMÔNIO:
possibilidades e limitações na produção de réplicas de ornatos em estuque**

Tese de Doutorado

Porto Alegre
2024

ROGER LANGONE LEAL

**TECNOLOGIAS 3D DE BAIXO CUSTO APLICADAS AO PATRIMÔNIO:
possibilidades e limitações na produção de réplicas de ornatos em estuque**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Design.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Léia Miotto Bruscato

Porto Alegre
2024

CIP - Catalogação na Publicação

Langone Leal, Roger
TECNOLOGIAS 3D DE BAIXO CUSTO APLICADAS AO
PATRIMÔNIO: possibilidades e limitações na produção
de réplicas de ornatos em estuque / Roger Langone
Leal. -- 2024.
209 f.
Orientador: Léia Miotto Bruscato.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Estuque. 2. Digitalização tridimensional. 3.
Manufatura digital. 4. Restauro. I. Miotto Bruscato,
Léia, orient. II. Título.

Roger Langone Leal

**TECNOLOGIAS 3D DE BAIXO CUSTO APLICADAS AO PATRIMÔNIO:
possibilidades e limitações na produção de réplicas de ornatos em estuque**

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de Doutor em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 25 de abril de 2024.

Fabio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Léia Miotto Bruscato

Programa de Pós-Graduação em Design – PGDesign/UFRGS

Prof.^a Dr.^a Daniele Baltz da Fonseca

Programa de Pós-Graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural – PPGMP/
UFPel – Examinadora Externa

Prof. Dr. Felipe Luis Palombini

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo –
PPGAUP/UFSM – Examinador Externo

Prof. Dr. Eduardo Cardoso

Programa de Pós-Graduação em Design – PGDesign/UFRGS – Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

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

RESUMO

LEAL, R. L. **Tecnologias 3D de Baixo Custo Aplicadas ao Patrimônio:** possibilidades e limitações na produção de réplicas de ornatos em estuque. 2024. 209 f. (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

O objetivo desta pesquisa foi verificar a adequação de tecnologias 3D de baixo custo para uso na produção de réplicas de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque, em comparação com tecnologias de mais alto custo mas com maior precisão dimensional. Trata-se de um estudo de abordagem qualitativa e quantitativa e de natureza aplicada dividido em nove etapas, a saber: planejamento inicial; fundamentação teórica; definição da amostra; digitalização tridimensional por fotogrametria; avaliação dos modelos digitais tridimensionais; produção de réplicas por manufatura aditiva; produção de moldes; produção de réplicas e avaliação das réplicas. Teve como amostra uma gárgula presente nos balcões das janelas do Museu do Doce e um ornato na entrada da sede do Museu de Arte Leopoldo Gotuzzo em Pelotas/RS. Os instrumentos usados para obtenção das imagens para reconstrução fotogramétrica foram um *smartphone* Motorola Edge 20 e dois *notebooks* foram utilizados para a reconstrução digital dos ornatos. Os programas selecionados para a geração dos modelos tridimensionais digitais foram: Colmap, Meshroom, Regard3D, Multi-View Environment e MicMac. Também foram selecionados os aplicativos para Android Polycam, Scann3D e Kiri Engine. Os modelos dos ornatos obtidos por fotogrametria foram comparados com modelos digitalizados por luz estruturada pelo parâmetro de desvio quadrático médio (RMS). As réplicas dos ornatos foram produzidas por moldagem em silicone a partir dos modelos impressos por extrusão de material e estereolitografia mascarada por tela de cristal líquido, sendo esta última definida como padrão de referência. A avaliação das réplicas foi realizada por meio de análise visual comparativa entre as peças produzidas com baixo custo frente às peças com as tecnologias de referência. O RMS denotou a discrepância dimensional do modelo obtido por fotogrametria em relação ao modelo tridimensional de referência digitalizado por luz estruturada. Os melhores modelos obtidos por fotogrametria em relação ao modelo de referência foram os produzidos pelo Colmap, pelo Meshroom e pelo Kiri. Entretanto, o modelo do Kiri apresentou uma menor necessidade de pós-processamento digital, com menos áreas para reconstrução. Assim sendo, os modelos gerados por ele foram escolhidos para produção de ambas as réplicas. Pode-se concluir que, dependendo das características do projeto em questão, as tecnologias 3D de baixo custo podem entregar resultados comparáveis a tecnologias de mais alto custo e com maior precisão dimensional.

Palavras-chave: Estuque. Digitalização tridimensional. Manufatura digital. Restauro.

ABSTRACT

LEAL, R. L. **Low-Cost 3D Technologies Applied to Heritage:** possibilities and limitations in the production of replicas of stucco ornaments. 2024. 209 p. Thesis (Doctorate in Design) – Engineering School / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

The objective of this research was to verify the suitability of low-cost 3D technologies for use in the production of replicas of architectural ornaments produced in stucco, in comparison with higher-cost technologies of greater dimensional precision. This is a study with a qualitative and quantitative approach and of an applied nature divided into nine stages, namely: initial planning; theoretical foundation; sample definition; three-dimensional scanning by photogrammetry; evaluation of three-dimensional digital models; production of replicas by additive manufacturing; mold production; production of replicas and evaluation of replicas. The sample included a gargoyle present on the window balconies of the Museu do Doce and an ornament at the entrance to the Museu de Arte Leopoldo Gotuzzo headquarters in Pelotas/RS. The instruments used to obtain images for photogrammetric reconstruction were a Motorola Edge 20 smartphone and two notebooks were used for digital reconstruction of the ornaments. The programs selected to generate the digital three-dimensional models were: Colmap, Meshroom, Regard3D, Multi-View Environment and MicMac. Applications for Android, Polycam, Scann3D and Kiri Engine were also selected. The models of the ornaments obtained by photogrammetry were compared with models digitized by structured light using the mean square deviation (RMS) parameter. The replicas of the ornaments were produced by silicone molding from the models printed by material extrusion and stereolithography masked by a liquid crystal screen, the latter being defined as the reference standard. The evaluation of the replicas was carried out through comparative visual analysis between parts produced at low cost compared to parts using reference technologies. The RMS denotes the dimensional discrepancy of the model obtained by photogrammetry in relation to the three-dimensional reference model digitized by structured light. The best models obtained by photogrammetry in relation to the reference model were those produced by Colmap, Meshroom and Kiri. However, the Kiri model presented less need for digital post-processing, with fewer areas for reconstruction. Therefore, the models generated by him were chosen to produce both replicas. It can be concluded that, depending on the characteristics of the project in question, low-cost 3D technologies can deliver results comparable to higher-cost technologies with greater dimensional precision.

Keywords: Stucco. Three-dimensional scanning. Digital manufacturing. Restoration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistematização das camadas e materiais da técnica do estuque	31
Figura 2 – Forma de taceiros	33
Figura 3 – Molde de silicone em cama de gesso e ornato nele produzido	36
Figura 4 – Vista do conjunto tombado pelo IPHAN, do qual faz parte o Casarão 8 (em primeiro plano)	38
Figura 5 – O Casarão antes do restauro	39
Figura 6 – Fachada principal da Escola Eliseu Maciel (praça Sete de Julho) poucos anos após a sua inauguração, quando ainda era chamada de Lyceu Rio-Grandense	41
Figura 7 – Detalhe da fachada da Escola antes do restauro	44
Figura 8 – Exemplo do esquema tripartido na fachada principal do Casarão 8	46
Figura 9 – Exemplo do esquema tripartido na fachada secundária do Casarão 8 (rua Barão de Butuí)	46
Figura 10 – Frontão da fachada secundária do Casarão 8, com uma representação do deus Hermes à direita	47
Figura 11 – Estuque no forro da sala de música do Casarão 8	47
Figura 12 – Fachada principal da sede do MALG, 2022	48
Figura 13 – Ornato localizado à direita da entrada do museu	49
Figura 14 – Ornato localizado à esquerda da entrada do museu	50
Figura 15 – Ornato com a inscrição “INDUSTRIA”	50
Figura 16 – Detalhe do frontão do prédio	51
Figura 17 – Rosto acima do frontão, provavelmente uma representação do deus Apolo	51
Figura 18 – Diagrama esquemático da manufatura aditiva por extrusão de material	65
Figura 19 – Forro e ornatos antes do restauro (à esquerda), forro preenchido sem os ornamentos (à direita) e restauro finalizado (base da figura)	70
Figura 20 – “Parto de Frente”, modelo anatômico em cera do século XVIII com pé e braço danificados	71
Figura 21 – Fases do processo fotogramétrico: a) nuvem de pontos esparsa; b) nuvem de pontos densa; c) malha triangular tridimensional	71

Figura 22 – Molde elaborado em taceos para confecção em filamento flexível (programa Zbrush)	72
Figura 23 – Monumento a Bento Gonçalves e detalhe da placa de bronze presente no monumento (Avenida Azenha, Porto Alegre/RS)	74
Figura 24 – Detalhes das peças fabricadas por usinagem CNC (à esquerda) e por impressão por extrusão de material (à direita)	75
Figura 25 – Ornato escolhido no Museu do Doce para digitalização	78
Figura 26 – Ornato escolhido no MALG para digitalização	78
Figura 27 – Imagens do ornato do Museu do Doce da segunda (à esquerda) e terceira (à direita) coletas, mostrando o maior preenchimento da imagem pelo ornato na segunda imagem	86
Figura 28 – Interface do MVE sem a aba <i>SFM Reconstruct</i> (acima) e com a aba (abaixo)	88
Figura 29 – Digitalização por luz estruturada do ornato do Museu do Doce	89
Figura 30 – Digitalização por luz estruturada do ornato do MALG	90
Figura 31 – Impressora Sovol SV01 Pro	92
Figura 32 – Impressora Elegoo Saturn 2	93
Figura 33 – Ladrilhos usados como referência para manutenção da distância entre o ornato e a câmera	95
Figura 34 – Detalhe de imagem obtida do ornato apresentando um padrão	97
Figura 35 – Teste com CCTags para obtenção de escala	98
Figura 36 – Escala alternativa às CCTags	99
Figura 37 – Mesa usada para aproximação do ornato para realização das fotografias	99
Figura 38 – Imagens do ornato, em plano aberto (esq.) e fechado (dir.)	100
Figura 39 – Ornato fotografado na coleta piloto (à esquerda), com incidência direta de luz solar, e ornato fotografado na segunda coleta (à direita), à sombra	101
Figura 40 – Página de <i>download</i> do programa Regard3D	103
Figura 41 – <i>Download</i> do arquivo de instalação do Regard3D	103
Figura 42 – <i>Link</i> de <i>download</i> do programa Meshroom	104
Figura 43 – Página de <i>download</i> da versão para Windows® do Colmap	104
Figura 44 – Arquivo executável do Meshroom	105
Figura 45 – Arquivo executável do Colmap	105

Figura 46 – Página com as instruções para instalação da versão para Windows® do MicMac	106
Figura 47 – Tela de Propriedades do Sistema	106
Figura 48 – Tela de configuração das Variáveis de Ambiente	107
Figura 49 – Tela do <i>prompt</i> de comando com a lista de ferramentas do MicMac	107
Figura 50 – Tela do <i>site</i> com os arquivos relativos à interface gráfica (em destaque o arquivo “.txt” com a localização do arquivo “.msi” para <i>download</i>)	108
Figura 51 – Arquivo “.txt” com a localização do arquivo “.msi” para <i>download</i>	108
Figura 52 – Tela da interface gráfica AperoDeDenis com o item de menu que a associa ao MicMac	109
Figura 53 – Tela do sistema Windows® mostrando o local de instalação do MicMac para associação do programa à interface	109
Figura 54 – <i>Home</i> descontinuada do programa Multi-View Environment	110
Figura 55 – Interface do programa Multi-View Environment	110
Figura 56 – Página com os arquivos para construção do MVE	111
Figura 57 – Página com os arquivos para <i>download</i>	112
Figura 58 – Capturas de telas do tutorial apresentado pelo Scann3D	112
Figura 59 – Capturas de telas do tutorial apresentado pelo Polycam	113
Figura 60 – Capturas de telas do tutorial apresentado pelo Kiri Engine	113
Figura 61 – Detalhe do <i>prompt</i> de comando mostrando a falha no teste do programa	117
Figura 62 – Detalhe do Painel de controle da NVIDIA, mostrando a versão do driver do CUDA em Informações sobre o sistema	117
Figura 63 – Mensagem de erro do Regard3D	118
Figura 64 – Detalhe da interface do Regard3D mostrando a ausência do tamanho da largura do sensor	119
Figura 65 – Detalhe da interface do Regard3D mostrando a possibilidade de inserção da informação ausente nos arquivos de imagem	119
Figura 66 – Detalhe da interface do Regard3D mostrando a inserção do tamanho do sensor	120
Figura 67 – Detalhe da interface do Regard3D mostrando os campos atualizados	120
Figura 68 – Detalhe da página de ferramentas de <i>site</i> para cálculo de dimensões de sensor	121

Figura 69 – Janela “Triangulation” do programa Regad3D	122
Figura 70 – Detalhe da interface do Meshroom mostrando a nuvem de pontos do ornato fora dos limites da “bounding box”, em laranja	124
Figura 71 – Detalhe da interface do Meshroom, agora mostrando a nuvem de pontos do ornato dentro dos limites da “bounding box”	124
Figura 72 – Visualização do modelo do ornato do Museu do Doce com as imagens da segunda coleta	125
Figura 73 – Detalhe de tela da interface AperoDeDenis com a mensagem de erro	126
Figura 74 – Detalhe da interface do programa com a opção de menu para informar o tamanho do sensor	127
Figura 75 – Detalhe da interface do MicMac com o campo para inserção do tamanho do sensor	127
Figura 76 – Mensagem de sucesso da atualização do DicoCamera.xml	128
Figura 77 – Janela de propriedades de arquivo mostrando a ausência da informação sobre a distância focal equivalente à 35 mm	128
Figura 78 – Detalhe da interface AperoDeDenis mostrando o campo para inserção da distância focal equivalente à 35 mm	129
Figura 79 – Detalhe da interface AperoDeDenis mostrando conjunto de mensagens de erro	130
Figura 80 – Mensagem de erro informando imagens rejeitadas pelo programa	130
Figura 81 – Nuvens de pontos do ornato do MALG criadas a partir de 98 (à esq.), 95 (centro) e 33 imagens (à dir.)	131
Figura 82 – Malhas triangulares do ornato do MALG criadas a partir de 98 (à esq.), 95 (centro) e 33 imagens (à dir.)	131
Figura 83 – Detalhe da interface AperoDeDenis mostrando conjunto de mensagens de erro na tentativa de reconstrução do ornato do Museu do Doce	132
Figura 84 – Detalhe de imagem do arquivo local.mk	133
Figura 85 – Mensagem de sucesso para criação da <i>Scene</i> informando a necessidade de importação de imagens	133
Figura 86 – Interface do UMVE, com a lista de imagens cujos parâmetros da câmera ainda não foram reconstruídos	134
Figura 87 – Detalhe do arquivo “DicoCamera.xml” com a adição do sensor da câmera principal do Motorola Edge como dois sensores diferentes (orientações horizontal e vertical) no Microsoft Excel	136

Figura 88 – Detalhe da interface do MicMac com a janela de seleção de imagens verticais para calibragem	136
Figura 89 – Detalhe da interface do MicMac com a janela de seleção de imagens horizontais para calibragem	137
Figura 90 – Mensagem de erro no MicMac	137
Figura 91 – Mensagem do MicMac indicando a remoção de uma imagem	138
Figura 92 – Visualização da malha triangular criada pelo MicMac no Meshlab	138
Figura 93 – Página de carregamento de imagens previamente obtidas no Polycam	140
Figura 94 – Página para definição do nível de detalhamento do resultado desejado no Polycam	141
Figura 95 – Página com os modelos gerados pelo Polycam	141
Figura 96 – Capturas de tela mostrando o encerramento abrupto do aplicativo (à esquerda) e mensagem de erro (à direita) na tentativa de reconstrução tridimensional	142
Figura 97 – Tela de escolha do diretório para carregamento de imagens previamente obtidas	143
Figura 98 – Tela de seleção de imagens previamente obtidas	144
Figura 99 – Tela com as definições para processamento do modelo	144
Figura 100 – CCTags impressas	156
Figura 101 – Segmento do ornato do MALG escolhido para réplica	158
Figura 102 – Segmento do ornato do Museu do Doce escolhido para réplica	158
Figura 103 – De cima para baixo, detalhe dos modelos do ornato do MALG gerados pelo Colmap, Meshroom e Kiri Engine	159
Figura 104 – De cima para baixo, detalhe dos modelos do ornato do Museu do Doce gerados pelo Colmap, Meshroom e Kiri Engine	160
Figura 105 – Modelo do MALG posicionado na plataforma do fatiador	162
Figura 106 – Modelo do Museu do Doce posicionado na plataforma do fatiador	162
Figura 107 – Modelo do MALG com suportes na simulação do fatiador	163
Figura 108 – Modelo do Museu do Doce na impressora Elegoo Saturn 2	163
Figura 109 – Impressão irregular em TPU	164
Figura 110 – Extrusor com o filamento flexível não tracionado	165
Figura 111 – Tela de nivelamento da impressora Sovol SV01 Pro	165

Figura 112 – Tela de alerta da impressora	166
Figura 113 – Cabeçote extrusor parado, sem as camadas de impressão esperadas entre ele e as últimas camadas impressas	166
Figura 114 – Segmento do ornato do MALG sendo impresso	167
Figura 115 – Impressão de detalhe do ornato do MALG apresentando <i>strings</i>	168
Figura 116 – De cima para baixo: modelo obtido por luz estrutura impresso em resina, mesmo modelo impresso em PLA e modelo obtido por fotogrametria impresso em PLA	168
Figura 117 – Porção dos modelos suavizados no Blender	169
Figura 118 – Porção dos modelos suavizados a partir de teste de impressão	169
Figura 119 – Depressão no modelo impresso (à esquerda), não presente no ornato (à direita)	170
Figura 120 – Detalhe da peça muito suavizada (à esquerda) e depois ajustada para preservação das formas (à direita)	171
Figura 121 – Impressão definitiva do modelo obtido pelo Kiri Engine para moldagem	172
Figura 122 – Primeiras camadas de impressão descolando da plataforma	173
Figura 123 – Janela pop-up indicando problemas com o modelo importado no Ultimaker Cura	173
Figura 124 – Detalhe do ornato com destaque para as zonas de sombra	174
Figura 125 – Modelo obtido por fotogrametria (acima) e modelo obtido por luz estruturada (abaixo)	175
Figura 126 – Impressão do modelo fotogramétrico do Museu do Doce com algumas <i>strings</i>	176
Figura 127 – Efeito “pata de elefante” causado por falta de energia durante a impressão (marcação em vermelho)	177
Figura 128 – Detalhe da impressão com protuberâncias	177
Figura 129 – Detalhe da impressão com polígonos visíveis	178
Figura 130 – Detalhe da peça com cavidades oriundas das camadas de impressão (“escada”)	178
Figura 131 – Ornato do MALG com acabamento superficial, pronto para moldagem	179
Figura 132 – Impressão com massa epóxi aplicada	180
Figura 133 – Impressão do ornato do Museu do Doce com acabamento superficial finalizado, pronta para moldagem	180

Figura 134 – Caixa em MDF para produção dos moldes em silicone	181
Figura 135 – Detalhe de um molde do ornato do MALG com marcas de aplicação de vaselina pastosa	182
Figura 136 – “Gabarito” para corte	183
Figura 137 – Réplica do ornato do MALG com falhas devido ao endurecimento prematuro do gesso	183
Figura 138 – Réplicas em gesso pedra do MALG, da esquerda para direita: réplica feita a partir da impressão em resina da digitalização por luz estruturada, réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização por luz estruturada e réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização fotogramétrica	184
Figura 139 – Detalhe da folha à direita no ornato, da esquerda para direita: réplica feita a partir da impressão em resina da digitalização por luz estruturada, réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização por luz estruturada e réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização fotogramétrica	185
Figura 140 – Detalhe da folha ao centro no ornato, da esquerda para direita: réplica feita a partir da impressão em resina da digitalização por luz estruturada, réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização por luz estruturada e réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização fotogramétrica	185
Figura 141 – Réplicas em gesso pedra do Museu do Doce, de cima para baixo: réplica feita a partir da impressão em resina da digitalização por luz estruturada, réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização por luz estruturada e réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização fotogramétrica	186
Figura 142 – Detalhe das réplicas do ornato do Museu do Doce: à direita, peça obtida por luz estruturada, à esquerda, peça obtida por fotogrametria	187
Figura 143 – Detalhe da textura produzida pela impressão por extrusão de material (à esquerda) e sua suavização com acabamento superficial (à direita)	192
Figura 144 – Detalhe dos “degraus” produzidos pela impressão por extrusão de material (à esquerda) e sua suavização com acabamento superficial (à direita)	192
Figura 145 – Detalhe da impressão do ornato do Museu do Doce por estereolitografia, à esquerda, e o mesmo detalhe com o efeito “pata de elefante” produzido pela interrupção da impressão por extrusão de material, à direita	193

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas do processo de reconstrução tridimensional dos ornatos em que foram inseridos os programas e os aplicativos	115
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dos modelos do Museu do Doce	146
Tabela 2 – Dados dos modelos do MALG	147
Tabela 3 – Museu do Doce – Número de vértices do modelo x tempo de processamento	148
Tabela 4 – MALG – Número de vértices do modelo x tempo de processamento	148
Tabela 5 – RMS dos modelos do MALG em relação à referência	149
Tabela 6 – RMS dos modelos do Museu do Doce em relação à referência	152
Tabela 7 – Museu do Doce – Número de vértices do modelo x RMS	155
Tabela 8 – MALG – Número de vértices do modelo x RMS	155
Tabela 9 – RMS dos modelos do Museu do Doce e do MALG em relação à referência ordenados em ordem crescente	157

LISTA DE ABREVIATURAS

CAD/CAM	Computer-aided design/computer-aided manufacturing (projeto assistido por computador/fabricação assistida por computador)
CNR	Consiglio Nazionale Delle Ricerche
CPU	Central Processing Unit (unidade de processamento central)
CUDA	Compute Unified Device Architecture (arquitetura de dispositivos unificados de computação)
DNG	Digital Negative (negativo digital)
DSLR	Digital Single Lens Reflex (câmera digital de reflexo por lente)
FDM	Fused Deposition Modeling (modelagem de deposição fundida)
GPU	Graphics Processing Unit (unidade de processamento de gráficos)
HD	Hard Disk (disco rígido)
ISTI	Institute of Information Science and Technologies "Alessandro Faedo"
LDSM	Laboratório de Design e Seleção de Materiais
LIFEE	Laboratório de Inovação e Fabricação Digital da Escola de Engenharia
MALG	Museu de Arte Leopoldo Gotuzzo
MP	Megapixel
RAW	Arquivo de imagem com dados não compactados e não processados
RMS	Root Mean Square (desvio quadrático médio)
SSD	Solid State Drive (unidade em estado sólido)
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	21
1.1.	JUSTIFICATIVA	23
1.2.	PROBLEMA DE PESQUISA	25
1.3.	PRESSUPOSTO	25
1.4.	HIPÓTESE	25
1.5.	OBJETIVOS DA PESQUISA	25
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1.	ESTUQUE: HISTÓRICO E APLICAÇÕES	27
2.1.1.	Elementos decorativos em fachadas produzidos em estuque	31
2.1.2.	Técnicas de execução de elementos decorativos em estuque	31
2.1.3.	Restauro de elementos decorativos de fachada produzidos de estuque	34
2.1.4.	Casarões	36
<i>2.1.4.1.</i>	<i>Breve contexto histórico – Pelotas na época dos casarões</i>	<i>36</i>
<i>2.1.4.2.</i>	<i>Breve histórico da sede do Museu do Doce</i>	<i>37</i>
<i>2.1.4.3.</i>	<i>Breve histórico da sede do MALG</i>	<i>41</i>
<i>2.1.4.4.</i>	<i>As sedes do Museu do Doce e do MALG e suas características ecléticas e ornamentações</i>	<i>45</i>
2.2.	FOTOGRAMETRIA	52
2.2.1.	Critérios de escolha de tecnologias de digitalização tridimensional	52
2.2.2.	Definição	53
2.2.3.	Fotogrametria como tecnologia de digitalização de baixo custo	54
2.2.4.	Etapas da digitalização tridimensional	56
<i>2.2.4.1.</i>	<i>Levantamento fotográfico</i>	<i>57</i>
<i>2.2.4.2.</i>	<i>Processamento – Inserção e correlação das fotografias</i>	<i>58</i>
<i>2.2.4.3.</i>	<i>Processamento – Nuvem de pontos esparsa</i>	<i>58</i>
<i>2.2.4.4.</i>	<i>Processamento – Nuvem de pontos densa</i>	<i>59</i>

2.2.4.5. <i>Processamento – Malha triangular</i>	59
2.2.4.6. <i>Processamento – Limpeza da malha triangular</i>	59
2.2.4.7. <i>Processamento – Simplificação da malha triangular</i>	60
2.2.4.8. <i>Processamento – Retopologia da malha triangular</i>	60
2.3. MANUFATURA DIGITAL	61
2.3.1. Processos de Fabricação	61
2.3.2. Técnicas aditivas	62
2.3.2.1. <i>Componentes, princípio de funcionamento e alimentação de máquinas de manufatura aditiva</i>	64
2.3.2.2. <i>Processo de manufatura aditiva por extrusão de material</i>	67
2.3.3. Aplicações, vantagens e limitações dos processos de manufatura aditiva por extrusão de material na reprodução de objetos patrimoniais	69
3. MATERIAIS E MÉTODOS	76
3.1. METODOLOGIA DA PESQUISA	76
3.1.1. Definição da amostra	77
3.1.2. Digitalização tridimensional por fotogrametria	84
3.1.3. Avaliação dos modelos digitais tridimensionais	89
3.1.4. Produção de réplicas	90
3.1.5. Avaliação das réplicas	93
4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA E RESULTADOS	95
4.1. COLETAS	95
4.1.1. Coleta piloto – Museu do Doce	95
4.1.2. Segunda coleta – MALG e Museu do Doce	98
4.1.3. Terceira coleta – Museu do Doce	102
4.2. GERAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS POR PROGRAMAS E APLICATIVOS FOTOGRAMÉTRICOS	102
4.2.1. Processo de instalação	102
4.2.2. Extensões de arquivos imagens aceitas	113
4.2.3. Reconstrução tridimensional digital dos ornatos	115
4.2.3.1. <i>Teste de reconstrução tridimensional a partir das imagens da coleta piloto</i>	116

4.2.3.2. Teste de reconstrução tridimensional a partir das imagens da segunda coleta (MALG e Museu do Doce)	122
4.2.4. Geração definitiva dos modelos a partir das imagens da terceira (Museu do Doce) e segunda (MALG) coletas	134
4.3. AVALIAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS	148
4.4. PRODUÇÃO DAS RÉPLICAS	157
4.4.1. Escolha segmentos dos ornatos para produção de réplicas	157
4.4.2. Produção de réplicas – impressão a partir dos modelos obtidos por luz estruturada	161
4.4.3. Produção de réplicas – preparação dos arquivos obtidos por fotogrametria para impressão por manufatura aditiva	164
4.4.4. Produção de réplicas – impressão direta de moldes com filamento flexível	164
4.4.5. Produção de réplicas – impressão das réplicas para moldagem por silicone	167
4.4.6. Pós-processamento das réplicas impressas para moldagem	177
4.4.7. Produção de réplicas – peças produzidas em moldes de silicone	181
4.5. AVALIAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS	184
5. DISCUSSÃO	188
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	196
6.1. LIMITAÇÕES DA PESQUISA	197
6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	198
REFERÊNCIAS	199

1. INTRODUÇÃO

Para as historiadoras da arte Robles e Garcia (2009), mesmo tendo surgido há pouco mais de três décadas, as tecnologias digitais já mostraram a sua utilidade em projetos relacionados ao patrimônio cultural. Acke *et al.* (2021), afirmam que, no campo de conservação e restauro, tais possibilidades digitais, oriundas de outras áreas do conhecimento, utilizam tecnologias aplicáveis à pesquisa, preservação, disseminação e conservação-restauração, tendo estas aplicações a documentação como um fim comum.

O termo tecnologias 3D é usado para denominar tais ferramentas, como uma expressão que abrange “[...] escaneamento ou aquisição digital 3D¹, modelagem digital e manufatura aditiva ou subtrativa.” (ACKE *et al.*, 2021, p. 273). A modelagem digital, que inicialmente demandava medição direta dos bens, feita com instrumentos como trenas e prumos, para posterior *input* dos dados recolhidos em programas de modelagem tridimensional, evoluiu para processos de digitalização tridimensional. Isto possibilita a reconstrução dos bens patrimoniais em modelos tridimensionais digitais a partir de medições óticas não invasivas. Dessa forma, conforme relatam Robles e Garcia (2009), ao final do século XX, tornou-se possível recriar um bem cultural sem a necessidade de intervenção direta, ou seja, contato material sobre ele, o que permite estudar e planejar seu restauro sem pôr em risco a sua integridade.

Celani e Cancherini (2009), em um estudo exploratório sobre digitalização tridimensional em Arquitetura, classificam tais processos em relação à distância de ação e à técnica usada. A classificação em relação à distância divide os processos em distâncias curtas, médias, longas e muito longas. Cada uma delas atende diferentes aplicações no campo da Arquitetura. Por exemplo, distâncias curtas são as empregadas quando se deseja digitalizar ornatos arquitetônicos e, as muito longas, quando a necessidade é voltada ao planejamento urbano. A divisão proposta pelas autoras do ponto de vista da tecnologia usada separa os processos em por contato² e sem contato. As tecnologias sem contato dividem-se em:

¹ Digitalização tridimensional será o termo usado neste trabalho para referir-se a escaneamento ou aquisição digital 3D, como forma de uniformizar a nomenclatura da tecnologia.

² Processos por contato estão fora do escopo deste trabalho.

[...] a comparação entre imagens de um mesmo objeto obtidas a partir de pontos diferentes (estereopar) [...], a análise da deformação da luz projetada sobre um objeto (luz estruturada) [...] e a obtenção de medidas polares (distância + ângulo) por meio da contagem do tempo que uma determinada radiação leva até alcançar um objeto (*time of flight*) (CELANI; CANCHERINI, 2009, p. 309).

Estas tecnologias sem contato se dividem, ainda, entre ativas (digitalização tridimensional a *laser*, por exemplo) e passivas (fotogrametria). Enquanto os processos ativos emitem alguma forma de radiação e detectam a sua reflexão, os processos passivos dependem da detecção da reflexão de radiação ambiente, como a luz visível (GENECHTEN *et al.*, 2011).

Tais processos produzem dados geométricos que, segundo Gomez *et al.* (2015), possibilitam modelos chamados de nuvens de pontos, usados na geração dos modelos tridimensionais. A escolha por determinado processo, conforme exemplifica Klein (2012), basear-se-á na menor ou maior adequação de um ou outro método à situação específica de cada projeto, considerando-se precisão, resolução, custo, habilidades requeridas para o uso, portabilidade do equipamento, forma de geração dos dados tridimensionais, forma de modelagem 3D e desafios dados pelo ambiente do objeto em questão. A evolução das técnicas tende a baratear as tecnologias mais precisas e aumentar a qualidade das tecnologias mais baratas, sendo constante a necessidade de considerar qual técnica se adequa mais ao projeto.

Os processos de manufatura aditiva ou subtrativa, mencionados por Acke *et al.* (2021), podem ser agrupados sob o nome de manufatura digital e têm, também, sua aplicação em ações relacionadas ao aumento do cuidado do patrimônio com a evolução das possibilidades trazidas pelo avanço tecnológico. Na manufatura subtrativa, os modelos são obtidos pela remoção de partes de “[...] um bloco de material, geralmente usando uma ferramenta de fresagem controlada por computador (máquinas CNC³).” (SCOPIGNO *et al.*, 2014, p. 2, tradução nossa), enquanto a manufatura aditiva é um “[...] processo de união de materiais para gerar peças a partir dos dados de um modelo 3D, geralmente camada sobre camada, em oposição à manufatura subtrativa.” (ISO/ASTM INTERNATIONAL, 2017, p. 1, tradução nossa). Estas tecnologias permitem a reprodução de peças para visualização e testes, bem como restauro de peças danificadas (ACKE *et al.*, 2021).

³ CNC: *Computer Numeric Control*

Como bem resumem Acke *et al.* (2021, p. 272, tradução nossa), os princípios fundamentais no trato do Patrimônio Cultural não mudam quando usadas tecnologias 3D nos processos de restauro e continuam sendo “[...] manutenção da integridade e autenticidade do Patrimônio Cultural, intervenção mínima, uso de materiais e métodos reversíveis, compatíveis e não danosos, e documentação completa do tratamento.” Para estes autores, a decisão sobre o restauro ou não vem antes da escolha de qualquer técnica, seja ela digital ou não.

Entretanto, como quase toda nova tecnologia, sua aceitação e seu uso dependem de vários fatores. O levantamento realizado por Acke *et al.* (2021) destaca que as principais preocupações dos profissionais atuantes na área são: materiais e processos de impressão; conhecimento necessário; aplicabilidade; considerações éticas; custos e trabalho necessário; gerenciamento e armazenamento de dados e características dos resultados tradicionais *versus* os resultados obtidos por processos digitais.

Mas diversas iniciativas mostram que é possível um caminho que leve em consideração tais preocupações dos profissionais do restauro no emprego das tecnologias 3D. Fawzy (2015) mostra que o uso de câmeras presentes em smartphones para digitalização tridimensional por fotogrametria pode alcançar resultados similares aos obtidos por câmeras DSRL, reduzindo custos e o conhecimento necessário para aplicação de tais tecnologias; Hernández-Muñoz e Sánchez-Ortiz (2019) apresentam, também, uma possível redução de custos, mas na fabricação dos moldes necessários ao restauro de peças, com o uso de manufatura aditiva; e Balletti e Ballarin (2019) mostram as vantagens de se obter cópias sem o contato físico com a peça a ser replicada.

Entretanto, apesar de tais iniciativas, Balletti e Ballarin (2019, p. 8, tradução nossa) afirmam que “começando da nuvem de pontos, o procedimento geral para obter um produto ‘desenhado’ está bem estabelecido, mas o processo correspondente para obter uma impressão sólida ainda não foi otimizado ou canonizado”.

1.1. JUSTIFICATIVA

Do ponto de vista acadêmico, este trabalho se justifica tendo em vista que a pesquisa relativa à Arquitetura Pelotense, no campo das tecnologias 3D, tem uma abordagem mais relacionada à disponibilização da produção de modelos

tridimensionais digitais de patrimônio arquitetônico para visualização (SILVA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2012), o uso de realidade aumentada para sua visualização (SCHNEID, ESCOBAR, SILVA, 2013; PERRONE *et al.*, 2012) a reprodução e a disponibilização de modelos táteis da Arquitetura Pelotense de interesse patrimonial (BORGES *et al.*, 2015; NUNES *et al.*, 2018), entre outros, e não tanto o uso da manufatura digital como ferramenta de auxílio na produção de réplicas que possam, eventualmente, ser usadas nas atividades de restauro.

Mercadologicamente, este trabalho pode vir a contribuir com o uso das tecnologias referidas por empresas que, entre suas atividades, se dedicam ao restauro, mas não o fazem por meio destas ferramentas digitais em virtude do custo, tempo de desenvolvimento e curva de aprendizado que elas percebem como inerentes à adoção destas tecnologias. É importante ressaltar que, embora não se deseje extinguir a artesanaria dos processos tradicionais de restauro, o emprego de tecnologias 3D pode ser mais uma ferramenta de auxílio para as atividades de profissionais que trabalhem na área. Neste contexto, surge o que Rahaman (2021) chama de urgência em possibilitar, a usuários não especialistas, o uso de ferramentas de reconstrução digital de bens patrimoniais. Esta opinião é corroborada por Acke *et al.* (2021), pois estes lembram a possível “extinção” de tais profissionais especialistas. O acesso a tais ferramentas pode, também, facilitar a execução de tarefas de restauro em locais onde esta mão de obra não existe. Assim sendo, a proposição de um processo para o restauro de tais ornatos que se valha da disponibilidade tecnológica atual pode ser uma salvaguarda para a manutenção adequada do patrimônio edificado no futuro.

Dessa forma, o trabalho aqui apresentado, ao propor verificar a adequação de tecnologias 3D (digitalização tridimensional por fotogrametria e manufatura digital por processo aditivo de extrusão de material) de baixo custo para uso na produção de réplicas de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque, com qualidade comparável aos obtidos com o uso tecnologias 3D de mais alto custo, justifica-se por possibilitar o uso de representações gráfico-visuais para ação efetiva na produção de réplicas de tais ornatos, empregando tecnologias usadas nos processos de desenvolvimento de produtos de *design* na área patrimonial.

1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Réplicas de ornatos arquitetônicos, produzidos em estuque, podem ser executadas em projetos de restauro com o emprego de tecnologias 3D, digitalização tridimensional por fotogrametria e manufatura digital por processo aditivo de extrusão de material, de baixo custo, e obter resultados comparáveis aos obtidos com o uso tecnologias 3D com maior precisão dimensional e de mais alto custo?

1.3. PRESSUPOSTO

As tecnologias 3D (digitalização tridimensional por fotogrametria e manufatura digital por processo aditivo de extrusão de material) de baixo custo podem auxiliar os trabalhos de restauro de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque, com qualidade equivalente a obtida com o uso tecnologias 3D com maior precisão dimensional e de mais alto custo.

1.4. HIPÓTESE

A produção de réplicas de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque, pode ser executada com o emprego de tecnologias 3D de baixo custo, com digitalização tridimensional por fotogrametria e manufatura digital por processo aditivo de extrusão de material, com qualidade equivalente à obtida com o uso tecnologias 3D com maior precisão dimensional e de mais alto custo.

1.5. OBJETIVOS DA PESQUISA

Dessa forma, o objetivo geral desta pesquisa foi verificar a adequação de tecnologias 3D de baixo custo para uso na produção de réplicas de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque, em comparação com tecnologias de mais alto custo.

Os **objetivos específicos** são:

- a) investigar as possibilidades de digitalização tridimensional de baixo custo para produção de réplicas de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque;

- b) investigar as possibilidades de manufatura digital de baixo custo para produção de réplicas de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque;
- c) avaliar a qualidade dos resultados da digitalização tridimensional por fotogrametria de baixo custo frente aos obtidos por digitalização por luz estruturada;
- d) avaliar a qualidade de réplicas produzidas a partir da impressão de modelos obtidos por fotogrametria em manufatura aditiva (extrusão de material) frente a de réplicas obtidas por digitalização por luz estruturada e impressas por estereolitografia mascarada por tela de cristal líquido.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo são apresentadas as áreas às quais este trabalho se dedica: a produção de réplicas de ornatos em estuque e o uso de tecnologias 3D neste contexto. Inicialmente, é apresentada a técnica de estuque. Para tanto, abordam-se as suas origens, os materiais e ferramentas usados na produção de ornatos desta natureza e o processo de restauro de tais peças, mais especificamente, os ornatos presentes nos forros das edificações. Visando às atividades práticas do trabalho, são descritas a história e as características do imóvel foco desta aplicação de tecnologias 3D. O capítulo, ainda, versa sobre a fotogrametria, forma de digitalização tridimensional, de baixo custo, de objetos, descrevendo as tecnologias existentes para este fim, bem como as etapas metodológicas necessárias para realização de tais digitalizações tridimensionais. Por fim, são descritos os processos de manufatura digital, abordando as técnicas aditivas, suas vantagens, limitações e aplicações na área de restauro do patrimônio cultural.

2.1. ESTUQUE: HISTÓRICO E APLICAÇÕES

A origem da palavra estuque, segundo Forti⁴ (1989 *apud* VIEIRA, 2008), pode ser uma antiga palavra etrusca, “sukii”, que quer dizer crosta ou pele. Na arte de construir, estuque é um termo genérico usado para designar “[...] toda argamassa de revestimento que depois de seca adquire grande dureza e resistência ao tempo [...] usada para revestir paredes internas ou forros [...] e [...] que serve de material de vedação, preenchendo interfaces de uma armação qualquer [...]” (CORONA; LEMOS, 1972, p. 208, 209). Tais autores mencionam, ainda, seu uso externo, mas ressaltam que, nestes casos, mudam os materiais empregados na sua composição, em virtude das intempéries. Além da aplicação em revestimentos, o estuque também é usado na confecção de elementos decorativos, modelados *in loco* ou produzidos por meio de moldes.

Os elementos essenciais para a produção do estuque são solvente, ligante e inerte. Estes componentes são denominados, também, como solvente, aglomerante e agregado, respectivamente. A união da água (solvente) a blocos sólidos de cal

⁴ FORTI, G. **Antiche ricette di pittura murale**. 3. ed. Verona: Cirre Edizioni, 1989.

(ligante ou aglomerante) forma uma pasta. Essa reação resulta da formação do hidróxido de cálcio (óxido de cálcio + água = $\text{Ca}(\text{OH})_2$), também chamada de cal hidratada (ROZISKY, 2014). Esta consistência do material condiciona a forma de o trabalhar. Para Vasconcelos⁵, (1961 *apud* VIEIRA, 2008, p. 343), “[...] estuque é obra de ‘modelação’, como a modelação em barro, realizada com um material que a tal se presta, de características plásticas, embora endurecendo rapidamente.” Rozisky (2014) descreve que a pasta endurece após ser trabalhada por entrar em contato com o gás carbônico, voltando a ser o carbonato de cálcio (CaCO_3) encontrado no calcário.

A cal, um dos principais componentes do estuque, é um dos primeiros materiais usados como ligante na História das Construções (VIEIRA, 2008). Rojas⁶ (1999 *apud* ROZISKY, 2014) cita a cidade turca de Çatal Hüyük como um exemplo arqueológico de uso de revestimentos em estuque ainda no período Neolítico, mas ressalta contradições nos estudos das definições dos materiais usados na sua composição. Entretanto, Mascarenhas⁷ (2008 *apud* ROZISKY, 2014, p. 39) assegura que tal revestimento já era usado na Mesopotâmia:

A cal e o gesso acompanharam a arquitetura desde a sua origem. Juntamente com a terra (taipa e adobe), a cerâmica (tijolos e telhas), a pedra e a madeira foram os materiais constituintes da edificação até a modernização, que produziu novos materiais construtivos. Nas culturas islâmicas do segundo milênio antes da era cristã, o estuque substituiu a tão difundida terracota e foi usado como argamassa de rejunte (no lugar do betume), para ligar os tijolos, por conta do seu endurecimento mais rápido.

Mascarenhas⁸ (2008, *apud* ROZISKY, 2014) menciona, também, outras civilizações que utilizaram estuque na produção de ornatos, ressaltando que, inclusive nas Américas, existem monumentos que ainda ostentam revestimentos realizados com esta técnica.

Os gregos, antes do período Helenístico, valorizavam mais a escultura ao estuque. A escultura era considerada uma arte que revela a obra: a alma dentro da pedra. Trata-se, portanto, de um processo subtrativo, e, o estuque, por sua vez, a

⁵ VASCONCELOS, F. **Os Estuques do Porto**. Porto: Câmara Municipal do Porto, 1997.

⁶ ROJAS, I. **Arte de Los Yesos, Yaserías y Estucos**. Madrid: Editorial Munilla-Lería, 1999.

⁷ MASCARENHAS, A. **Patologias e restauração dos estuques ornamentais e estruturais em edificações históricas**. 2005. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

⁸ MASCARENHAS, A. *ob. cit.*

um processo aditivo (FOGLIATA; SARTOR⁹ 1995 *apud* ROZISKY, 2014). Entretanto, neste Período, desenvolveram esta técnica, usando cal apagada¹⁰ e agregados como pó de pedra ou mármore. Vieira (2008) afirma que os acabamentos passaram a ter, também, uma maior função estética, em virtude da técnica mais apurada, com superfícies mais finas e propícias para decoração.

As técnicas desenvolvidas pelos gregos foram aperfeiçoadas pelos romanos e sua influência se fez sentir no Cinquecento e, posteriormente, nos séculos XVIII e XIX (VIEIRA, 2008). Aguiar¹¹ (2002 *apud* VIEIRA, 2008, p. 249) aponta as razões pelas quais as argamassas de cal empregadas pelos romanos apresentavam grande durabilidade:

(I) boa qualidade no fabrico da cal; (II) escolha cuidadosa dos agregados empregues, no tocante à constituição e granulometrias; (III) conhecimento dos aditivos adequados à resolução de algumas carências que se manifestassem nos materiais localmente disponíveis; (IV) formas criteriosas de preparação, garantindo uma mistura adequada dos componentes e técnicas apropriadas de aplicação, recorrendo à técnica multiestrato, a fim de reduzir os problemas de fissuração durante o endurecimento.

Aguiar¹² (2002 *apud* ROZISKY, 2014) ressalta que a técnica dos romanos se manteve constante, com aplicação de camadas sucessivas, analogamente ao que hoje se chama de chapisco, emboço e reboco. Assim, “A disseminação do ofício, no Renascimento, e sobretudo no período Barroco, vai contribuir para a execução, desenvolvimento e sua permanência até hoje.” (MASCARENHAS; FRANQUEIRA, 2007, p. 2).

Costa (1999), com base em Sickels¹³, observa que, historicamente, diversos aditivos orgânicos eram usados com fins específicos, como aceleração da presa e aumento da resistência (sumo de figo, sangue, coalhadas e açúcar), melhoria da adesão (gomas, gelatina, glúten, caseína, cola de farinha, colas animais como a cola de ossos, cola de coelho, cola de peixe e colas vegetais, as resinas), consolidação (caseína, tanino, colas, palha cortada, claras e gemas de ovo, sisal, algodão, suco de figo e açúcar), areação e aumento da durabilidade (malte, cerveja, ureia e ovos),

⁹ FOGLIATA, M.; SARTOR, M. L. **L'arte dello stucco a venezia**. Roma: EdilStampa, 1995.

¹⁰ Cal virgem acrescida de água (ROZISKY, 2014).

¹¹ AGUIAR, J. **Cor e cidade histórica**: estudos cromáticos e conservação do patrimônio. Porto: FAUP, 2002.

¹² *Ibid.*

¹³ SICKELS, L. B. **Organic additives in mortars**. Londres: B.A.R., 1981.

emulsão e estabilização (gema de ovo, azeites, gorduras, colas, goma arábica, sebo, açúcar e glúten), antiretração e melhoria da resistência mecânica (cera de abelha, palha, crinas e cabelos e pelos de animais), melhoria da trabalhabilidade (açúcar, leite, resinas, figos e clara de ovo), retardação de presa (açúcar, sangue, clara de ovo e glúten), endurecimento (açúcar, colas vegetais e mel), espessamento (sangue, caseína, queijo e gelatina) e impermeabilização (sebo, azeite, óleos animais e vegetais, óleo de linhaça, colas animais, taninos, betumes, cera de abelha e outras).

O gesso também pode ser usado como aglomerante. Entretanto, seu uso foi limitado a lugares de clima seco, pois a umidade o deteriora por ser solúvel em água. Desta forma, é mais comum usá-lo como aditivo para “[...] acelerar o endurecimento e evitar o aparecimento de fissuras, nas massas a base de cal.” (ROZISKY, 2014, p. 58). Rozisky (2014) também ressalta que seu uso para a produção de cópias de ornatos por moldes aconteceu em estuques realizados a partir das primeiras décadas do século XX. Tal mudança decorre da dificuldade da cal endurecer dentro do molde, sem o contato com o ar; daí a inversão dos papéis da cal e do gesso; o gesso passa a ser o aglomerante e a cal o aditivo.

Os inertes, ou agregados, têm por função preencher “[...] os espaços das partículas irregulares do(s) ligante(s), evitando assim as retrações e o aparecimento de fissuras.” (ROZISKY, 2014, p. 58). Como melhor material agregado tem-se a areia siliciosa ou a calcária¹⁴ (SEGURADO, *s/d apud* ROZISKY, 2014¹⁵) em virtude de absorverem menos água e, portanto, apresentarem menor retração. SiSÍ¹⁶ (1998, *apud* ROZISKY, 2014) menciona, ainda, a preferência por grãos poliédricos, mais aderentes por conta de sua área de contato maior quando comparados com os grãos arredondados.

Os elementos decorativos são produzidos com uma composição de cal hidratada, com adição de gesso, conforme mencionado anteriormente, e/ou pó de mármore (NEUTZLING, 2020). Vieira (2008) ressalta que ornatos de grandes proporções precisam de massas com menos água, enquanto peças menores precisam de massas mais fluidas.

¹⁴ Termo genérico para a areia obtida a partir da trituração de rochas calcárias.

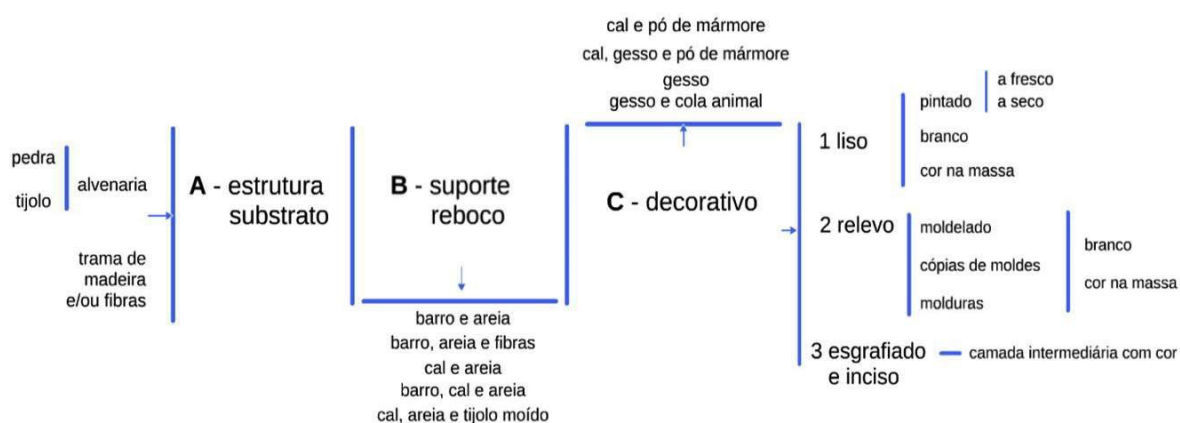
¹⁵ A autora cita que essas informações foram retiradas de trabalho SEGURADO, J. E. S. **Acabamento das construções** – estuques, pinturas, etc.. 2. ed. Lisboa: Livrarias Aillaud e Bertrand/Biblioteca de Instrução Profissional, cuja data não soube precisar.

¹⁶ SiSÍ, M. M. (org.) **Guía Práctica de la Cal y el Estuco**. Leon: Editorial de los Ofícios, 1998.

2.1.1. Elementos decorativos em fachadas produzidos em estuque

A decoração em estuque pode ser usada em paredes, exteriores e interiores, e no teto dos interiores de edificações. Rozisky (2014), ao sistematizar (Figura 1) o estuque decorativo a partir de um enfoque no seu uso artístico, divide-o entre liso, em relevo, esgrafiado e inciso.

Figura 1 – Sistematização das camadas e materiais da técnica do estuque



Fonte: ROZISKY, 2014, p. 64

Dentro da sistematização proposta pela autora, este trabalho dedica-se à técnica numerada como 2, relevo, e, no estuque em relevo, dos ornatos modelados e das cópias de moldes. Tais decorações são abordadas a seguir.

2.1.2. Técnicas de execução de elementos decorativos em estuque

Os ornatos eram confeccionados à mão, *in loco*, conformados por moldes ou, ainda, produzidos com o uso de ambas as técnicas (VIEIRA, 2008). Os ornatos produzidos à mão, chamados por Füller (192?) de estuque moldado à mão livre, têm, para ele, maior valor artístico, por serem criações espontâneas do estucador e por permitirem calcular efeitos de luz e perspectiva sobre as peças que seriam mais difíceis de serem obtidos quando produzidos em outro ambiente. Tais ornatos demandam, também, maior habilidade técnica, pois exigem trabalhar com a quantidade adequada de massa de maneira rápida e firme, conformando-a antes de seu enrijecimento.

A depender da técnica do estucador, eram feitos diretamente sobre a superfície ou, mais usualmente, eram realizados em papel:

Quando os motivos eram feitos directamente no local definitivo (embora desenhados em oficina), o desenho era passado em tamanho natural para o “papel de pique” usando-se a técnica do estresido. O desenho era picado e o papel colado no tecto e batido com uma “boneca” cheia de pó de carvão; uma vez retirado o papel, os pontos do desenho ficavam marcados sendo unidos por meio de um lápis (VIEIRA, 2008, p. 359).

A preparação do local a receber a massa, que será configurada no ornato, envolve deixar a superfície mais áspera e úmida (ROZISKY, 2014). Os ornatos eram assentados no seu local com uma massa de gesso e cal, cujo excesso era retirado em seguida, sendo o acabamento dado com broxa molhada em água e com instrumentos de retoque (FÜLLER, 192?). Dependendo da espessura da peça, eram usadas estruturas de madeira ou de arame e até mesmo pregos para sustentá-las, com a adição de estopa, sisal ou uma tela sobre esta estrutura para que a massa aderisse com mais facilidade (ROZISKY, 2014). Vieira (2008) ressalta, porém, que o uso de pregos e parafusos produzem oxidação no estuque. Além de promover sustentação às peças, tal técnica permitia a diminuição de custos, pois tornava o processo mais rápido e possibilitava a redução do uso de gesso (VIEIRA, 2008). Para peças de espessura reduzida, o uso de materiais orgânicos (fibras vegetais ou animais) era suficiente para manter a estrutura da massa (VIEIRA, 2008).

Segundo Frade (2016), uma das técnicas de modelagem é o uso de moldes de correr, também conhecidos como moldes de cércea ou atarraxa, na qual um perfil determina a forma. Usualmente é constituído por uma placa de metal recortada presa em uma caixa de madeira. Seu uso é restrito aos ornatos que se caracterizavam pela extrusão de um determinado desenho, como molduras, frisos ou cimalthas, por exemplo. Podem ser feitas diretamente onde serão aplicadas ou sobre alguma outra superfície, para depois serem fixados e finalizados (FÜLLER, 192?).

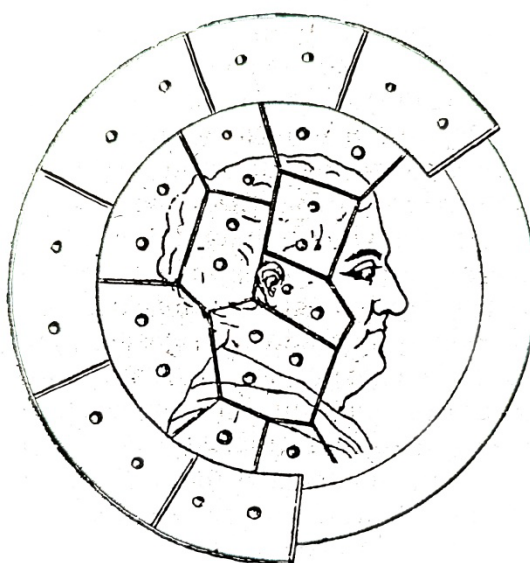
Segundo Vieira (2008), ornatos de grande balanço também podiam apresentar estruturas como as descritas anteriormente. Tal tipo de ornato não fará parte da amostra a ser digitalizada e manufaturada neste trabalho, em virtude da simplicidade de confecção, para a qual as tecnologias 3D não teriam muito a contribuir.

Formas de maior complexidade precisavam de moldes mais elaborados para sua reprodução, sendo que tais moldes variam de acordo com o material usado, pois

são suas propriedades físicas que determinam o processo de construção do molde. Füller (192?) classifica estas formas como forma perdida, forma de taceos e forma de gelatina. A **forma perdida**, como o nome faz supor, só é usada para a produção de uma peça, pois é necessário quebrá-la para desinformar a peça. Este processo é vantajoso quando a necessidade é realmente de uma só peça, pois é um processo mais rápido do que a de taceos (ROZISKY, 2014).

A **forma de taceos**, ou forma boa, opõe-se ao método de forma perdida (FÜLLER, 192?) por possibilitar desenformar a peça sem a perda do molde, consistindo na divisão dele no número necessário de peças para retirada sem a sua destruição, reproduzindo todos os detalhes de um determinado objeto (Figura 2). É o método mais antigo de reprodução de peças, e era usado pelos romanos na cópia de esculturas gregas (ROZISKY, 2014).

Figura 2 – Forma de taceos



Fonte: FÜLLER, 192?, p. 26

Para Rozisky (2014), é um processo ultrapassado em virtude de materiais disponíveis atualmente serem flexíveis e possibilitarem desenformar peças que possuam reentrâncias sem prejuízo dos moldes. Originalmente, o gesso era utilizado nos moldes, sendo, posteriormente, substituído pela gelatina (FÜLLER, 192?) e, atualmente, usa-se o silicone.

Frade (2016) diferencia os moldes também pela forma de aplicação do material sobre a peça a ser reproduzida. Para o caso do uso do silicone, a autora diferencia dois métodos. Moldes de silicone vertido (ou líquido), que são aqueles nos quais o material é derramado sobre a peça original, registrando a totalidade de seus detalhes. O outro, é o dos moldes com o uso de silicone espatulado (pastoso). Este é empregado, principalmente, para que os ornatos não precisem ser removidos, pois a adição de um espessante ao silicone permite que ele seja aplicado sem que escorra, possibilitando a cópia de objetos localizados em tetos, por exemplo.

Rozisky (2014) observa que silicones, nos estados líquido e pastoso, podem ser usados em conjunto. O líquido sendo usado para um registro mais preciso dos detalhes da peça a ser reproduzida, e o pastoso para finalizar o molde, fazendo com que seque mais rápido. A autora menciona, neste caso, a necessidade do uso de gesso como suporte ao molde de silicone, devido a sua flexibilidade. Rozisky (2014) ainda ressalta que, mesmo com o uso de silicone, alguns moldes podem precisar de divisão em mais de uma peça em virtude dos detalhes apresentados pela peça a ser reproduzida.

Deve-se sempre considerar que o material empregado para o molde irá depender das particularidades formais, dos materiais e das condições de conservação do ornato. Assim, Rozisky (2014) cita outros materiais usados atualmente na produção de moldes, como poliuretano e resinas à base de poliéster. O poliuretano serve como alternativa ao silicone nas reproduções em materiais alcalinos como o cimento, já que o silicone deixa resíduos nas peças depois de algumas cópias. A resina à base de poliéster, indica a autora, também é adequada para o uso em peças de cimento, com a vantagem de não precisar de sustentação, pois fica rígida ao secar. Para moldagem de materiais porosos, como madeira ou barro, recomenda-se criar uma camada sobre o objeto com sabão neutro, a fim de impermeabilizar a superfície. No uso de poliuretano rígido nos moldes, a forma precisará ser dividida em taceiros sempre que a complexidade da peça o exigir; neste caso, os taceiros devem ser isolados e untados com sabão de glicerina (ROZISKY, 2014).

2.1.3. Restauro de elementos decorativos de fachada produzidos de estuque

Neutzling (2020), ao descrever suas experiências no restauro de ornatos presentes na fachada do Casarão 6, imóvel do conjunto arquitetônico do qual faz parte o casarão que agora abriga o Museu do Doce, no município de Pelotas /RS,

divide as etapas do processo utilizado em **identificação das peças soltas e limpeza e restauração dos elementos decorativos**.

A primeira etapa consistiu, então, da identificação, catalogação, limpeza mecânica e química e acondicionamento dos ornatos (ou de fragmentos) que não estavam propriamente fixados, para posterior reuso ou aproveitamento como modelo para produção de cópias, sem prejuízo às demais peças existentes ou aos seus suportes. A Equipe Técnica do Programa Monumenta (2005) ressalta que, em obras de restauração, quando não é possível a reutilização dos ornatos, sendo necessário replicá-los, o primeiro passo a ser realizado é o seu levantamento fotográfico. A limpeza, além de remover sujidades e crostas negras, removeu as camadas de tinta dos ornatos (e também do reboco das fachadas), pois o acúmulo destas os deformavam (NEUTZLING, 2020).

A segunda etapa, de restauro dos ornatos, consistiu na execução dos modelos, na modelagem *in loco*, na fixação das peças e no acabamento. A réplica dos ornatos pode ser realizada por decalque em papel, com medição dos seus rebaixos, saliências e reentrâncias, para, então, ser produzido o molde tridimensional (EQUIPE TÉCNICA PROGRAMA MONUMENTA, 2005). Os moldes foram confeccionados a partir das peças soltas encontradas na primeira etapa e, também, dos ornatos ainda fixados nas fachadas, com o uso de silicone suportado por cama de gesso (Figura 3).

O material usado nos ornatos foi uma argamassa de cal hidratada e areia escaiola. Ornatos de maior extensão foram estruturados por arame. Peças chamadas de lineares, produzidas pela extrusão de uma forma, foram realizadas no local (NEUTZLING, 2020).

A fixação dos ornatos foi realizada com argamassa, adesivos ou pinos metálicos (para peças maiores) sobre as superfícies de alvenaria previamente rebocadas e feltradas. A Equipe Técnica do Programa Monumenta (2005) observa que esta fixação deve ser realizada antes da secagem do revestimento aplicado à superfície na qual o ornato será colocado. O acabamento foi realizado com o rejunte das emendas e pintura, com tinta a base de cal, dos ornatos e demais superfícies das fachadas.

Figura 3 – Molde de silicone em cama de gesso e ornato nele produzido



Fonte: NEUTZLING, 2020, p 60

2.1.4. Casarões

Este item apresenta os imóveis nos quais se realizou a parte experimental deste trabalho, os prédios conhecidos como Casarão 8, sede do Museu do Doce, e Escola Eliseu Maciel, sede do MALG (Museu de Arte Leopoldo Gotuzzo), na cidade de Pelotas/RS. Para tanto, é descrito o contexto histórico no qual eles foram construídos, os usos que os imóveis tiveram, de suas construções até hoje, bem como suas características arquitetônicas.

2.1.4.1. Breve contexto histórico – Pelotas na época dos casarões

A construção do conjunto arquitetônico ao qual pertencem os imóveis cujos ornatos foram usados neste estudo deu-se no dito apogeu econômico da cidade de Pelotas/RS, ocorrido na segunda metade do século 19, quando a produção de charque (carne salgada e seca para aumento da sua durabilidade) atingiu seu ápice, impulsionado pelo ciclo do ouro (IPHAN, 2007), e, também, por este ter tornado-se o principal alimento usado na alimentação da mão-de-obra escrava, que precisava ser melhor tratada em virtude da abolição do tráfico negreiro pela Lei Eusébio de Queiroz (GUTIERREZ, 1999). Tal período de bonança durou até o início do século 20, quando o surgimento dos frigoríficos, somado ao fim do regime escravagista, no final do século 19, ocasionou a derrocada das charqueadas (IPHAN, 2007).

Esta época proporcionou o emprego da mão de obra na construção civil na cidade (POLIDORI; BANDEIRA, 2020), pois os ricos charqueadores da região reformaram ou demoliram suas moradias de características coloniais, a fim de ostentar suas riquezas e sua pretensão à nobreza (DELANOY; ZAMBRANO, 2010),

adotando o chamado Ecletismo Historicista (SCHLEE, 1993). O cenário de prosperidade abrangeu, também, a infraestrutura da cidade e os serviços públicos, com instalação de reservatórios de água, serviços de bondes e iluminação a gás (LEAL, 2019). Santos (2014, p. 18) afirma:

Assim como o urbanismo e o ecletismo atingiram as grandes capitais dos países de periferia como o Brasil, a nova ciência e a moderna arquitetura alcançaram as cidades periféricas do território nacional, como os núcleos urbanos da fronteira meridional brasileira.

Segundo Santos (2014), esta transformação foi proporcionada pela existência de vias para navegação que permitiam a chegada de novos materiais e técnicas e, também, de construtores imigrantes adeptos do Ecletismo. Estes materiais e técnicas, conforme Schlee (1993), foram utilizados na arquitetura produzida para a elite da cidade, na zona urbana, visando a romper com as soluções características da arquitetura colonial, sendo aplicada, principalmente, nos elementos decorativos das construções.

2.1.4.2. Breve histórico da sede do Museu do Doce

Os proprietários originais do Casarão 8, Francisco Antunes Maciel e Francisca de Castro Moreira Antunes Maciel, pertenciam a elite pelotense que ergueu suas residências como forma de expor a sua pujança econômica. Segundo Vargas (2015), a família do Coronel Aníbal Antunes Maciel, tio de Francisco Antunes Maciel, era a segunda mais rica da elite pelotense, enquanto a de José Antônio Moreira, pai de Francisca de Castro Moreira Antunes Maciel, era a terceira. Os Moreira pertenciam, também, às chamadas **famílias longevas**, aquelas que tinham como negócio as charqueadas no período entre 1820 e 1880 (VARGAS¹⁷, 2016 *apud* LEAL, 2019).

O Casarão 8 situa-se em um conjunto composto por mais duas casas (Figura 4), todas pertencentes às famílias Antunes Maciel e Moreira (LEAL, 2019), localizadas em frente à praça Coronel Pedro Osório, considerado o centro da cidade, entre as ruas Barão do Butuí e Lobo da Costa. Seu projeto é atribuído à José Isella, arquiteto italiano atuante à época em Pelotas (CHEVALLIER, 2002),

¹⁷ VARGAS, J. M. **Os barões do charque e suas fortunas**. Um estudo sobre as elites regionais brasileiras a partir de uma análise dos charqueadores de Pelotas. São Leopoldo: Ed.Oikos, 2016.

sendo que é possível, também, a autoria ser de Guilherme Marcucci, outro construtor italiano, ou Artur Antunes Maciel, irmão dos proprietários (LEAL, 2019).

Figura 4 – Vista do conjunto tombado pelo IPHAN, do qual faz parte o Casarão 8 (em primeiro plano)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Segundo Leal (2019), desde que foi construída em 1878, a casa teve quatro usos diferentes. Inicialmente, serviu de residência para a família Antunes Maciel; nos anos 1950, foi alugada para o Exército; na década de 1970, foi novamente alugada, desta vez para a Prefeitura Municipal de Pelotas, tendo sido usada para diversos fins. O quarto e atual uso ocorre quando o casarão é adquirido pela UFPel, em 2006, cujo evento culminou com seu restauro e uso como sede do Museu do Doce.

Conforme levantado por Leal (2019), a casa foi ocupada, principalmente, pelas mulheres da família até 1930, em virtude da atuação política de Antunes Maciel e de seu filho no Rio de Janeiro e, também, por períodos de exílio destes no Uruguai. A partir deste ano, tornou-se uma residência de férias até ser alugada para o Exército, que a usou como Comando da 3ª Divisão de Infantaria e de residência de seus comandantes. Quando a Prefeitura passou a ocupar o casarão, diversos órgãos lá foram sediados, sendo que até mesmo como depósito de papéis e materiais de construção ela foi usada. Apesar de tombado, em 1977, como

patrimônio nacional, em conjunto com as casas vizinhas anteriormente mencionadas, o imóvel foi abandonado por volta de 1990.

Segundo Leal (2019), após o tombamento do conjunto, apenas o Casarão 2 recebeu, inicialmente, intervenção visando ao seu restauro. Somente quando da ação do Programa Monumenta na cidade de Pelotas, entre 2003 e 2011 (NETO; SERRES, 2019), é que os Casarões 2 e 6, de propriedade da Prefeitura, foram devidamente restaurados. Consta que foi no período de uso pela Prefeitura que o Casarão 8 sofreu seu maior desgaste, tornando-se inabitável e sendo abandonado (Figura 5).

Figura 5 – O Casarão antes do restauro



Fonte: POLIDORI; BANDEIRA, 2020, p 111

O atual uso do casarão começou a ser esboçado quando, em 2005, o reitor da UFPel à época iniciou as tratativas para adquirir o imóvel. No relato deste processo elaborado por Leal (2019), a proposta inicial era o Casarão sediar a Reitoria da Instituição, dando mais visibilidade a este setor. Entretanto, outras finalidades já haviam sido cogitadas para o prédio. Nesta mesma época, a Secretaria de Cultura do município foi procurada por representantes do SENAC e do SEBRAE, que eram parceiros na organização da Fenadoce¹⁸, para que o prédio abrigasse um museu sobre a tradição doceira da cidade. Tal proposta foi apresentada à

¹⁸ Feira Nacional do Doce, evento que celebra a tradição doceira da cidade.

superintendência do IPHAN no Rio Grande do Sul, que apoiou a ideia, pois tal destinação poderia fazer com que o imóvel fosse incluído no Programa Monumenta, que demanda um uso voltado para a comunidade, com autossustentabilidade de sua manutenção, em troca de obras de restauro. Após a resolução de um impasse legal junto à Prefeitura, que devia valores relativos ao aluguel do imóvel às herdeiras, o casarão pode ser comprado pela UFPel. Tal compra foi efetivada entre 2006 e 2011. Mas como a universidade pretendia instalar a sua reitoria no local, outro impasse foi criado, pois a lei que permitiu a compra do imóvel previa a sua destinação como sede de um museu dedicado à produção doceira.

Segundo Leal (2019), apesar do Casarão não ter sido contemplado pelo Programa Monumenta, o IPHAN custeou as obras emergenciais que impediram o desabamento do imóvel por volta do ano 2000, fato que deu peso à vontade do órgão de implantação do museu no prédio. Entretanto, mesmo concordando com esta destinação para o imóvel, a UFPel cogitou, também, no mesmo espaço, a instalação de um Museu de Arqueologia. Tal iniciativa foi abandonada quando, no processo de restauro, o porão, que iria abrigar tal museu, não foi adaptado para este fim, o que deixou o prédio inteiro destinado ao Museu do Doce (LEAL, 2019).

Conforme Leal (2019), entre 2006 e 2009, foram levantados recursos para o restauro e contratado o projeto de restauro, a cargo da arquiteta Simone Neutzling. As obras de restauro foram realizadas entre 2011 e 2013, ano em que a casa passou a receber visitas (POLIDORI; BANDEIRA, 2020). A obra foi realizada sob responsabilidade da empresa Marsou Engenharia Ltda, sob coordenação técnica de Simone Delanoy, arquiteta e mestre em Memória Social e Patrimônio Cultural (LEAL, 2019). Instituições de ensino como UFPel (proprietária do imóvel) e IFSul forneceram mão de obra especializada, seja através da participação de estagiários em Conservação e Restauro de Bens Culturais Móveis e Integrados, seja pela oferta de cursos básicos de restauro para qualificação dos profissionais envolvidos (POLIDORI; BANDEIRA, 2020). Ao IPHAN coube a fiscalização e proteção do imóvel no processo, tendo em vista seu tombamento federal.

Além dos encarregados pela engenharia da intervenção, a obra envolveu cerca de 35 pessoas, entre restauradores e estagiários, divididos nos seguintes grupos: “[...] ornatos e revestimentos de fachada; forro de estuque, mármore, ladrilhos e azulejos; escaiolas, rodapés marmorizados, faianças, elementos de madeira, ferro e pinturas murais.” (POLIDORI; BANDEIRA, 2020, p. 67). O restauro

tornou possível a apreciação e uso do imóvel que é considerado o mais icônico dos monumentos arquitetônicos da Cidade, expoente do chamado Primeiro Período Eclético da produção arquitetônica em Pelotas (SCHLEE, 1993).

2.1.4.3. Breve histórico da sede do MALG

O imóvel que hoje abriga o Museu de Arte Leopoldo Gotuzzo foi construído pela Câmara de Vereadores em terreno cedido pelos familiares do tenente-coronel da Guarda Nacional Eliseu Antunes Maciel, pai de Francisco Antunes Maciel, proprietário original do casarão que hoje abriga o Museu do Doce, com o intuito inicial de abrigar uma escola municipal de ensino primário como forma de homenagem ao coronel recém-falecido (MAGALHÃES, 1993).

A Escola Eliseu Maciel (Figura 6) fica na praça Sete de Julho, em frente ao Mercado Municipal e ao lado da sede da Prefeitura de Pelotas, no chamado centro histórico, assim como o Casarão 8.

Figura 6 – Fachada principal da Escola Eliseu Maciel (praça Sete de Julho) poucos anos após a sua inauguração, quando ainda era chamada de Lyceu Rio-Grandense



Fonte: acervo fotográfico Nelson Nobre Magalhães do Laboratório de Acervo Digital da Universidade Católica de Pelotas (UCPEL), 190?

A proposta foi realizada em 22 de junho de 1881 e já em 16 de julho as obras forma iniciadas (ibidem). O projeto vencedor, escolhido em concorrência, foi o da firma Pineau & Villard, de propriedade de Dominique Pineau e Dominique Villard. Não se sabe a real participação de Villard no projeto e na construção do prédio, pois este separou-se de Pineau em 1882 (SCHLEE, 1993). Dominique Pineau realizou na cidade, também, uma série de aquarelas na qual retratava a paisagem urbana de Pelotas, estando o prédio em questão entre os imóveis retratados (ibidem).

Entretanto, o objetivo inicial de abrigar uma escola municipal não se concretizou em virtude de falta verbas e de mão-de obra especializada (professores), impedindo a inauguração desejada para o dia 16 de junho de 1882, quando o falecimento do homenageado completaria um ano (MAGALHÃES, 1993). Apesar deste revés, alguns meses depois, foi comunicado à população pelotense que existia a intenção de criar uma Escola de Agronomia e Veterinária. Mas o funcionamento de tal Escola ainda encontraria percalços até a sua efetiva inauguração.

Em 1885, o Dr. Claude Marie Rebourgeon, que seria o diretor da instituição, teve seu contrato rescindido e foi decretado o fechamento da Escola (ibidem). Tal movimento ocorreu em virtude de mudanças no cenário político nacional e regional. Enquanto o prédio era remodelado para sua nova função, mudanças no governo mudaram a disposição para a instalação da Escola de Agronomia e Veterinária na cidade. Antonio Prado, que havia assumido o Ministério da Agricultura, pretendia instalar tais cursos em São Paulo, seu estado natal (VAZ, 2009).

Entretanto, tal determinação ocasionou uma mobilização que levou a Câmara Municipal, em 1887, a reverter ao município o patrimônio cedido ao Império. Para que tal fato tivesse efeito, a Câmara precisou comprometer-se a manter um Liceu de Agronomia, Artes e Ofícios no local (MAGALHÃES, 1993).

Quando se formou a primeira turma de alunos da instituição, em 1895, sua denominação era Liceu Rio-Grandense de Agronomia e Veterinária; em 1909, passou a ser Escola de Agronomia e Veterinária e, em 1926, Escola de Agronomia e Veterinária Eliseu Maciel. A escola mudou novamente de nome em 1934, quando passou a chamar-se Escola de Agronomia Eliseu Maciel, em virtude de uma reforma no ensino (ibidem).

Em 1950 é iniciada a construção de um novo prédio, no atual município do Capão do Leão (à época, distrito de Pelotas), para abrigar a Escola (UFPEL, 202-),

próximo ao Instituto Agrônomo do Sul (VAZ, 2009), instituição federal à qual ela havia sido incorporada em 1945 (LONER, 1994).

Com a sua iminente mudança para este Campus, a administração municipal, proprietária do prédio, promulgou lei, em 1955, para sua doação à Escola de Belas Artes de Pelotas, que desde sua fundação não possuía sede própria. Entretanto, o prédio não foi entregue pelo governo federal, que o queria para abrigar instalações da Universidade Rural do Sul (MAGALHÃES, 2008), que estava sendo criada.

Em março de 1959 é inaugurado o novo prédio (UFPEL, 202-), mas somente em 31 de agosto de 1959, a Escola de Agronomia Eliseu Maciel começou a ser transferida do seu prédio original, após greve dos alunos (VAZ, 2009). Em 1960 é decretada a criação da Universidade Rural do Sul, com a Escola Eliseu Maciel sendo parte de sua composição (UFPEL, 202-).

Em 1969 é implantada a Universidade Federal de Pelotas, compreendendo entre as suas unidades a então chamada Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (UFPEL, 202-). Neste ano, a Reitoria da UFPel instala-se no prédio que havia abrigado a Escola Eliseu Maciel (VAZ, 2009).

Lizott e Alves (2020) observam que, nas décadas de 1970 a 1990, não existem tantas informações sobre os usos do prédio quanto nos anos anteriores, mas sabe-se que, neste período, de maneira não necessariamente concomitante, o prédio abrigou diversos órgãos, entre eles o Instituto de Ciências Humanas e os Conselhos Superiores da Universidade (UFPEL, 201-), o Curso Pré-Vestibular Desafio (CAMILOTTO et al., 2013), a Livraria UFPel, a Editora UFPel e um posto de venda do CAVG (IPHAE, 2013). Em 2006, o prédio da Escola (Figura 7) e seus anexos foram restaurados pela Fundação Simon Bolívar (IPHAE, 2013). Recorte de jornal da época¹⁹, presente na documentação do processo de tombamento (ibidem), traz um relato do arquiteto responsável pela restauração, relatando a deterioração do prédio por estar fechado “há mais de dez anos”, o que leva a crer no não uso das instalações por volta de 1996 em diante.

¹⁹ Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1MpgrYITD_YIOXsgzuiR0OGJ6B0SIWQL/view>. Acesso em: 26 abr. 2023.

Figura 7 – Detalhe da fachada da Escola antes do restauro



Fonte: adaptado de IPHAE, 2013

A ocupação do prédio da Escola Eliseu Maciel pelo MALG já havia sido cogitada por volta do ano 2000, e deveria ocorrer após a conclusão da sua restauração. Entretanto, tal ocupação acabou não sendo efetivada, sendo reservado ao prédio abrigar o Gabinete do Reitor, o Conselho Universitário, o Conselho Coordenador de Ensino Pesquisa e Extensão e a Biblioteca do Historiador Mário Osório Magalhães (LIZOTT; ALVES, 2020).

O tombamento do imóvel como Patrimônio Cultural do Estado, solicitado pela UFPel, foi concedido pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado (IPHAE) em 2013, pela portaria nº 38/2013 (IPHAE, 2013).

Em 2013, o prédio principal abrigava a Secretaria dos Conselhos Superiores da UFPel e a Biblioteca do Curso de Relações Internacionais; no prédio anexo encontravam-se salas de aula, a Rádio Federal FM e o Centro de Documentação do Centro de Estudos e Investigações em História da Educação (CAMILOTTO *et al.*, 2013). Somente em 2017 a reitoria da UFPel decidiu pela transferência do MALG para o prédio da Escola, que acabou concretizada em 29 de junho de 2018, com a reabertura do museu ao público (LIZOTT; ALVES, 2020).

2.1.4.4. As sedes do Museu do Doce e do MALG e suas características ecléticas e ornamentações

Schlee (1993) divide a produção arquitetônica em Pelotas de meados do século 19 e início do século 20 em dois períodos: Primeiro Período Eclético (1850 a 1900) e Segundo Período Eclético (1900 a 1930). Santos (2014) define estes períodos com uma diferenciação nas datas de início e término, estabelecendo o primeiro período, entre 1870 e 1889 (ano da Proclamação da República), como de consolidação do Ecletismo e, o segundo, entre 1890 e 1931, como o de desenvolvimento deste estilo.

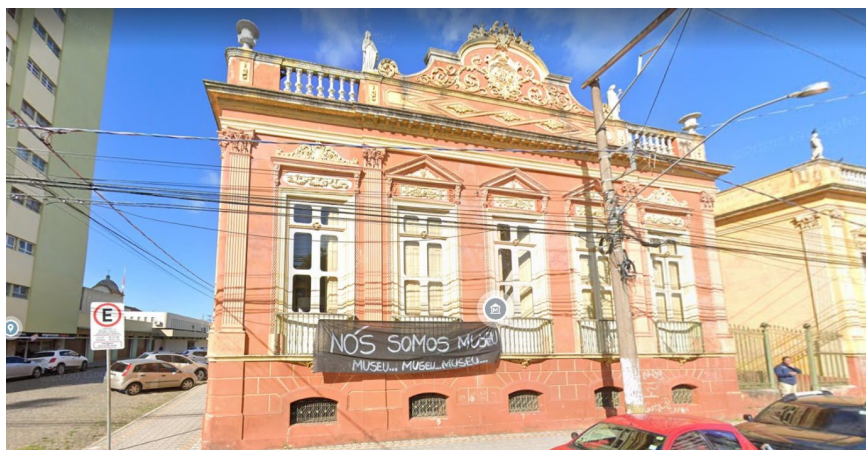
Para Santos (2014), a consolidação do Ecletismo na arquitetura pelotense ocorreu no período do Império, quando a elite latifundiária e escravista enriqueceu em virtude da exportação do charque. Espelhando o que ocorria na Europa, a elite da Cidade elegeu o Ecletismo como manifestação arquitetônica de seu poderio. Para Patetta (1987, p. 13), no continente europeu, “[...] o Ecletismo era a cultura arquitetônica própria de uma classe burguesa que dava primazia ao conforto, amava o progresso [...], amava as novidades, mas rebaixava a produção artística e arquitetônica ao nível da moda e do gosto.”

Este movimento caracterizou-se por dar “[...] grande valor às caixas murais dos prédios através de ornamentações.” (SANTOS, 2014, p. 15) e, segundo Patetta (1987), possuía três correntes principais: a da imitação de diferentes estilos passados; a do historicismo tipológico, que pregava a orientação do estilo à função das construções; e a dos pastiches compositivos, com soluções criadas pela fusão de diferentes estilos.

A composição das fachadas das residências pelotenses passou a ser tripartíde, “[...] com uma base tradicionalmente correspondente a um porão elevado

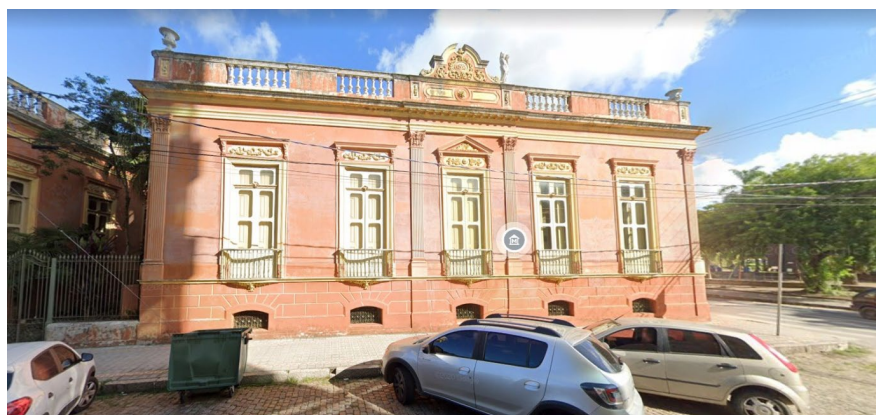
[...], um corpo correspondente ao pavimento principal e um acabamento superior correspondente às platibandas cegas ou vazadas que escondiam os telhados.” (SCHLEE, 1993, p. 79). Conforme explica Santos (2014), no sentido horizontal do frontispício, adota-se, também, o esquema tripartido, com o centro das fachadas delimitado por pilastras (Figura 8 e Figura 9). Este esquema compositivo também considerava o número de vãos: fachadas com número ímpar de aberturas tinham a porta em uma de suas extremidades, sendo a simetria estabelecida pelo frontão, colocado sobre a janela central (SCHLEE, 1993). Em residências de esquina, a fachada voltada para a via mais movimentada, segundo Santos (2014), ou a voltada para o eixo norte-sul, segundo Schlee (1993), era tratada como principal, contando com mais ornatos.

Figura 8 – Exemplo do esquema tripartido na fachada principal do Casarão 8



Fonte: GOOGLE MAPS, 2019

Figura 9 – Exemplo do esquema tripartido na fachada secundária do Casarão 8 (rua Barão de Butuí)



Fonte: GOOGLE MAPS, 2019

Os ornamentos, presentes tanto nas fachadas (Figura 10) quanto nos interiores (Figura 11) das residências, remetiam a motivos típicos da Antiguidade e podiam estar relacionados à função das edificações e de seus ambientes internos e/ou à ideologia dos proprietários (SANTOS; ROZISKY; GALLI, 2012).

Figura 10 – Frontão da fachada secundária do Casarão 8, com uma representação do deus Hermes à direita



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 11 – Estuque no forro da sala de música do Casarão 8



Fonte: POLIDORI; BANDEIRA, 2020, p. 90

O **Casarão 8**, como representado nas imagens ilustrativas, apresenta tais características, estando localizado na esquina das ruas Félix da Cunha (Praça Coronel Pedro Osório) e Barão de Butuí, com a fachada principal voltada para a

praça, no eixo norte-sul, apesar de possuir uma característica de alinhamento, em relação ao limite do terreno, que difere dos padrões da época. Apresenta dois recuos: um voltado para a Praça, guardando distância do Casarão 6, onde se localiza a sua entrada principal, e outro na fachada secundária. Este segundo recuo divide a construção em dois blocos: o primeiro, na esquina, com o bloco de uso social e de foro íntimo, e, o segundo, com as áreas de serviço. Ambos abrigam jardins separados do espaço público por muros e portões de ferro (ROSENTHAL; SANTOS, 2014).

O projeto da **Escola Eliseu Maciel...**

...foi buscar nas “villas renascentistas palladianas” o seu esquema compositivo de planta. Trata-se de uma planta quadrada, bastante contida, cruzada por duas linhas de simetria que dividem a composição em quatro porções iguais. Sobre os eixos de simetria foram estabelecidos, em forma de uma cruz grega, os espaços de circulação e um gabinete de chefia; e nas quatro porções periféricas os respectivos salões de aula (SCHLEE, 1993, p. 90).

Assim como no casarão 8, tal simetria é vista, também, nas fachadas. A secundária, voltada para a rua Andrade Neves, apresenta uma entrada que divide a fachada em duas porções iguais, sendo todas as aberturas com arco pleno. A principal, de orientação sudoeste, apresenta um pórtico com quatro colunas coríntias (SCHLEE, 1993), em cujo entablamento está grafado, atualmente²⁰, o nome “Escola Eliseu Maciel”; à esquerda e à direita do pórtico, quatro janelas, duas de cada lado (Figura 12).

Figura 12 – Fachada principal da sede do MALG, 2022



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

²⁰ Imagens de época mostram que outras denominações do prédio, como “Escola de Agronomia”, já figuraram em sua fachada.

Os ornatos, assim como os presentes no Casarão 8, tem motivos que aludem à Antiguidade Clássica, fazendo, segundo Cerqueira (2014, p. 427), “...uma miscelânea de objetos e atributos maçônicos e clássicos”.

Devido à função a que se destinou a construção, tais ornamentações representam atividades relativas ao ensino, abrangendo a música, a literatura, a pintura e o desenho. Os ornatos que ladeiam a entrada principal reúnem representações, pelo lado direito (Figura 13), de um livro, de um rolo de papiro, de uma pena, de címbalos e de um trompete, além de um compasso e de um instrumento de precisão, que são de conotação maçônica; e, pelo lado esquerdo (Figura 14), de uma palheta, de pincéis, de instrumentos musicais, de uma folha de papiro, e, novamente, de um compasso. Ambos ornatos se encontram envoltos em coroa de folhas com um laço de fita em sua porção inferior (CERQUEIRA, 2014).

Figura 13 – Ornato localizado à direita da entrada do museu



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 14 – Ornato localizado à esquerda da entrada do museu



Fonte: CERQUEIRA, 2014, p. 442

As janelas de arco pleno da fachada principal apresentam ornatos compostos por coroas de folhas com uma estrela ao centro. Acima de cada uma, cartela com inscrições tipográficas: “INDUSTRIA” (Figura 15), “ARTES”, “SCIENCIAS” e “LITTERATURA”.

Figura 15 – Ornato com a inscrição “INDUSTRIA”



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O frontão triangular do pórtico apresenta uma série de elementos, repetindo alguns já presentes na fachada do prédio, como o compasso e as coroas de folhas, e adicionando outros, como uma âncora e um capitel de coluna coríntia; ao centro, apresenta um globo (Figura 16). Como relata Cerqueira (2014), trata-se de um *orbi terrarum*, que, desde a época do Império Romano, representa a autoridade imperial; tal simbologia, relaciona-se, também, com a simbologia maçônica, mostrando a

relação entre o regime imperial e a maçonaria. Abaixo do globo, em uma faixa, aparece a inscrição “FIAT LUX”, uma menção ao conceito de iluminação enquanto sabedoria (CERQUEIRA, 2014).

Figura 16 – Detalhe do frontão do prédio



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Acima do frontão encontra-se um rosto humano com uma coroa de raios solares (Figura 17); segundo Cerqueira (2014), pode ser uma representação de Apolo enquanto deus protetor da sabedoria.

Figura 17 – Rosto acima do frontão, provavelmente uma representação do deus Apolo



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

2.2. FOTOGRAMETRIA

Este tópico trata da fotogrametria para obtenção de modelos digitais tridimensionais de objetos. É apresentada a tecnologia fotogramétrica, os critérios a serem atendidos para sua utilização, bem como as etapas necessárias para a obtenção e utilização de imagens para reconstrução digital de objetos.

2.2.1. Critérios de escolha de tecnologias de digitalização tridimensional

A escolha de uma das diferentes tecnologias disponíveis para digitalização tridimensional de objetos a partir da obtenção por processos óticos não invasivos depende de vários critérios a serem considerados, a saber:

- resolução – a distância quantitativa mínima entre duas medições consecutivas.
- precisão - qual é o nível máximo de precisão registrada?
- alcance – quão próximo ou distante o dispositivo pode registrar o objeto?
- taxa de amostragem – qual o tempo mínimo entre duas medições consecutivas?
- custo – qual é a despesa com equipamento e *programa* (compra ou aluguel)?
- condições ambientais de operação – em que condições esse método funcionará; é necessário um ambiente de trabalho escuro, por exemplo?
- requisitos de habilidades – é necessário um treinamento considerável para realizar a técnica de captura de dados?
- uso – para que os dados 3D serão usados; análise científica ou visualização, por exemplo?
- Material – qual o material empregado na fabricação do artefato/monumento? (3D-ICONS, 2014, p. 11, tradução nossa).

Klein (2012), além de alguns dos critérios acima mencionados, estabelece os princípios de portabilidade do equipamento, forma de geração dos dados tridimensionais e forma de modelagem 3D.

No contexto deste trabalho, de emprego de tecnologias de baixo custo e de estabelecimento de diretrizes para uso de tais tecnologias por não especialistas, os requisitos custo e habilidades requeridas ganham força. Para Rahaman (2021), enquanto a digitalização tridimensional a *laser* envolve altos custos e uma *expertise* substancial, os programas fotogramétricos de modelagem tridimensional, baseados em imagens, proporcionam a digitalização tridimensional de objetos a custos mais

baixos e com uma curva de aprendizado menor. Por sua vez, Balletti e Ballarin (2019) adicionam à fotogrametria vantagem relativa à duração do procedimento, pois possuem maior velocidade na obtenção dos dados, ainda que seja igual o tempo de processamento destes dados a de outros processos. Além disso, Rahaman (2021) afirma que os programas gratuitos que possibilitam a reconstrução tridimensional de artefatos patrimoniais, por meio da fotogrametria, têm ganho popularidade por conta da qualidade dos dados por eles produzidos. Tais programas, atualmente permitem a calibração de câmeras, cálculos de geometria epipolar e geração de malha 3D de mapa texturizado de maneira rápida (3D-ICONS, 2014).

2.2.2. Definição

A fotogrametria é uma técnica de determinação das propriedades geométricas, bi e tridimensionais, de objetos a partir de um conjunto de imagens (3D-Icons, 2014). Desta forma, “[...] permite reconstruir a posição, a orientação, a forma e o tamanho dos objetos a partir de imagens: essas imagens podem se originar como imagens fotoquímicas (fotografia convencional) ou como imagens fotoelétricas (fotografia digital).” (KRAUS, 2008, p. 1, tradução nossa). O processo fotogramétrico consegue fazer esta reconstrução por meio da “[...] determinação dos parâmetros de orientação interna e externa da câmera, bem como a determinação das coordenadas 3D dos pontos nas imagens.” (3D-Icons, 2014, p. 14, tradução nossa).

Tal medição ocorre por meio de triangulação, em processo semelhante ao qual nossa visão consegue perceber profundidade (HORSWELL, 2013). Este autor destaca:

Ao tirar fotografias de ao menos duas localizações diferentes, as chamadas “linhas de visão” podem ser desenvolvidas de cada câmera a pontos no objeto. Estas linhas de visão [...] são interceptadas matematicamente para produzir as coordenadas tridimensionais dos pontos de interesse (HORSWELL, 2013, p. 370, tradução nossa).

Segundo Aber, Marzloff e Ries (2010), o termo fotogrametria abarca todas as técnicas relacionadas à medição de objetos a partir de imagens. Tais autores exemplificam que as imagens podem ser diversas, de fotografias aéreas a terrestres, assim como podem variar os instrumentos usados para sua obtenção e o uso das informações obtidas (medição de coordenadas, preparação de mapas topográficos,

entre outros). Denomina-se fotogrametria de curta distância a fotogrametria terrestre realizada com objetos cujas medidas sejam menores que 100 m e nas quais a distância entre o objeto e a câmera também seja menor que esta medida (3D-Icons, 2014).

2.2.3. Fotogrametria como tecnologia de digitalização de baixo custo

A evolução da fotogrametria para digitalização tridimensional, nos últimos vinte anos, avançou de forma a permitir 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).

Segundo o 3D-Icons (2014), projeto piloto do Programa de Apoio à Política de Tecnologias de Informação e Comunicação (*Information and Communication Technologies Policy Support Programme*), a precisão obtida pela fotogrametria depende, principalmente, de dois fatores: a qualidade ótica da câmera usada e a resolução de seu sensor. Entretanto, tal afirmação pode levar a uma compreensão errônea da influência das características do sensor no processo fotogramétrico ao mencionar somente a sua resolução como fator principal.

Segundo Nakamura, “...é óbvio que a sensibilidade e a capacidade total diminuem linearmente com o tamanho do pixel.” (NAKAMURA, 2006, p. 89, tradução nossa).

Portanto, a capacidade de resolução de pixels pequenos sofre do limite de difração. Como o ponto de difração aumenta com o número F e os números F mais baixos produzem grandes ângulos incidentes de luz nos pixels, causando mais sombreamento e crosstalk, a gama utilizável de configurações F é bastante limitada. Além disso, à medida que a profundidade objetiva se torna mais longa com pixels menores (ver Seção 2.2.2), imagens reproduzidas tiradas por um sensor de imagem com um pixel pequeno tendem a ser pan-focus. Além disso, um design de sistema de lentes mais complicado é necessário para compensar as várias aberrações descritas em... porque o tamanho do pixel é reduzido. Manter a qualidade da imagem à medida que os tamanhos de pixel diminuem exigirá uma função maior para os processadores back-end para compensar os

impactos negativos causados por pequenos pixels mencionados anteriormente. Por outro lado, sensores de imagem de alta resolução com um grande pixel para câmeras SLR digitais podem oferecer maior sensibilidade, maior alcance dinâmico, e uma gama mais ampla de configurações F, que por sua vez permite uma variedade de técnicas de captura de fotos. A despesa/compensação é um chip de sensor de imagem grande, que requer um sistema de lentes maior, resultando em um DSC maior e mais caro. A despesa/compensação é um chip de sensor de imagem grande, que requer um sistema de lentes maior, resultando em um DSC maior e mais caro. Além disso, à medida que a área física do silício cresce, o número de matrizes de imageador por wafer cai, aumentando o custo de cada sensor de imagem (NAKAMURA, 2006, p. 89, tradução nossa).

Nesse sentido, as resoluções²¹ cada vez maiores apresentadas pelos conjuntos de câmeras presentes em *smartphones* os colocam como opções vantajosas quando se foca em opções de baixo custo (YILMAZTURK; GURBAK, 2019). Satchet (2011) demonstrou, ao comparar as medições realizadas, por uma estação total, com as medições fotogramétricas realizadas com duas câmeras de celulares de diferentes resoluções (2 e 5 megapíxeis) e uma câmera fotográfica de alta resolução (15 megapíxeis), que o erro quadrático médio entre as medições diminui à medida que a resolução usada aumenta.

Saif e Alshibani (2022), ao avaliarem a qualidade e precisão geométrica de modelos digitais obtidos por fotogrametria usando um *smartphone* versus usando uma câmera digital compacta, revelaram que os dados obtidos pelo *smartphone* (SP) foram menos precisos do que os obtidos pela câmera compacta (CD), segundo os parâmetros usados pelos autores. A distorção causada pela lente, o erro de raiz quadrático médio da reconstrução tridimensional e o nível de ruído da nuvem esparsa de pontos foram maiores quando usado o *smartphone*, enquanto a nuvem densa de pontos teve menor densidade. No entanto, os autores ressaltam que a qualidade, tanto da nuvem densa de pontos, quanto dos modelos texturizados, foram de qualidade aceitável:

[...] os modelos do SP resultaram em estimativas geométricas surpreendentemente precisas, apesar das especificações relativamente inferiores. O erro de estimativa volumétrica variou de

²¹ A resolução que uma imagem pode apresentar está relacionada ao número de megapíxeis que o sensor da câmera apresenta. Um megapíxel equivale a 1 milhão de píxeis, sendo o píxel o menor elemento individual em uma imagem digital (Schurman, 2021). Cada uma destas menores unidades da imagem corresponde a uma região do sensor da câmera.

0,37% a 2,33% para CD e 0,67% a 3,19% para SP. Para a área superficial, o erro variou de 0,44% a 0,91% para CD e 0,50% a 1,89% para SP (SAIF; ALSHIBANI, 2022, p. 27, tradução nossa).

Entretanto, conforme ressaltam Fassi e Campanella (2017), apesar de poderem ser usados, potencialmente, por praticamente qualquer pessoa, muitos erros podem derivar da confiança na simplicidade e automaticidade do processo. Para usuários inexperientes, o resultado pode ser adequado do ponto de vista descritivo, mas não será metricamente acurado (BALLETTI; BALLARIN, 2019). Assim sendo, faz-se necessário entender as limitações dos equipamentos de baixo custo (uma câmera de celular e um computador pessoal, por exemplo): não são adequados para modelar edifícios ou paisagens, mas, o são, para a modelagem de pequenos objetos (RAHAMAN, 2021).

Além das limitações que os equipamentos usados para fotogrametria podem possuir, a técnica em si apresenta restrições de uso:

Dado que a digitalização 3D, baseada em fotos, envolve a referência automática de recursos entre uma série de fotografias, objetos que não possuem uma quantidade suficiente de recursos detectáveis exclusivos, como objetos transparentes (ou seja, janelas), refletivos (ou seja, janelas, espelhos, tinta brilhante) ou que tenham superfícies uniformes com pouca variação, pode ser problemático. [...] É provável que a precisão do modelo possa ser melhorada nessas áreas com a adição de iluminação auxiliar constante (sem flash) durante o processo de fotografia ou alterando as configurações da câmera para aumentar a exposição (ERICKSON; BAUER; HAYES, p. 8, 2013, tradução nossa).

Fassi e Campanella (2017) também observam que a digitalização tridimensional de objetos ligados ao patrimônio histórico por meio de imagens apresenta-se como complexa em virtude da usual riqueza de detalhes e formas livres presentes nos objetos, demandando um grande número de imagens com alta resolução e posterior modelagem tridimensional também de alta resolução.

2.2.4. Etapas da digitalização tridimensional

O processo fotogramétrico, no qual as imagens podem ser obtidas por uma ou diversas câmeras, consiste, de maneira geral, de duas etapas. A primeira etapa trata, justamente, desta obtenção de imagens, enquanto a segunda, do seu

processamento. O processamento pode ser realizado por um *smartphone* ou *tablet* ou por um computador, de maneira local ou com auxílio de computação na nuvem. Algoritmos são usados, então, para gerar uma nuvem de pontos 3D a partir das informações obtidas nas imagens (RAHAMAN, 2021).

Após a obtenção dos dados fotogramétricos é necessária a reconstrução geométrica do objeto em questão. A maneira pela qual se realiza esse processo depende dos seguintes fatores (3D-Icons, 2014, p. 18, tradução nossa): “[...] a complexidade morfológica do objeto (de primitivos geométricos a formas orgânicas); a escala do objeto; qual uso terá o modelo final (indo de análise métrica à divulgação pública).”

2.2.4.1. Levantamento fotográfico

Segundo Rahaman (2021), a modelagem 3D exitosa de um objeto, a partir de fotogrametria, depende da qualidade dos dados presentes no conjunto de fotografias tiradas deste objeto, bem como do algoritmo que os processa. O autor salienta que, como o programa fotogramétrico compara e referencia pontos ou píxeis em diferentes fotografias, minimizar as dúvidas do programa em relação a estes pontos auxilia o processamento adequado dos dados.

A área de sobreposição entre fotos consecutivas auxilia na identificação de pontos correspondentes entre as imagens. Mendes, Griz e Sedrez (2015) recomendam que haja entre 70 e 80% de sobreposição.

A profundidade de campo, segundo Rahaman (2021), deve ser a maior possível para que não existam áreas fora de foco, pois o algoritmo pode ter dificuldade em identificar regiões desfocadas no conjunto de fotografias. Para isso, recomenda-se usar o modo manual da câmera (ASADPOUR, 2021), para que esta não mude automaticamente definições que venham alterar a profundidade de campo. A subexposição, assim como a superexposição, ao produzirem áreas muito escuras ou muito claras, com poucas informações tonais, podem confundir os programas fotogramétricos, resultando em modelos com buracos (RAHAMAN, 2021). A correta exposição pode ser verificada no histograma no visor das câmeras e sua obtenção pode ser alcançada pela correta iluminação do objeto, por iluminação difusa (RAHAMAN, 2021). Quando o objeto estiver sob iluminação natural, sugere-se fazer a campanha de fotografia em dias nublados (MENDES;

GRIZ; SEDREZ, 2015) ou horários nos quais a luz do sol não crie sombras de bordas definidas sobre a superfície.

A manutenção da distância entre o objeto e a câmera, nas diferentes tomadas de imagem, é outro fator apresentado como contribuinte para um melhor resultado (ASADPOUR, 2021; DANTAS *et al.*, 2016). Uma diferente angulação entre a câmera e o objeto entre as tomadas também é recomendada (MENDES; GRIZ; SEDREZ, 2015), a fim de registrar partes do objeto que ficariam ocultas com a manutenção de uma angulação regular.

Uma série de orientações de ordem prática para a realização da sessão de captura de imagens podem incluir:

- verificar a limpeza da lente (ASADPOUR, 2021);
- ajustar o brilho da tela do celular, quando este for o instrumento de captura, para que se possa verificar a qualidade das imagens (nitidez e exposição) (*ibidem*);
- usar uma grade no preview da câmera para auxiliar no controle das sobreposições (*ibidem*);
- dividir a captura em blocos, permitindo a aproximação da câmera ao objeto fotografado (3D FORENSICS, 2020).

2.2.4.2. Processamento – Inserção e correlação das fotografias

Segundo Groetelaars (2015, p. 125), após inseridas as imagens no *programa*, “[...] a primeira etapa de processamento consiste em determinar os posicionamentos da câmera no momento da tomada fotográfica (orientação externa relativa).” Esta etapa é realizada com a detecção de pontos chaves que estejam presentes em diversas imagens, a sua classificação por descritores e a associação de tais pontos por meio destes descritores (SZELISKI²² 2010 *apud* GROETELAARS, 2015).

2.2.4.3. Processamento – Nuvem de pontos esparsa

Esta etapa inicia com a comparação dos pontos chaves pelos seus descritores nas diversas imagens. O processo é iniciado em duas fotografias e

²² SZELISKI, R. **Computer Vision: Algorithms and Applications**. New York: Springer, 2010.

depois expandido para todas as imagens inseridas no programa. A triangulação dos pontos chaves nas imagens utilizadas gera a nuvem de pontos esparsa (GROETELAARS, 2015), um resultado bruto inicial que é um conjunto de pontos em um sistema de coordenadas tridimensionais (3D-Icons, 2014). Também são obtidos uma estimativa do posicionamento e orientações da câmera e uma aproximação de seus parâmetros internos (GROETELAARS, 2015).

2.2.4.4. *Processamento – Nuvem de pontos densa*

A nuvem de pontos densa difere da esparsa por ser obtida por algoritmos que calculam a correspondência de todos os píxeis de uma imagem com seus correspondentes no restante das fotografias utilizadas (GROETELAARS, 2015). Esse processo acaba gerando pontos a partir de dados provenientes de áreas mal capturadas, de outros objetos presentes no ambiente de digitalização e de pontos periféricos, além do ruído, entendido como “[...] deslocamento espacial aleatório de vértices ao redor da superfície real”. (3D-Icons, 2014, p. 9, tradução nossa), mais comum em tecnologias baseadas em imagens. Nesta etapa, então, faz-se necessária uma limpeza de tais pontos.

2.2.4.5. *Processamento – Malha triangular*

Após a limpeza da nuvem de pontos, procede-se a produção do modelo tridimensional por superfície. O procedimento compreende o agrupamento de conjuntos de três pontos para determinação dos vértices de triângulos. Constata-se que, apesar da limpeza de ruído na etapa relativa à nuvem de pontos, ainda podem sobrar dados a serem filtrados na próxima etapa, isto é, a da limpeza da malha triangular (3D-Icons, 2014).

2.2.4.6. *Processamento – Limpeza da malha triangular*

A malha triangular pode apresentar falhas, como buracos, decorrentes de fatores como tanto o não mapeamento de determinadas áreas da superfície original quanto de suas características, como transparência ou brilho, que afetam a digitalização. A forma de lidar com estas falhas depende, em grande parte, do seu tamanho em relação ao objeto. Para regiões pequenas, podem ser utilizados os

recursos automáticos disponibilizados pelos programas. Mas, para áreas maiores, é necessário que sejam feitas escolhas pelo usuário, que precisará fazer suposições sobre a forma das áreas não registradas (3D-ICONS, 2014).

2.2.4.7. *Processamento – Simplificação da malha triangular*

As representações digitais de objetos, por meio de malhas triangulares, tendem a possuir uma quantidade de dados que inviabiliza seu uso por usuários que não disponham de computadores com grande capacidade de processamento, (3D-ICONS, 2014). Assim sendo, processos de simplificação das malhas triangulares, que permitem, ao mesmo tempo, redução da quantidade de dados e manutenção da qualidade da representação geométrica, para um determinado uso, são necessários, de forma geral, para a manipulação de tais modelos.

Um método popular para reduzir significativamente o número de vértices de uma malha triangulada, mantendo a aparência geral do objeto, é a dizimação do colapso da borda quádrada. Este método mescla os vértices comuns de triângulos adjacentes que se encontram em superfícies planas, visando reduzir o número de polígonos sem sacrificar detalhes significativos do objeto. A maioria dos métodos de simplificação pode melhorar significativamente a eficiência da malha 3D em termos de tamanho do número de dados (3D-ICONS, 2014, p. 21, tradução nossa).

2.2.4.8. *Processamento – Retopologia da malha triangular*

As malhas triangulares a serem usadas em aplicações nas quais a visualização, como nos jogos digitais, é mais importante do que a fidelidade geométrica, precisam ser simplificadas para minimizar a necessidade de capacidade de processamento para a sua renderização. Entretanto, a sua dizimação automática tende a remover características importantes destes modelos (3D-ICONS, 2014). Portanto,

Dizimar uma malha em um nível extremo pode ser alcançado por uma técnica empírica chamada retopologia. Esta é uma técnica de modelagem 3D, na qual ferramentas especiais são usadas pelo operador para gerar uma versão mais simples do modelo denso original, utilizando a topologia original como uma camada subjacente de suporte. Esta técnica mantém o número de polígonos em um mínimo extremo, mas, ao mesmo tempo, permite que o usuário

selecione quais recursos topológicos devem ser preservados da geometria original (3D-ICONS, 2014, p. 21, tradução nossa).

Após a retopologia, pode-se proceder o mapeamento da textura do modelo e a sua estruturação semântica, como a divisão do modelo em partes de acordo com suas funções, por exemplo. Tais etapas não serão tratadas neste trabalho por fugirem ao escopo definido.

2.3. MANUFATURA DIGITAL

Este subcapítulo trata das tecnologias disponíveis para a produção de modelos físicos dos ornatos em estuque, objetos de interesse deste trabalho, a partir dos modelos geométricos obtidos pela digitalização tridimensional. São apresentadas e detalhadas as tecnologias aditivas de manufatura digital, bem como suas possibilidades de uso nas atividades de restauro por meio da apresentação de suas características e de aplicações em projetos relativos ao patrimônio cultural.

2.3.1. Processos de Fabricação

Os processos de fabricação mecânica são agrupados, por Carvalho e Volpato (2017), em função do método pelo qual ocorre a transformação do material empregado no objeto desejado. Assim, classificam em fabricação por fusão (fundição de metais e injeção de plásticos, por exemplo); por conformação (deformação do material por estampagem de chapas, por exemplo); por união de componentes (soldagem e colagem, por exemplo); por divisão de componentes (serragem e cortes, por exemplo); por remoção ou subtração (processos de usinagem, por exemplo); e por adição (impressão 3D, por exemplo). Estes dois últimos grupos de processos, os **subtrativos** e os **aditivos**, constituem o que se chama de “**manufatura digital**” (BALLETTI; BALLARIN, 2019).

Tais tecnologias são assim chamadas por produzirem objetos físicos a partir de um arquivo digital de um objeto tridimensional gerado e/ou trabalhado, geralmente, por algum sistema de projeto auxiliado por computador (CAD – *Computer Aided Design*). Carvalho e Volpato (2017, p. 16) descrevem as **técnicas aditivas** de manufatura digital como “[...] fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma

representação geométrica computacional 3D do componente.” Já, as **técnicas subtrativas** de manufatura digital, abrangem os processos nos quais um objeto é produzido pela remoção de material para que se alcance a forma desejada (DE247 DIGITAL ENGINEERING, 20--?).

Estes processos, usualmente aplicados no âmbito da produção industrial/desenvolvimento de produtos, têm graus diferentes de aplicabilidade em projetos de restauro. Segundo Scopigno *et al.* (2014), estas tecnologias, por empregarem, essencialmente, processos físicos para a conformação dos objetos, levam a um número reduzido de materiais nas quais podem ser aplicadas. Desta forma, no contexto do patrimônio histórico, há restrições para a aplicação de ambas, como é descrito a seguir.

2.3.2. Técnicas aditivas

A ISO/ASTM 52900 (ISO/ASTM INTERNATIONAL, 2017) estabelece e define os termos usados para designar as diferentes tecnologias de manufatura aditiva:

- jato de aglutinante (*binder jetting*) – uma cabeça de impressão deposita seletivamente sobre uma superfície de pó uma substância aglutinante líquida. Uma vez feita a camada, o leito de pó desce, com uma nova camada de pó sendo espalhada para realização da camada seguinte sobre a recém-impressa;
- deposição por energia direcionada (*direct energy deposition*) – um ou mais bicos liberam materiais que são fundidos por energia térmica concentrada a medida na qual estes são depositados;
- extrusão de material ou deposição de material fundido (*material extrusion*) – um bico extrusor deposita, seletivamente e em camadas sucessivas, material derretido que, ao esfriar, forma o objeto desejado;
- jateamento de material (*material jetting*) – uma cabeça de impressão dispensa, simultaneamente, centenas de gotas de polímero em uma plataforma e este material é solidificado por luz ultravioleta. A plataforma de construção desce e uma nova camada é impressa;
- fusão em leito de pó (*powder bed fusion*) – o material em pó, depositado dentro de um leito, é fundido por uma fonte de energia

térmica; para a realização de uma nova camada, o leito desce e uma nova camada de material é distribuída para a fusão;

- laminação de folha (*sheet lamination*) – lâminas de material (papéis, polímeros e metais) são empilhadas e recortadas para produzir os objetos; a forma de união das lâminas (calor, ultrassom e cola, por exemplo) dependerá do material escolhido;
- fotopolimerização em cuba (*vat photopolymerization*) – uma fonte de luz solidifica, usualmente, um fotopolímero em uma cuba. Dependendo da tecnologia usada, uma camada inteira de material pode ser curada ao mesmo tempo.

Tais tecnologias aditivas têm emprego em diversas áreas da produção industrial e da manufatura de objetos em geral. Mas, apesar de Balletti e Ballarin (2019) apontarem para o crescimento da utilização da manufatura digital, no âmbito do patrimônio cultural, elas acabam, na maioria dos casos, restringindo-se ao uso em exposições museológicas. Acke *et al.* (2021) corroboram sobre a existência desta limitação de uso, em restaurações, das manufaturas digitais, ao relatarem que, em suas pesquisas, evidenciaram que a maior preocupação em relação ao uso destas tecnologias é a restrição de materiais que podem ser empregados. Neste contexto, Acke *et al.* (2021) descrevem a impressão (ou seja, a manufatura aditiva) em polímeros como sendo geralmente usada em etapas de planejamento ou intermediárias, nos processos de restauro, e não para a impressão das peças em si. Justificam isto pelas potenciais inadequações destes materiais no contexto patrimonial, sendo potencialmente mais perigosos quando usados em superfícies orgânicas. Assim sendo, na maioria das vezes, o uso da manufatura digital restringe-se à produção de moldes e em atividades de restauração integrativa (BALLETTI; BALLARIN; 2019).

Frente aos achados e descrições dos estudos consultados, o presente trabalho restringe as opções de manufatura aditiva à **extrusão de material**. Outras tecnologias, como **fotopolimerização em cuba** (mais especificamente, a estereolitografia), **jateamento de material** e **jato de aglutinante** foram encontradas nos estudos de caso analisados por Acke *et al.* (2021). Comparativamente, a **extrusão de material** não apresenta a mesma capacidade de reprodução de detalhes e acabamento superficial do **jateamento de material**, mas ela ganha tanto

em custo quanto em acessibilidade (ACKE *et al.*, 2021). Por sua vez, a tecnologia de **jato de aglutinante**, apesar de possibilitar a impressão em gesso, o que seria uma possibilidade para ornatos internos, não representa uma alternativa viável para a produção de ornatos externos, em virtude dos materiais usados neste caso.

Demais tecnologias como **deposição por energia direcionada**, **laminação de folha** e **fusão em leito de pó** foram descartadas por trabalharem exclusivamente com metais, apresentarem baixa qualidade superficial e apresentarem custo maior, respectivamente. A **fotopolimerização em cuba**, em virtude da capacidade de reprodução de detalhes e acabamento superficial, foi escolhida como a tecnologia de referência neste trabalho.

Assim, justifica-se a escolha realizada, neste trabalho, em relação à tecnologia de **extrusão de material** para o desenvolvimento das réplicas e, se passa a descrever, neste capítulo, unicamente o que diz respeito a esta decisão.

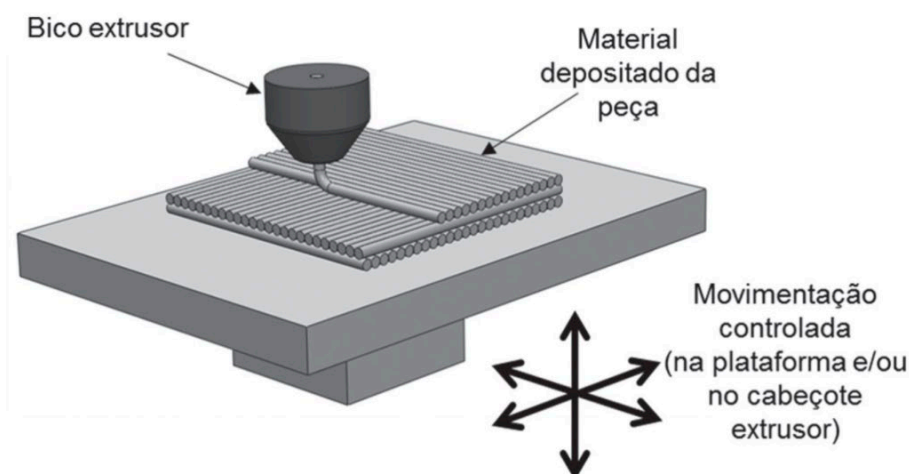
2.3.2.1. Componentes, princípio de funcionamento e alimentação de máquinas de manufatura aditiva

De maneira genérica, os principais componentes de uma impressora 3D, como são comumente chamados os equipamentos de manufatura aditiva, são (3DINSIDER, 20-?):

- quadro, a parte estrutural da impressora;
- mecanismos de movimento da cabeça de impressão;
- cabeça de impressão, responsável pela deposição do material ou do aglutinante do material;
- plataforma ou leito de construção na qual o objeto é impresso;
- motores de passo que posicionam e controlam a velocidade da cabeça de impressão;
- parte eletrônica que aciona os componentes da impressora;
- *firmware* que controla a impressora 3D;
- programa de impressão, que não faz parte do *hardware*, mas comanda a impressora.

Assim sendo, o material extrudado é depositado sobre a plataforma por um bico extrusor. A cabeça de impressão, ou cabeçote extrusor, move-se, usualmente, no sentido x-y, depositando camadas de filamento segundo a forma desejada, formando uma fatia da seção transversal da peça, enquanto a plataforma desloca-se no eixo z, afastando-se do bico em uma distância correspondente à espessura de uma camada, possibilitando a cada deslocamento, a deposição de uma nova camada sobre as anteriores. Existe, também, a possibilidade de uso de uma plataforma estacionária, com o cabeçote movendo-se nos três eixos. O bico extrusor pode trabalhar a diferentes temperaturas, dependendo da temperatura de fusão do material em questão, ressaltando que é necessário que o material em estado pastoso se solidifique, por reações físicas ou químicas, ao mesmo tempo em que adere à superfície de construção ou às camadas de material previamente depositadas (Figura 18). Outro bico extrusor pode usar um material diferente para construir estruturas de suporte quando existirem partes suspensas (UPCRAFT; FLETCHER, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2017; VOLPATO, 2017). Volpato (2017) observa que, neste tipo de impressão 3D, é necessário que se mantenha uma pressão constante sobre o filamento para se obter uma seção transversal também constante do filamento depositado.

Figura 18 – Diagrama esquemático da manufatura aditiva por extrusão de material



Fonte: VOLPATO, 2017

Esta tecnologia de impressão 3D pode ser considerada lenta quando comparada a outros processos (VOLPATO, 2017); tal “lentidão” pode ser atribuída à

necessidade do bico extrusor percorrer toda a área a ser impressa para produzir as camadas (HOPKINSON; HAGUE; DICKENS, 2006).

A alimentação do maquinário de manufatura aditiva por **extrusão de material** pode ser feita por diversas tecnologias. Segundo Volpato (2017), a mais comum forma de alimentação do cabeçote extrusor é realizada com um filamento de material tracionado por roletes, processo que comercialmente é chamado de FDM – *Fused Deposition Modeling* – (fabricado por Stratasys Ltda) e que originou uma gama de equipamentos de baixo custo.

Neste caso, o filamento ainda não derretido funciona como êmbolo, pressionando o material já aquecido à frente. Tal forma de alimentação necessita, conforme observa Volpato (2017), que o material não queime antes de sua entrada no cabeçote, o que acaba limitando os tipos de materiais para uso. Volpato (2017) salienta que este sistema de roletes pode ocasionar falhas como escorregamento do filamento (por variações do diâmetro), comprometimento da função do filamento como êmbolo (por aumento de sua temperatura) e aumento da pressão para extrusão do material pelo bico (por variações de temperatura).

As alternativas tecnológicas apresentadas por Volpato (2017), para dirimir tais problemas, são diferentes formas de alimentação, com uso do material em diferentes formatos. O uso do material em formato de varetas dentadas, moldadas por injeção, com alta precisão dimensional e tracionadas por engrenagens, é chamada de Fabbster pela empresa que a comercializa. A utilização de material granulado ou em pó é outra possibilidade. Nestes casos, o material pode ser processado por parafuso extrusor ou fundido para ser extrudado. Segundo Volpato (2017, p. 148):

O uso de material granulado é relevante, pois permite ampliar a gama de materiais que podem ser empregados, reduzindo o tempo de preparação da matéria-prima, uma vez que é desnecessário obter um filamento extrudado para alimentação do sistema. Adicionalmente, evita-se um processamento adicional no material, o que pode ser relevante para as propriedades finais do polímero.

Volpato (2017) menciona, ainda, outros processos, como o Fab@Home: com uso de pistão ou êmbolo em material aquecido e fundido ou já em forma pastosa, para uso, por exemplo, com silicone.

2.3.2.2. Processo de manufatura aditiva por extrusão de material

As manufaturas aditivas constroem objetos a partir de arquivos digitais de objetos tridimensionais, como mencionado anteriormente. Foggiatto e Silva (2017) apresentam a extensão “.stl” (*StereoLithography*) como a mais utilizada, mas ressaltam que outras extensões também são empregadas. Sobre este aspecto Carvalho e Volpato (2017, p.75) declaram:

O formato de arquivo STL foi desenvolvido em 1988 pelo Albert Consulting Group, sob demanda da 3D Systems Inc., dos Estados Unidos. Esse formato caracteriza-se por ser uma forma simples e robusta de representar modelos tridimensionais por meio de uma malha triangular que recobre todas as superfícies de um objeto. Cada elemento triangular da malha STL é independente, possui três vértices e contém um vetor normal unitário que aponta sempre para onde não há material (parte externa da peça). Assim, os vetores normais servem para distinguir em que região deve existir material.

Tais arquivos são gerados a partir de modelos 3D que, no âmbito deste trabalho, serão obtidos por fotogrametria de objetos existentes, os ornatos em estuque. Foggiatto e Silva (2017, p. 71) observam que tais modelos geométricos “[...] devem conter delimitações bem definidas, sem quebras, falhas nas conexões ou superposições das várias superfícies componentes do modelo 3D.” Caso contrário, serão impróprios para a manufatura digital. Os autores colocam superfícies não conectadas, sólidos não conectados e sobreposição de superfícies como os principais problemas encontrados em modelos tridimensionais que afetam sua transformação em arquivos para impressão 3D.

A partir da obtenção deste arquivo adequado ao processo de manufatura aditiva, as etapas necessárias para a produção de um objeto são descritas por Volpato e Silva (2017) como:

- a) orientação para fabricação;
- b) posicionamento no volume de construção;
- c) aplicação de escala, quando necessário;
- d) cálculo das estruturas de suporte, quando necessário;
- e) fatiamento da geometria;
- f) planejamento da trajetória de contorno e/ou preenchimento;
- g) sistemas de planejamento de processo CAM;

- h) fabricação da peça;
- i) pós-processamento.

A etapa de (a) **orientação para fabricação** consiste em orientar a produção da peça de acordo com o eixo Z. Tal orientação implica na maior ou menor influência do efeito degrau na precisão dimensional e na reprodução de detalhes do modelo tridimensional digital, assim como no número de camadas necessárias para construção da peça, na quantidade de material de suporte, no tempo de fabricação e na resistência da peça, maior quando a sua seção maior é impressa paralelamente à plataforma, em virtude da maior adesão entre camadas.

O (b) **posicionamento no volume de construção** implica, no caso da manufatura por extrusão de material, no posicionamento da peça a ser impressa no plano XY, já que não é possível imprimir peças diferentes ao longo do eixo Z, como em processos nos quais o material não processado serve como suporte.

A (c) **aplicação de escala** pode ser necessária para corrigir variações dimensionais devidas à contração do material em virtude de seu resfriamento.

O (d) **cálculo das estruturas de suporte** é necessário para que partes suspensas ou com inclinação que não possibilitem o autossuporte – esse ângulo costuma ser de 45° para o material ABS, por exemplo – não colapsem durante a fabricação. Tal definição deve ter como objetivo o mínimo emprego de material possível e esse material pode ou não ser o mesmo usado na peça. Segundo Volpato e Silva (2017), duas alternativas são apresentadas pelos programas CAM para planejamento de manufatura: análise direta da inclinação dos triângulos do arquivo STL e operações booleanas entre fatias de camadas adjacentes. Ambas soluções possuem limitações, mas podem ser combinadas para redução do tempo de cálculo do suporte.

No (e) **fatiamento da geometria**, o usuário escolhe, basicamente, a espessura da camada de impressão, deixando as demais definições para o sistema CAM (VOLPATO; SILVA, 2017). Quatro etapas são compreendidas no fatiamento: a definição da espessura, o cálculo da intersecção entre plano e malha, a montagem dos contornos fechados e a determinação do sentido dos contornos.

O (f) **planejamento da trajetória de contorno e/ou preenchimento** envolve a definição dos limites que serão obedecidos para deposição do material. No caso

da extrusão de material serão definidas as superfícies externas e a forma de preenchimento da peça.

Os (g) **sistemas de planejamento de processo CAM** são responsáveis por converter as informações definidas em linguagens que possam ser interpretadas pelas máquinas de manufatura aditiva. Tais linguagens podem ser exclusivas dos fabricantes dos equipamentos, mas existem alternativas de código aberto, especialmente as tecnologias de extrusão de material.

A etapa de (h) **fabricação da peça** é geralmente automática e não necessita de intervenção do usuário, à exceção de definições no início do processo (VOLPATO; SILVA, 2017).

O (i) **pós-processamento** inclui uma vasta gama de procedimentos, a depender da tecnologia usada, do material empregado, da existência ou não de material de suporte e da finalidade a que a peça produzida se dedica. Nos processos que agregam pó de cerâmica ou metálico a um polímero ou cera é necessário cozer a peça a alta temperatura para eliminar o polímero ou cera e sinterizar a cerâmica ou metal (VOLPATO, 2017). Outras formas mais usuais de pós-processamento são a retirada das estruturas de suporte e o acabamento superficial. Quando as estruturas de suporte são produzidas no mesmo material que a peça em si, tais estruturas podem ser retiradas por ação mecânica, com o uso de ferramentas como alicates. Quando produzidas em material específico para produção de suporte, podem ser removidas por banhos com substâncias próprias para sua remoção. O acabamento superficial pode ser realizado por ação mecânica ou química.

2.3.3. Aplicações, vantagens e limitações dos processos de manufatura aditiva por extrusão de material na reprodução de objetos patrimoniais

Como a digitalização tridimensional permite a obtenção dos dados geométricos de objetos patrimoniais, a manufatura digital de cópias torna-se uma possibilidade frente às técnicas tradicionais, pois “[...] o modelo impresso resultante é então pelo menos equivalente ao molde tradicional, mas como é obtido sem contato direto com o objeto, o processo garante a proteção aprimorada da propriedade original.” (BALLETTI; BALLARIN, 2019, p. 4). Assim sendo, as limitações impostas ao uso destas tecnologias de fabricação, em ações de restauro,

residem, para além da qualidade do processo de fabricação em si, na restrição de materiais disponíveis, tendo em vista a manutenção do princípio de autenticidade.

Echavarría *et al.* (2016), ao abordarem as possibilidades de restauro de ornatos localizados no forro de uma residência pertencente a uma área de conservação, no Reino Unido (Figura 19), apresentaram duas abordagens: uma usando a manufatura digital de moldes para a produção das peças em gesso, outra fazendo a impressão das peças em resina para seu uso direto na obra.

Figura 19 – Forro e ornatos antes do restauro (à esquerda), forro preenchido sem os ornamentos (à direita) e restauro finalizado (base da figura)



Fonte: adaptado de ECHAVARRIA *et al.*, 2016

Apesar de observarem que os ornatos em resina são mais leves do que os em gesso e, por isso, menos perigosos em caso de desprendimento do teto, os autores reconhecem as incertezas da durabilidade da aplicação da resina neste contexto, notadamente a sua diferença em relação ao gesso original. Assim, considerando a necessidade de manutenção dos materiais originais, como uma restrição de projeto, a produção de moldes por manufatura digital ou manufatura de peças por impressão para posterior produção dos moldes, seriam caminhos mais adequados.

Hernández-Muñoz e Sánchez-Ortiz (2019) seguiram por este caminho ao realizarem um estudo sobre o uso tecnologias 3D para o restauro de modelos anatômicos de cera (Figura 20) em substituição às técnicas tradicionais. Buscaram

alternativas em virtude da fragilidade deste tipo de peça e da necessidade, nestes processos tradicionais, de uso de substâncias químicas, de ação possivelmente danosa, diretamente sobre o objeto.

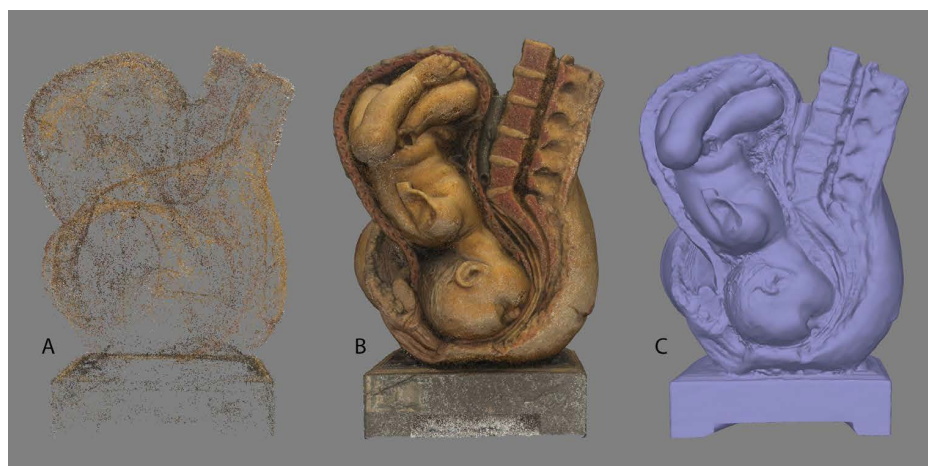
Figura 20 – “Parto de Frente”, modelo anatômico em cera do século XVIII com pé e braço danificados



Fonte: HERNÁNDEZ-MUÑOZ; SÁNCHEZ-ORTIZ, 2019, p. 62

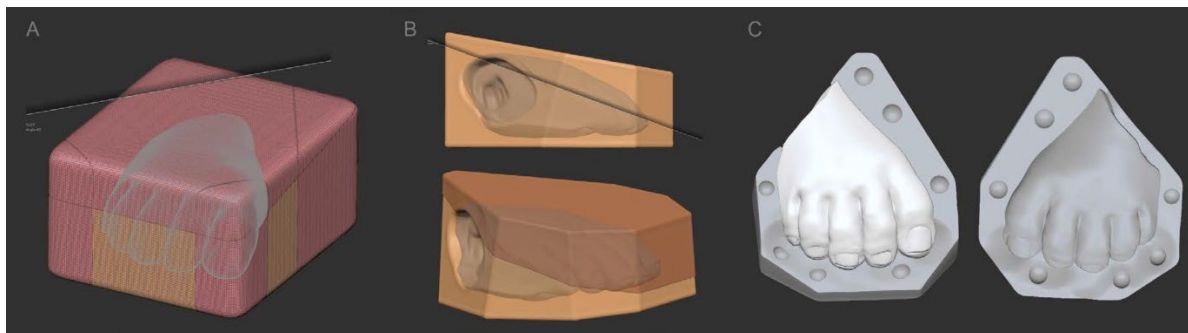
Ao perceberem que todos os passos necessários para realizar a ação por meio de processos tradicionais eram possíveis de serem reproduzidos com tecnologias 3D, os autores digitalizaram a peça por fotogrametria (Figura 21) e utilizaram manufatura aditiva por extrusão de material para a (1) produção das peças para moldagem por silicone e, então, confecção da peça em cera e (2) produção direta de moldes para confecção das peças faltantes (Figura 22).

Figura 21 – Fases do processo fotogramétrico: a) nuvem de pontos esparsa; b) nuvem de pontos densa; c) malha triangular tridimensional



Fonte: adaptado de HERNÁNDEZ-MUÑOZ; SÁNCHEZ-ORTIZ, 2019

Figura 22 – Molde elaborado em taceos para confecção em filamento flexível (programa Zbrush)



Fonte: HERNÁNDEZ-MUÑOZ; SÁNCHEZ-ORTIZ, 2019, p. 69

As conclusões do estudo de Hernández-Muñoz e Sánchez-Ortiz (2019) relatam uma rugosidade no modelo 3D digital, que foi atribuída aos reflexos que o material original apresenta (algo que não deve acontecer na execução do presente trabalho em virtude da aparência fosca dos ornatos em estuque) mas esta rugosidade não foi relatada nas cópias impressas. Os pesquisadores relatam, tanto na produção de moldes quanto na impressão direta das peças, a existência de uma trama decorrente da impressão por camadas. Este é um ponto que se deverá ter atenção na execução do presente trabalho: na impressão de moldes flexíveis, a textura das camadas foi observada como mais evidente e fios do material usados ficaram pendurados em algumas áreas, reduzindo a fidelidade ao original do molde.

Tais fatores levaram, no trabalho citado, à necessidade de uma etapa de pós-processamento das peças. Isto acabou por nivelar a qualidade de acabamento superficial das peças produzidas pelos moldes e pelas peças impressas diretamente (HERNÁNDEZ-MUÑOZ; SÁNCHEZ-ORTIZ, 2019). Em relação aos custos dos materiais empregados no relato apresentado, estes, PLA e Filaflex, são mais baratos que o silicone.

Apesar de concluírem que não houve diferenças significativas entre os resultados obtidos com as diferentes abordagens após o refinamento das peças, os autores, em estudo posterior (HERNÁNDEZ-MUÑOZ; SÁNCHEZ-ORTIZ; MARTÍN, 2019), decidiram pelo uso da impressão da peça em PLA para posterior confecção de moldes em silicone e reprodução do objeto no material original em virtude da existência de áreas com muitas saliências e depressões no modelo e do seu tamanho (18,6 x 26,5 x 13,2 cm).

Em relação às técnicas subtrativas, as técnicas aditivas são:

[...] mais versáteis e permitem a reprodução de geometrias altamente complexas e otimizadas por topologia com detalhes mais precisos, como cavidades e partes oclusas, que usualmente não podem ser produzidos usando as tecnologias subtrativas. Todas as técnicas aditivas compartilham as características acima, mas diferem na forma como as seções tomam forma e na variedade de materiais que podem ser usados, resultando em qualidade e resolução variadas no produto final (BALLETTI; BALLARIN, 2019, p. 3, tradução nossa).

Entre as limitações das técnicas aditivas apresentadas por Carvalho e Volpato (2017) estão a precisão dimensional e o acabamento superficial, inferiores aos de processos subtrativos como a usinagem CNC. Afirmam isto em virtude do aspecto “serrilhado” produzido pela adição de camadas em superfícies inclinadas ou curvas, empenamento e inchamento em algumas tecnologias e limitação de materiais. Estas limitações, como sugerem Acke *et al.* (2021), podem ser, pelo menos em parte, diminuídas com alguma técnica de acabamento: a peça pode ser impressa em tamanho menor para receber uma camada de acabamento e assim adquirir as dimensões corretas ou pode receber algum tipo de acabamento superficial.

Mas, mesmo com essas limitações, a manufatura aditiva tem ganho espaço frente às subtrativas, que ficam destinadas, usualmente, à produção de baixos-relevos ou a casos nos quais seja necessário o uso de um material específico não disponível para uso nos processos aditivos (SCOPIGNO *et al.*, 2014). Estes autores ainda destacam que, ao contrário da maioria dos processos industriais de larga escala, a manufatura aditiva de objetos não é dependente da complexidade formal destes, o que a torna uma maneira rápida para a sua produção. Hopkinson, Hague e Dickens (2006) indicam que se soma a esta qualidade a sua facilidade de instalação, que pode ocorrer em diferentes ambientes, de fábricas a escritórios.

Mas alguns fatores podem levar ao uso de técnicas subtrativas. Um deles é o tamanho dos ornatos a serem reproduzidos. Como salientam Scopigno *et al.* (2014), a maioria das impressoras 3D comuns permite a produção de objetos com, no máximo, 40 cm³, enquanto as máquinas de usinagem permitem tamanhos maiores. Uma saída para a impressão de peças maiores do que os volumes de impressão disponíveis, quando usadas máquinas de manufatura aditiva, é a segmentação destas peças, conforme sugerido por Echavarria *et al.* (2016). Conforme os autores, quando impressas as peças para posterior execução de um molde em silicone para

reprodução dos ornamentos a serem usados no restauro, as peças impressas podem passar por uma etapa de acabamento para que suas junções não sejam aparentes. Acke *et al.* (2021) indicam, também, que serviços de impressão com máquinas maiores podem ser utilizados nestes casos.

Outro fator que pode levar à escolha de processos subtrativos é o seu melhor acabamento superficial. Bonfada, Kauffmann e Silva (2020), ao realizarem uma análise dimensional de réplicas de placas de bronze produzidas em resina (Figura 23), a partir de moldes em silicone obtidos de peças impressas por extrusão de material e por usinagem CNC do material *Ren Shape 460* (composto para uso nesta tecnologia), concluíram que a usinagem CNC produziu uma cópia com um número menor de pontos, com diferenças dimensionais, ao ser comparada com o modelo digital obtido pela digitalização da peça original e com qualidade superficial maior, já que a peça impressa apresentou textura característica do processo (Figura 24).

Figura 23 – Monumento a Bento Gonçalves e detalhe da placa de bronze presente no monumento (Avenida Azenha, Porto Alegre/RS)



Fonte: adaptado de BONFADA; KAUFFMANN; SILVA, 2020

Figura 24 – Detalhes das peças fabricadas por usinagem CNC (à esquerda) e por impressão por extrusão de material (à direita)



Fonte: BONFADA; KAUFFMANN; SILVA, 2020, p. 50

Assim sendo, a partir dos estudos apresentados, conclui-se que, apesar da perda de qualidade das reconstruções fotogramétricas de objetos quando utilizados *smartphones*, os resultados obtidos podem ser ainda satisfatórios. No tocante à fabricação das peças, para manutenção dos materiais originalmente usados na confecção dos ornatos em estuque, o uso de manufatura digital para produção direta das peças não é uma opção viável, mas a produção de peças que originem os moldes para posterior preenchimento pelos materiais usados tradicionalmente é uma alternativa. No caso da impressão direta dos moldes, pode haver uma necessidade maior de acabamento superficial no uso de manufatura aditiva. O tamanho das peças a serem produzidas pode enfrentar restrições por conta dos equipamentos usados, com possível maior restrição no uso da manufatura aditiva por extrusão de material, em comparação com a usinagem CNC. Como a emenda de peças está presente nos processos tradicionais de produção de ornatos em estuque, tal limitação não deve ser impeditiva para o uso da manufatura aditiva.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é caracterizado, segundo a sua **abordagem**, como **misto** (**qualitativo** e **quantitativo**). **Qualitativo** porque “se dá de forma não estruturada, exploratória, com pequena amostra, proporcionando *insights* e a compreensão do contexto” (MALHORTA, 2006, p.155) e **quantitativo** porque usa critérios mensuráveis para avaliação de parte dos resultados (a saber, a precisão dimensional dos modelos obtidos por fotogrametria em relação ao padrão de referência usado). Segundo sua **natureza**, trata-se de uma pesquisa **aplicada**, pois visa a geração de conhecimentos para a aplicação prática no processo de produção de réplicas de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque com o uso de tecnologias 3D de baixo custo. Quanto aos seus **objetivos**, caracteriza-se como **exploratória**, por buscar proporcionar maior familiaridade com o uso de tecnologias 3D no campo em estudo.

3.1. METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo aqui apresentado foi dividido em nove etapas. O (1) **Planejamento inicial** abarcou a definição do objetivo, da justificativa e elaboração da hipótese. A (2) **Fundamentação teórica** abordou a técnica do estuque, expondo a sua história e suas aplicações, bem como a sua utilização nos imóveis históricos da cidade de Pelotas nos quais estão os ornatos presentes neste trabalho. Abordou, também, a fotogrametria enquanto tecnologia que possibilita a digitalização tridimensional de objetos a baixo custo e sua aplicação na réplica de objetos patrimoniais.

A (3) **Definição da amostra** compreendeu a seleção dos ornatos para digitalização, bem como dos instrumentos para sua realização, *hardware* e *software*, da coleta dos dados.

A (4) **Digitalização tridimensional por fotogrametria** foi adaptada do processo definido por Muniz, Silva e Kindlein Júnior (2018), quando da digitalização por luz estruturada de ornatos arquitetônicos nos prédios históricos do Campus Central da UFRGS.

Na (5) **Avaliação dos modelos digitais tridimensionais**, os modelos obtidos foram comparados por RMS a digitalizações realizadas com luz estruturada. Os modelos com melhores resultados foram usados, então, na etapa de (6) **Produção**

de réplicas por manufatura aditiva dos modelos, quando foram escolhidos segmentos dos ornatos para produção. Duas tecnologias de manufatura aditiva foram utilizadas: extrusão de material e estereolitografia mascarada por tela de cristal líquido. A primeira, de baixo custo, foi utilizada tanto para a impressão das peças obtidas por fotogrametria quanto para as realizadas por luz estruturada, de forma a compará-las com os resultados da segunda tecnologia, que foi usada para a impressão das peças obtidas por luz estruturada.

Na (7) **Produção de moldes**, as peças da etapa anterior foram moldadas para a (8) **Produção de réplicas** em material semelhante aos usados na produção de ornatos arquitetônicos em estuque. Por fim, procedeu-se uma (9) **Avaliação das réplicas**.

3.1.1. Definição da amostra

Esta etapa compreendeu a **escolha dos ornatos** nos imóveis para digitalização, dos **instrumentos para captura** das imagens a serem usados no processo fotogramétrico, dos **instrumentos para processamento** destas imagens e das **ferramentas para geração dos modelos tridimensionais digitais por fotogrametria**.

Os fatores que foram considerados na **escolha dos ornatos** foram a sua **facilidade de acesso**, ou seja, a possibilidade de realizar as sessões de fotografia e de digitalização por luz estruturada sem afetar de maneira significativa o funcionamento dos museus, e a sua **complexidade formal**, que apresentasse desafios como partes sobrepostas, tanto para obtenção dos dados necessários para sua reconstrução digital quanto para a produção de moldes para sua replicação. Assim, os ornatos escolhidos foram adereços externos, de fácil acesso para a realização da digitalização, e com essa característica formal.

O ornato escolhido no Museu do Doce foi uma gárgula presente nos balcões das janelas do Casarão 8 (Figura 25). Como este ornato repete-se ao longo das fachadas do imóvel, a escolha de um dos objetos para obtenção das imagens deu-se em virtude, principalmente, das condições de iluminação e do tráfego de pessoas, já que o estado de conservação das diferentes peças era semelhante. Assim, optou-se por uma das gárgulas presente na fachada secundária (leste) do imóvel, em virtude do menor movimento de transeuntes. Apesar desta fachada ser iluminada diretamente pelo sol no período da manhã, a presença de um edifício no lado oposto da rua gera sombra sobre o ornato, garantindo uma iluminação difusa do ornato.

Figura 25 – Ornato escolhido no Museu do Doce para digitalização



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

No MALG, o ornato escolhido, também externo, está localizado à direita da entrada principal (Figura 26). Dentre os ornatos presentes nas fachadas do museu, este foi escolhido em virtude da sua acessibilidade e pelo seu estado de conservação. Contribuiu, também, a sua localização, abaixo do pórtico de entrada, o que garante uma iluminação indireta.

Figura 26 – Ornato escolhido no MALG para digitalização



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Dois instrumentos para **captura de imagens** foram usados neste trabalho: um **smartphone Motorola Edge 20** e uma **câmera Canon EOS Rebel T2i**. O Motorola Edge 20, lançado em julho de 2021, possui um conjunto de três câmeras na parte traseira do aparelho, sendo que as imagens obtidas por duas delas foram usadas no processo de reconstrução tridimensional dos ornatos: a câmera primária, com sensor Samsung ISOCELL HM2 de 1/1,52", píxeis de 0,7 μm , 108 MP de resolução, abertura f/1.9, ângulo de visão de 82°, distância focal de 24 mm e PDAF (*Phase Detection AutoFocus*), e uma das câmeras secundárias, a teleobjetiva, com sensor de 1/4,4", píxeis de 1,0 μm , 8 MP de resolução, abertura f/2,4, ângulo de visão de 30°, distância focal de 78 mm, PDAF (*Phase Detection AutoFocus*) e estabilização ótica de imagem. O uso das câmeras secundárias deu-se, principalmente, no contexto de exploração do *smartphone*, tendo visto que a primária é equipada com um sensor maior, o que levaria, a princípio, a resultados melhores.

A câmera Canon EOS Rebel T2i, lançada em 2010, com sensor CMOS de 22,3 mm x 14,9 mm, píxeis de 4,29 μm , 18 MP de resolução, com uma lente zoom com distância focal de 18-55 mm, abertura f/3.5-36, foi também usada na coleta piloto para que uma eventual impossibilidade de uso das imagens obtidas pelo *smartphone*, por conta da ausência de seu sensor na base de dados dos programas e aplicativos em virtude da sua data de lançamento, não tornasse a coleta improdutiva.

A câmera Canon foi escolhida por conveniência, pois já era de propriedade do pesquisador, enquanto o *smartphone* Motorola Edge 20 foi escolhido, dentro do contexto de baixo custo do projeto, por ser considerado um *smartphone* "intermediário premium" (GONÇALVES, 2021; TUDOCELULAR, 2022), categoria na qual os aparelhos apresentam configurações de desempenho próximas aos *smartphones* considerados "premium", mas sem os custos destes.

Dois *notebooks* foram utilizados para a **processamento das imagens**. O primeiro computador usado para processamento das imagens pelos programas fotogramétricos foi um **notebook Samsung**, com processador Intel(R) Core(TM) 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 5.2²³ (em uma escala de produtos disponíveis entre 2.0 e 8.6) segundo o fabricante.

²³ O Meshroom informou, entretanto, no *log* dos arquivos de reconstrução, esta capacidade como sendo de 3.5.

O segundo 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, com placa de vídeo NVIDIA Geforce RTX 2060, com capacidade de computação de 7.5. Este segundo computador foi usado em virtude das limitações apresentadas pelo primeiro na reconstrução dos ornatos. Estes computadores serão referidos neste trabalho como *notebook Samsung* e *notebook Lenovo*, a fim de simplificar a sua menção.

O *notebook Samsung* foi escolhido por conveniência, sendo de propriedade do pesquisador antes do início do trabalho, enquanto o *notebook Lenovo* foi adquirido em virtude das limitações apresentadas para reconstrução dos ornatos pelo primeiro *notebook*.

A escolha das **ferramentas para geração dos modelos tridimensionais digitais por fotogrametria** abarcou dois grupos: programas gratuitos e licenciados de forma a permitirem uso comercial disponíveis para o sistema operacional Windows® e aplicativos para *smartphones* com o sistema operacional Android.

A seleção dos programas para digitalização disponíveis no sistema Windows® foi realizada a partir dos seguintes critérios:

- a) Possuir interface gráfica;
- a) Ser gratuito para uso comercial;
- b) Não possuir limitações funcionais em virtude da sua gratuidade;
- c) Ser destinado a fotogrametria de curta distância;
- d) Ter recebido alguma atualização nos últimos cinco anos;
- e) Realizar a reconstrução tridimensional por fotogrametria de ponta-a-ponta, tendo como *input* imagens de um objeto e como *output* uma malha triangular de tal objeto, sem a necessidade de uso de outros programas.

Definiu-se, também, que seriam usadas as versões já compiladas²⁴ dos programas, sempre que disponíveis. Os programas encontrados que preenchem tais requisitos foram o **Colmap**, o **Meshroom**, o **Regard3D**, o **Multi-View Environment** e o **MicMac**.

O **Colmap** apresenta-se como uma sequência linear de módulos especializados em *Structure-from-Motion* (SfM) e *Multi-View Stereo* (MVS) de uso

²⁴ Versão do programa já na linguagem de máquina.

geral (SCHOENBERGER, 201?), disponibilizado sob uma licença do tipo BSD. Foi desenvolvido por Johannes L. Schönberger e financiado por seus orientadores de doutorado, Jan-Michael Frahm e Marc Pollefeys (SCHOENBERGER, 201?). A versão do programa usada neste trabalho data de janeiro de 2022 (versão 3.7), sendo que a primeira versão do programa foi disponibilizada em 2016 (SCHOENBERGER, 201?).

Dentre os requisitos para instalação e uso, a documentação não menciona a versão do sistema operacional, mas ressalta a necessidade de uma placa de vídeo Nvidia com suporte à CUDA 7²⁵ e um espaço livre em disco de 308 MB.

A descrição do **Meshroom** em seu *website* o coloca como um *programa* de código aberto para reconstrução tridimensional baseado no *framework* AliceVision (ALICEVISION, 201?a). Foi disponibilizado em 2010 pela AliceVision Association, entidade com o propósito de “democratizar as tecnologias de digitalização 3D a partir de fotografias” (ALICEVISION, 201?b, tradução nossa). A versão do programa usada neste trabalho data de fevereiro de 2021 (versão 2021.1.0) e está disponível sob uma licença internacional CC-BY-SA 4.0.

Os requisitos para instalação apresentados pela documentação²⁶ são: uma versão x64 do sistema operacional Windows[®] (mínimo); uma placa de vídeo Nvidia com suporte à CUDA-10 e com capacidade computacional de 3.0 a 7.5²⁷; memória RAM de, no mínimo, 8 GB, sendo 32 GB o recomendado; espaço em disco livre de 400 MB, além de mais espaço para os dados, com recomendação para uso de um disco HDD ou SSD com mais de 20 GB de capacidade de armazenamento; processadores Intel ou AMD recentes (não é possível determinar o que seria recente exatamente, mas as informações de *copyright* na página colocam este período entre 2020 e 2021) como requisito mínimo e processadores Intel Core i7 ou AMD Ryzen 7 como recomendados; e Microsoft Visual C++ Redistributable Package 2015, 2017 e 2019²⁸.

O **Regard3D** apresenta-se como um programa livre de código aberto para conversão de fotos de um objeto em um modelo 3D (HIESTAND, 201?). A primeira

²⁵ Somente uma nuvem de pontos esparsa pode ser obtida sem a placa.

²⁶ Disponível em: <<https://meshroom-manual.readthedocs.io/en/latest/first-steps/install/requirements.html>>. Acesso em: 29 set. 2021.

²⁷ Somente uma malha triangular de baixa qualidade pode ser feita sem a placa. Existe, também, uma versão do programa, o MeshroomCL, que não precisa de placa Nvidia.

²⁸ Pacote que instala bibliotecas exigidas por aplicativos compilados com o Microsoft C e C++.

versão funcional foi lançada em 2015 por Roman Hiestand. A versão do programa usada neste trabalho data de março de 2019 (versão 1.0.0).

Os requisitos apresentados para sua instalação e funcionamento são: versão x64 do sistema operacional Windows[®], sendo preciso que a versão seja a 7 ou uma mais recente; placa de vídeo compatível com OpenGL; memória RAM mínima de 4 GB, sendo recomendada que seja igual ou maior que 8 GB; e espaço livre em disco de 103 MB.

O **Multi-View Environment** é apresentado como um programa de reconstrução tridimensional que atua de ponta-a-ponta, usando imagens de um objeto como ponto de partida para a entrega de uma malha triangular deste mesmo objeto como resultado (FUHRMANN; LANGGUTH; GOESELE, 2014). O programa foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa de Michael Goesele na Universidade Técnica de Darmstadt e, atualmente, não tem recebido novas funções. A versão do programa usada neste trabalho data de fevereiro de 2021 (versão 0.1.1).

Os únicos requisitos para instalação e uso apresentados para o Multi-View Environment são uma versão x64 do sistema operacional Windows[®] (com destaque para a falta de suporte pelos desenvolvedores para este sistema) e espaço livre em disco de 28,6 MB.

O **MicMac** é uma ferramenta que teve seu desenvolvimento iniciado pelo *National Institute of Geographic and Forestry Information* (IGN) e pela *National School of Geographic Sciences* (ENSG) em 2003 (RUPNIK; DAAKIR; DESEILLIGNY, 2017). Inicialmente restrita ao uso do IGN, em 2007 foi distribuída gratuitamente por uma licença do tipo Cecill-B. É descrita como uma alternativa para profissionais e acadêmicos que busca, constantemente, ser acessível ao público em geral (MICMAC, 201?). A versão do programa usada neste trabalho data de fevereiro de 2019 (versão 1.1).

É um programa sem interface gráfica própria, mas existem alternativas que possibilitam o seu uso neste modo: em 2010, uma interface foi disponibilizada pelo *Cerema Normandie-Centre* (CEREMA, 2016); e, em março de 2022, uma interface gráfica foi disponibilizada no *site* Clintons 3D Creations (REESE, 2022). O presente estudo utilizou duas versões da interface do *Cerema Normandie-Centre*: AperoDeDenis 5.70, de maio de 2022, e AperoDeDenis 5.73, de abril de 2023.

O MicMac pode ser instalado²⁹ em versões x64 e x32 do sistema Windows[®], sendo que o único requisito apresentado para uso do programa é o mínimo de espaço livre em disco: 181 MB para o programa em si. A documentação³⁰ da interface AperoDeDenis não apresenta requisitos para instalação.

O uso de aplicativos para reconstrução tridimensional impôs-se durante o desenvolvimento do trabalho, em virtude de permitirem obtenção das imagens e processamento fotogramétrico no mesmo aparelho. Tais aplicativos foram introduzidos no fluxo de trabalho após a realização das coletas de imagens dos ornatos.

A seleção de tais aplicativos para *smartphones* teve critérios diferentes dos programas para Windows[®] em virtude das diferenças entre os dispositivos em si (como a necessidade praticamente mandatária de interface gráfica para os aplicativos, por exemplo) e, também, do modelo de negócio neste contexto (eles apresentaram limitações funcionais para uso gratuito).

Assim sendo, a seleção dos aplicativos para sistema Android obedeceu aos seguintes critérios:

- a) Possibilitar o uso de imagens obtidas a partir do aplicativo “Câmera” do *smartphone*;
- b) Ser compatível com o sistema operacional Android;
- c) Realizar a reconstrução por fotogrametria de ponta-a-ponta, tendo como *input* imagens de um objeto e como *output* uma malha triangular de tal objeto, sem a necessidade de uso de outros programas;
- d) Ser compatível com o instrumento para captura das imagens, o *smartphone* Motorola Edge 20.

A escolha por aplicativos que permitam o uso de imagens previamente obtidas teve por finalidade comparar o resultado dos modelos obtidos a partir do mesmo conjunto de dados.

Tal decisão leva em conta que eventuais ganhos, ou perdas, de qualidade pelo uso das ferramentas dos aplicativos para obtenção das imagens não são

²⁹ Disponível em: <<https://micmac.ensg.eu/index.php/Install>>. Acesso em: 29 set. 2021.

³⁰ Disponível em: <

https://github.com/micmacIGN/InterfaceCEREMA/blob/master/InterfaceCEREMA/Documentation_AperoDeDenis_550.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

consideradas. Os aplicativos escolhidos que preenchem tais requisitos foram **Polycam**, **Scann3D** e **KIRI Engine**.

O **Polycam** é um aplicativo lançado em 2020 pela Polycam Inc, disponível, também, para os sistemas operacionais iOS, contanto com uma versão para navegadores Web. Para os dispositivos com o sistema Android ele permite a construção de modelos por fotogrametria, enquanto para os dispositivos “Pro” da Apple é possível, também, o uso do sensor Lidar (POLYCAM, 202?).

Na versão paga para Web é possível usar imagens previamente obtidas para reconstrução tridimensional. A versão gratuita só permite a exportação dos modelos na extensão “.gltf” e em formato de vídeo, entre outras restrições. Seu custo de assinatura por um mês foi de R\$ 39,99.

O **Scann3D** é um aplicativo lançado em 2016 (ANIWAA, 201?) que processa os modelos localmente, no próprio celular, e não na nuvem, como os aplicativos Polycam e Kiri. Está disponível somente para o sistema operacional Android. A versão gratuita não permite a exportação dos modelos reconstruídos, nem a seleção das qualidades média e alta de reconstrução. Somente na versão paga é possível usar imagens previamente obtidas, mas é possível testá-lo gratuitamente por três dias, período pelo qual ele foi usado neste trabalho.

O **Kiri Engine**, lançado em 2021 (THACKER, 2022), também está disponível para os sistemas operacionais iOS, assim como uma versão beta para navegadores Web. É possível usar imagens previamente obtidas para a construção de modelos tridimensionais. Ao contrário do Polycam, tais imagens podem ser selecionadas diretamente no aplicativo para posterior processamento nos seus servidores. A versão gratuita só permite o uso de imagens obtidas pelo aplicativo. Entre outras limitações apresentadas pela versão gratuita estão o número máximo de imagens utilizadas (70 imagens versus 200 imagens na versão paga) e um limite de três downloads por semana (sem limite na versão paga). Seu custo de assinatura por um mês foi de R\$ 53,99.

3.1.2. Digitalização tridimensional por fotogrametria

Para a digitalização dos ornatos foram adaptadas as etapas de projeto definidas por Muniz, Silva e Kindlein Júnior (2018) quando da digitalização por luz

estruturada de ornatos arquitetônicos nos prédios históricos do Campus Central da UFRGS:

- a) pesquisa dos elementos históricos, considerando os materiais e técnicas tradicionais de confecção dos ornatos, bem como o contexto no qual foram produzidos e, também, restaurados e conservados;
- b) planejamento da digitalização tridimensional, considerando a localização dos ornatos, seu estado de conservação e eventuais restrições de acesso, para estabelecimento de um cronograma da digitalização tridimensional;
- c) digitalização tridimensional por fotogrametria;
- d) tratamento dos dados (processamento das imagens) obtidos pelos programas e aplicativos fotogramétricos;
- e) geração de modelos tridimensionais completos dos ornatos escolhidos para manufatura digital.

A (a) **pesquisa sobre os elementos históricos dos ornatos** foi realizada por pesquisa bibliográfica, compreendendo a sua caracterização como elementos decorativos, as técnicas de execução para sua produção e restauro, bem como o processo histórico no qual deu-se a construção dos imóveis onde eles figuram e suas características arquitetônicas.

O (b) **planejamento da digitalização tridimensional** dos ornatos envolveu contato com a administração dos museus para obtenção de sua anuência para realização das sessões fotográficas e seu posterior agendamento. Compreendeu, também, uma coleta piloto no Museu do Doce, para que os equipamentos utilizados fossem testados e as condições *in loco* para a tomada de fotografias fossem observadas e se pudesse organizar as coletas posteriores.

A (c) **digitalização tridimensional por fotogrametria** compreendeu três sessões fotográficas de coleta de dados: uma **coleta piloto**, realizada no Museu do Doce, uma **segunda coleta**, compreendendo os objetos dos dois museus em questão, e uma **terceira**, novamente no Museu do Doce.

A **coleta piloto** no Museu do Doce teve por objetivo avaliar, de maneira geral, as condições para obtenção das imagens *in loco* (condições de iluminação e altura do ornato, por exemplo) e o uso do equipamento escolhido para esta tarefa (equipamento fotográfico), assim como fornecer material para as reconstruções nos

programas fotogramétricos. Esta coleta foi realizada no Museu do Doce em virtude da maior facilidade de acesso ao ornato escolhido neste imóvel, pois, devido à sua localização em fachada secundária, a obtenção de imagens suas não influencia no funcionamento do museu.

A **segunda coleta** abrangeu a obtenção de imagens no **MALG** e uma nova sessão de fotos no **Museu do Doce**, para aquisição de um número maior de imagens do ornato no modo “Pro”, assim como inserir nas sessões fotográficas de ambos os ornatos o uso de marcas fiduciais, mais especificamente, CCTags, para a obtenção de reconstruções em escala 1:1.

Uma **terceira coleta** foi realizada no **Museu do Doce**, pois avaliou-se que algumas imagens obtidas na segunda coleta poderiam ser mais realizadas com uma proximidade maior do objeto, fazendo com que ele ocupasse uma área maior na imagem (Figura 27).

Figura 27 – Imagens do ornato do Museu do Doce da segunda (à esquerda) e terceira (à direita) coletas, mostrando o maior preenchimento da imagem pelo ornato na segunda imagem



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O (d) **tratamento dos dados** obtidos envolveu a seleção das imagens dos ornatos e a sua conversão, quando necessária. Inicialmente, procurou-se usar a totalidade das imagens obtidas para a reconstrução digital dos ornatos; entretanto, dois fatores tornaram necessária uma seleção das imagens obtidas. O primeiro foi a

impossibilidade de reconstruir o ornato do MALG nos programas para Windows[®] nos *notebooks* disponíveis com todas as imagens obtidas. O segundo foi a limitação de 200 imagens do aplicativo Kiri (o menor número entre os aplicativos para Android) para reconstrução a partir de imagens previamente obtidas.

Assim, usou-se somente a totalidade das imagens obtidas do ornato do Museu do Doce, 137, pois era inferior ao limite de 200 imagens. Para o ornato do MALG, a seleção envolveu a eliminação de imagens que apresentavam áreas de desfoque maiores em relação ao conjunto, assim como imagens que possuíam pouca diferença em relação a alguma outra imagem, até a obtenção de um conjunto de 200 imagens.

A conversão de imagens, quando necessária, foi realizada pelos programas Photoshop, versão 22.5.1, Gimp³¹, versão 2.10.32, Darktable³², versão 4.0.1, e Photoscape³³, versões X e v3.7. À exceção do Photoshop, os programas selecionados são gratuitos e livres para uso comercial.

Para a (e) **geração de modelos tridimensionais** foram estabelecidas condições de uso dos programas e dos aplicativos para a geração dos modelos tridimensionais e definidos os instrumentos para o seu pós-processamento.

Os programas no sistema operacional Windows[®] foram, inicialmente, usados em sua configuração padrão, ou seja, foram usadas as definições padrão oferecidas pelo programa para a reconstrução do objeto em questão. Quando o processo foi interrompido pelo programa, impossibilitando o prosseguimento da reconstrução, foram introduzidas as informações pedidas ou modificadas as configurações solicitadas. Os aplicativos para *smartphone* foram abordados de maneira diferente. Ao contrário dos programas para Windows[®] selecionados, eles solicitam ao usuário o grau de fidelidade desejado para reconstrução. Assim, as configurações foram definidas para o máximo de fidelidade dentre as opções oferecidas.

Apesar deste trabalho ter como objetivo somente a análise dos resultados de um ponto de vista volumétrico, como foram usadas as configurações padrão dos programas e aplicativos, os arquivos obtidos ao final dos processos fotogramétricos incluem as texturas dos ornatos.

³¹ Distribuído sob uma licença GPL 3.0. Disponível em: <<https://www.gimp.org/>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

³² Distribuído sob uma licença GPL 3.0. Disponível em: <<https://www.darktable.org/>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

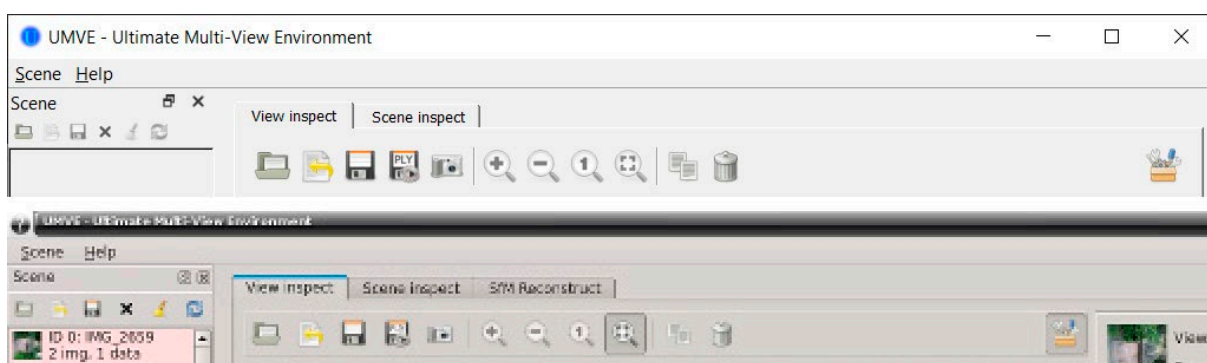
³³ Disponível em: <<http://www.photoscape.org/ps/main/index.php>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

Os testes e a geração definitiva dos modelos dos ornatos foram realizados, assim como a coleta de dados, em três etapas. A primeira etapa contou com os dados da coleta piloto. A segunda etapa foi realizada com os dados da segunda coleta e a última etapa contou com os dados obtidos na segunda (MALG) e terceira coletas (Museu do Doce) para a geração dos modelos definitivos. Nesta etapa foram incluídos os aplicativos para Android.

O **primeiro teste** teve por objetivo verificar a viabilidade de uso das imagens obtidas para a obtenção de um modelo tridimensional dos ornatos, além de propiciar um contato inicial com os programas fotogramétricos escolhidos para o trabalho.

Os programas usados neste teste foram os programas cuja instalação foi bem-sucedida em sua primeira tentativa, a saber: **Meshroom**, **Regard3D** e **Colmap**. Tal sucesso deve-se ao fato destes programas proporcionarem a instalação por meio de um arquivo “.exe” (Regard3D), ou pela extração dos arquivos executáveis de uma pasta “.zip” (Meshroom e Colmap), sem a necessidade de compilação. O MVE, à época destes testes, também havia sido instalado (a partir do arquivo compilado mencionado no item 3.5.4 deste trabalho), mas, como o programa não possuía todas as funcionalidades (Figura 28), não foi usado nesta etapa.

Figura 28 – Interface do MVE sem a aba *SFM Reconstruct* (acima) e com a aba (abaixo)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O **segundo teste** foi realizado a partir das imagens da segunda coleta (MALG e Museu do Doce) e incluiu os programas **MicMac** e **Multi-View Environment**, visando à continuidade do entendimento do processo de reconstrução por estes programas.

Em uma terceira etapa, de **geração dos modelos definitivos**, foram adicionados os aplicativos para Android. Somente o **notebook Lenovo** foi usado para a reconstrução dos modelos definitivos no sistema operacional Windows®.

3.1.3. Avaliação dos modelos digitais tridimensionais

Os modelos dos ornatos obtidos por fotogrametria foram comparados com modelos digitalizados por luz estruturada pelo parâmetro de desvio quadrático médio (RMS). A digitalização por luz estruturada (Figura 29 e Figura 30) foi realizada com um *scanner* 3D da marca Artec 3D, modelo EVA³⁴, com precisão 3D de até 0,1 mm e resolução 3D de até 0,2 mm, e processada pelo programa Artec Studio 17, de propriedade do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM) da UFRGS. Os arquivos dos modelos foram entregues pelo LDSM na extensão “.stl”, ambos com resolução de 0,7 mm.

Figura 29 – Digitalização por luz estruturada do ornato do Museu do Doce



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

³⁴ Tal aparelho pode ser encontrado no mercado por valores entre 40.000 e 100.000 reais (valores convertidos diretamente do valor, sem considerar impostos e taxas de importação).

Figura 30 – Digitalização por luz estruturada do ornato do MALG



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Os modelos foram comparados segundo este parâmetro no programa CloudCompare³⁵, versão 2.13.0.

3.1.4. Produção de réplicas

A produção das réplicas dos ornatos a partir dos resultados da etapa metodológica anterior foi dividida no **pós-processamento digital dos modelos tridimensionais**, no **fatiamento destes para fabricação por manufatura aditiva**, na escolha do **instrumento para produção das réplicas por manufatura digital**, na **produção de moldes** para cópia e na **produção das réplicas** em si.

O **pós-processamento digital dos modelos tridimensionais**, quando necessário, foi realizado nos programas **Blender**³⁶, versão 3.4.0, e no **MeshLab**³⁷, versão 2022.2. Ambos são gratuitos e livres para uso comercial.

³⁵ Distribuído sob uma licença GPL. Disponível em: <<https://www.cloudcompare.org/main.html>>. Acesso em: 8 dez. 2022.

³⁶ Distribuído sob uma licença GPL 3.0 ou posterior. Disponível em: <<https://www.blender.org/>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

³⁷ Distribuído sob uma licença GPL 3.0. Disponível em: <<https://www.meshlab.net/>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

O **Blender** é apresentado como um programa gratuito para diversas áreas de criação relacionadas a modelos tridimensionais, como renderização, escultura, animação, efeitos especiais, entre outras, tendo sido lançado em 1994.

Os requisitos para uso no sistema operacional Windows[®] são:

- CPU de 4 núcleos com suporte a SSE4.2 (mínimo) a 8 núcleos (recomendado);
- memória RAM de 8 GB (mínimo) a 32 GB (recomendado).
- GPU de 2 GB VRAM com OpenGL 4.3 (mínimo) a 8 GB VRAM (recomendado).

O **MeshLab** é uma ferramenta de código aberto para processamento e edição de malhas poligonais disponibilizada pelo Visual Computing Lab do ISTI – CNR. Os desenvolvedores colocam como requisitos para uso e instalação do programa memória RAM de pelo menos 1 GB e placa gráfica de 2 GB.

O **fatiamento dos modelos tridimensionais para fabricação por manufatura aditiva** foi realizado, neste estudo, no **Ultimaker Cura**³⁸, versão 5.6.0, programa gratuito disponível para o sistema operacional Windows[®] e licenciado de forma a permitir uso comercial. Ele é apresentado como um programa de uso fácil e com mais de 400 ajustes possíveis para fatiamento e impressão.

Apesar de serem oferecidos planos pagos para seu uso com mais recursos, ao contrário dos programas fotogramétricos, sua escolha deu-se em função de ser o fatiador para o qual o fabricante da impressora de extrusão de material utilizada fornece especificações³⁹ para definição das configurações tanto de impressão quanto para filamentos.

Os requisitos para instalação e uso do Ultimaker Cura são apresentados pelo seu suporte⁴⁰ como:

- placa gráfica compatível com OpenGL 2 (mínimo) ou OpenGL 4.1 (recomendado);

³⁸ Distribuído sob uma licença GPL 3.0. Disponível em: <<https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/#downloads>>. Acesso em: 8 dez. 2023.

³⁹ Existe uma versão do Cura customizada pela Sovol, mas tal programa apresentou problema para salvamento dos projetos nele realizados.

⁴⁰ Disponível em: <<https://support.ultimaker.com/s/article/1667410778209>>. Acesso em: 8 dez. 2023.

- resolução de tela de 1024 x 768 (mínimo) ou 1920 x 1080 (recomendado);
- processador Intel Core 2 (mínimo) ou Intel Core i3 ou AMD Athlon 64 (recomendado);
- espaço livre em disco de 550 MB (mínimo) ou 600 MB (recomendado);
- memória RAM de 4 GB (mínimo) ou 8 GB (recomendado).

O instrumento para produção das réplicas por manufatura digital (extrusão de material) foi uma impressora 3D **Sovol SV01 Pro** (Figura 31), com volume de impressão de 280 x 240 x 300 mm, velocidade de impressão de 50-80 mm/s, com acurácia de impressão de $\pm 0,1$ mm, extrusora metálica de acionamento direto, eixo Z duplo e sensor de nivelamento automático CR Touch.

Figura 31 – Impressora Sovol SV01 Pro



Fonte: <https://www.sovol3d.com/cdn/shop/files/SovolSV01Pro_Sovol3DPrinter_FDM3DPrinter_DirectDrive3DPrinter_2.jpg?v=1709806228&width=800> Acesso em: 6 dez. 2023.

Esta impressora foi escolhida em virtude do custo⁴¹, menor em relação a diversas concorrentes, da área de impressão, uma das maiores na sua faixa de preço, da possibilidade de impressão em material flexível e da facilidade de montagem⁴².

⁴¹ A impressora foi adquirida em 23 de novembro de 2023 por R\$ 1.398,00.

A **produção de moldes** aconteceu a partir da moldagem em borracha de silicone das impressões realizadas por extrusão de material. Tentou-se, também, imprimir moldes em filamento flexível, iniciativa que não rendeu resultados positivos. E a **produção de réplicas** consistiu no uso destes moldes para reprodução de segmentos dos ornatos em material semelhante ao usado nos imóveis que abrigam os ornatos que fazem parte deste trabalho.

3.1.5. Avaliação das réplicas

Para a comparação com a manufatura digital de baixo custo escolhida, a extrusão de material, foi definida a manufatura digital por estereolitografia mascarada por tela de cristal líquido como padrão de referência. A impressão por estereolitografia mascarada por tela de cristal líquido (um tipo de fotopolimerização em cuba) foi feita em uma **Elegoo Saturn 2**⁴³ (Figura 32) do Laboratório de Inovação e Fabricação Digital da Escola de Engenharia (LIFEE), com volume de impressão de 219 x 123 x 250 mm, velocidade de impressão de 30-70 mm/h, espessura de camada de 0,01-0,2 mm.

Figura 32 – Impressora Elegoo Saturn 2



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁴² Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=19fCoaK5_r0&ab_channel=JustPrint>. Acesso em: 17 nov. 2023

⁴³ Tal impressora pode ser encontrada no mercado por valores entre 2.800 e 3.600 reais, aproximadamente.

Tal impressora foi escolhida por conveniência, por estar disponível para uso no LIFEE, e por apresentar a capacidade de imprimir camadas até dez vezes menores em espessura do que a Sovol SV01 Pro. Inicialmente, foi cogitado o uso da Photocentric Magma, também disponível no LIFEE, por seu volume de impressão (510 x 280 x 350 mm); entretanto, a impressora não estava disponível quando solicitada.

A **avaliação das réplicas** foi realizada por meio de análise visual comparativa entre as peças resultantes de digitalização por fotogrametria e impressão por extrusão de material, de digitalização por luz estruturada e impressão por extrusão de material e de digitalização por luz estruturada, e impressão por estereolitografia mascarada por tela de cristal líquido.

4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA E RESULTADOS

Este capítulo apresenta as atividades relacionadas à realização das coletas das imagens dos ornatos a serem tridimensionalmente digitalizados, ao uso dos programas fotogramétricos para as suas reconstruções, às suas avaliações frente a modelos obtidos por digitalização por luz estruturada, bem como o processo de fabricação de suas réplicas e sua avaliação.

4.1. COLETAS

4.1.1. Coleta piloto – Museu do Doce

A sessão foi realizada entre 9h30 e 11h, em 5 de agosto de 2022, dia com um clima nublado que proporcionou uma iluminação difusa do objeto e evitou grandes variações de luz durante a sessão.

Foram utilizados, além do *smartphone* e da câmera fotográfica, um tripé e um disparador remoto com conexão *bluetooth*, para que não fosse necessário tocar no aparelho para que as imagens fossem registradas, evitando eventuais trepidações. Como forma de manter uma distância uniforme entre o ornato e a câmera, usou-se como referência os ladrilhos da calçada (Figura 33).

Figura 33 – Ladrilhos usados como referência para manutenção da distância entre o ornato e a câmera



Nesta coleta, tendo como objetivo a familiarização do pesquisador com o equipamento fotográfico, mais especificamente o *smartphone* Motorola Edge 20, foram obtidas imagens com as suas três câmeras. Entretanto, como descrito no processo de reconstrução fotogramétrica dos ornatos, somente alguns conjuntos de imagens foram efetivamente utilizados, e são agora descritos.

Foram coletadas imagens com a resolução máxima da câmera primária do *smartphone* (108 MP, denominado pelo fabricante de “ultra resolução”) e com resolução de 9 MP, que combina 12 píxeis físicos do sensor em 1, no modo chamado de “Pro” pelo fabricante. Também foram obtidas imagens com a câmera teleobjetiva do *smartphone* no modo “Pro”.

Com a **câmera primária** foram obtidas 194 imagens no modo de “ultra-resolução”, com a regulagem automática da câmera, e 69 imagens no modo “Pro”. As imagens neste modo contaram com sensibilidade ISO 100 e tempo de exposição variando entre 1/10 s e 1/33 s, conforme as condições de iluminação. Com a **câmera secundária teleobjetiva** foram obtidas 23 imagens com resolução de 9 MP, sensibilidade ISO entre 100 e 151⁴⁴ e tempo de exposição de 1/120 s. Estes conjuntos de imagens foram obtidos com foco automático. Tais imagens foram salvas na extensão “.jpg”, provavelmente por erro no processo de escolha entre as diferentes alternativas (“.jpg”, “.dng” ou RAW+JPG).

Com a **câmera Canon EOS Rebel T2i** foram obtidas 34 imagens, com sensibilidade ISO entre 100 e 400, tempo de exposição variando entre 1/80 s e 1/125 s, conforme as condições de iluminação, foco manual, na extensão CR2, a extensão RAW utilizada pela câmera. As imagens foram tiradas com o foco automático, pois, durante a sessão, observou-se que o grau de reflexo na tela do celular tornava quase impossível a focalização manual.

Optou-se por usar, além do modo de “ultra resolução”, esta configuração com *pixel binding*, porque o modo com 108 MP não permite a regulagem de certos parâmetros da câmera, como a sensibilidade ISO ou velocidade do obturador, o que poderia causar variações destes parâmetros entre as imagens, prejudicando o processo de reconstrução tridimensional. Tal modo também não permite a obtenção

⁴⁴ A variação da sensibilidade ISO ocorreu, também, em algumas imagens das demais coletas, só sendo percebida posteriormente às sessões fotográficas e, supõe-se, deve ter ocorrido pela alternância entre o aplicativo da câmera e outros aplicativos no *smartphone* durante a sessão fotográfica, o que ocasiona o retorno de alguns parâmetros definidos para a obtenção das imagens a valores padrão da câmera.

de imagens em “.dng”, a extensão de imagem bruta no *smartphone*, que seria recomendável em virtude da ausência de compressão do arquivo.

O modo “Pro” permite que as imagens sejam salvas em extensão “.dng” (RAW), “.jpg” ou RAW+JPG, quando as fotografias são salvas nas duas extensões. Tal possibilidade foi inicialmente usada para que possíveis eventuais testes com as diferentes extensões, posteriormente. Entretanto, o processamento das imagens para salvamento em RAW+JPG tornou a sessão fotográfica mais lenta, inibindo o uso desta configuração no decorrer da sessão.

Algumas imagens salvas com a extensão “.dng” (RAW), e não utilizadas para reconstrução fotogramétrica, apresentaram um “padrão”, formado por pequenos traços, dispostos de forma uniforme (Figura 34).

Figura 34 – Detalhe de imagem obtida do ornato apresentando um padrão



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Em um fórum sobre a câmera fotográfica digital Canon EOS 5D Mark II, encontrou-se menções a situação semelhante com o uso de ISO entre 100 e 200 (DPREVIEW, 2010), como no caso deste trabalho. Como forma de verificar se tal fenômeno seria constante no uso da câmera do *smartphone*, outras imagens foram tiradas com as mesmas configurações, em outros ambientes, e o problema não se repetiu.

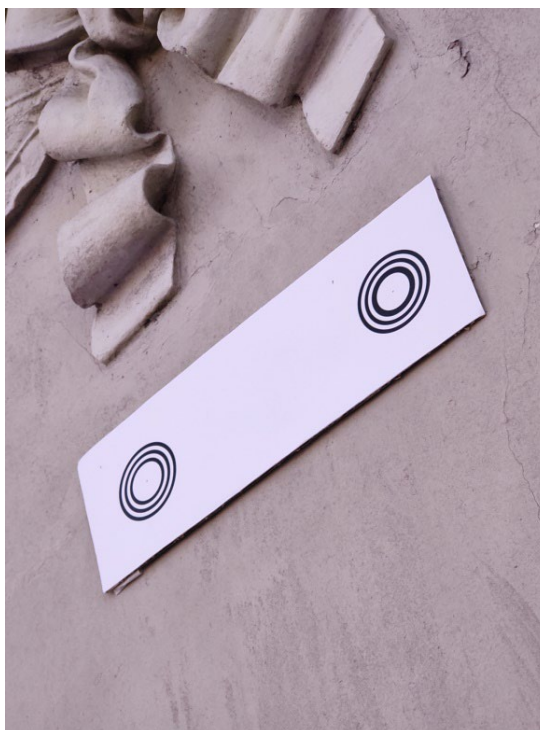
Nesta coleta, apreendeu-se, também, que um tripé mais alto proporcionaria fotos mais próximas do ornato do Museu do Doce.

4.1.2. Segunda coleta – MALG e Museu do Doce

As imagens do ornato no **MALG** foram obtidas durante duas visitas ao Museu, realizadas nos dias 30 de setembro e 1º de outubro de 2023. Como o ornato está localizado na entrada do imóvel, foi necessário combinar com o *staff* do museu como seriam realizadas as fotografias para que as sessões não prejudicassem o acesso ao local. A localização do ornato em uma parede orientada ao eixo norte-sul assegurou menores variações de luz durante a coleta, realizadas no período da manhã.

Na primeira visita, após as tratativas sobre como seriam feitas as sessões de fotos solicitadas, foi fotografada a parte inferior do ornato, para teste dos marcadores CCTags impressos (Figura 35). Além destes marcadores, foi usada uma escala fornecida pelo *staff* do museu como alternativa (Figura 36).

Figura 35 – Teste com CCTags para obtenção de escala



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 36 – Escala alternativa às CCTags



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Na segunda visita, foi fotografado o ornato por inteiro, entre 9h e 10h da manhã, aproximadamente. Nesta sessão, foi usada uma mesa como forma de elevar o equipamento fotográfico para obtenção das imagens (Figura 37), bem como um novo tripé, mais alto em relação ao usado na coleta piloto, com um ganho de altura de aproximadamente 35 cm.

Figura 37 – Mesa usada para aproximação do ornato para realização das fotografias



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Foram obtidas 486 imagens, 399 em *close-ups* e 87 em ângulos mais abertos, no modo “Pro” do *smartphone*, com sensibilidade ISO 100 e ISO 200, com tempo de exposição variando entre 1/250 s e 1/750 s, conforme as condições de iluminação. A resolução usada foi 12 MP, diferente dos 9 MP usados na coleta piloto, em virtude desta proporção de imagem capturar uma área maior (4000 x 3000 píxeis, ao invés de 4000 x 2250 píxeis).

Tal número de imagens foi obtido com o intuito de assegurar que não fossem necessárias novas sessões fotográficas do ornato, visando a cobrir toda a superfície do objeto em questão sob diversos ângulos. As imagens foram realizadas em planos mais abertos, mostrando o ornato em quase sua totalidade a cada fotografia, e em *close-ups*, registrando detalhes da peça (Figura 38).

Figura 38 – Imagens do ornato, em plano aberto (esq.) e fechado (dir.)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Devido a posição do ornato na fachada, em altura que não possibilitava o uso do tripé para a tomada de todas as imagens necessárias, a porção superior do ornato precisou ser fotografada usando-se o tripé como extensor, sem estar apoiado diretamente sobre a mesa usada na sessão.

Nesta sessão, ao contrário da realizada no Museu do Doce, não havia o referencial dos ladrilhos do chão para manutenção de uma distância regular.

Entretanto, foi possível manter uma certa uniformidade neste quesito, como verificado, posteriormente, no processo de reconstrução fotogramétrica do ornato.

A segunda sessão fotográfica no **Museu do Doce** foi realizada no dia 1º de outubro de 2023. Assim como na coleta no MALG, foram usados os marcadores do tipo CCTags e a escala como uma alternativa ao mau funcionamento destas *tags*.

Por conta de uma diferença de horário entre esta segunda coleta e a coleta piloto – a segunda foi iniciada aproximadamente às 11h da manhã, horário em que a piloto encerrava-se – e, também, de diferentes condições meteorológicas – menor incidência de nuvens – foi encontrada uma situação de iluminação diferente, com sombras marcadas sobre a peça (Figura 39), o que levou a escolha de outra gárgula localizada ao lado da utilizada na primeira coleta para a sessão fotográfica.

Figura 39 – Ornato fotografado na coleta piloto (à esquerda), com incidência direta de luz solar, e ornato fotografado na segunda coleta (à direita), à sombra



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Assim como na coleta de dados no MALG, foram obtidas imagens em planos mais abertos (98 imagens) e em *close-ups* (112 imagens), totalizando 210 fotografias. As imagens foram obtidas no modo “Pro” do *smartphone* (com resolução de 12 MP), com tempo de exposição variando entre 1/30 s e 1/180 s, conforme as

condições de iluminação. As imagens em close foram obtidas com sensibilidade ISO 100 e 400, enquanto as panorâmicas variaram entre 100 e 431.

4.1.3. Terceira coleta – Museu do Doce

A terceira coleta realizada no Museu do Doce, como exposto anteriormente, visou à obtenção de um conjunto de fotografias no qual o ornato ocupasse um espaço maior no quadro da imagem⁴⁵.

Tal coleta foi realizada no dia 30 de novembro de 2022, ao final da tarde, entre 17h30 e 18h00. A mudança no horário em relação às coletas anteriores deu-se em virtude das condições de iluminação. Assim como nas demais coletas, um tripé para sustentação do *smartphone*, assim como um disparador *bluetooth*, foi usado para evitar possíveis vibrações na tomada das imagens. Entretanto, nem todas as imagens foram obtidas com o uso do tripé, pois sua altura limitava a captura de imagens em determinados ângulos da parte superior do ornato.

Foram obtidas 137 imagens, novamente no modo “Pro”, com resolução de 12 MP do ornato em questão, sendo 65 em *close-ups* e 72 em ângulos mais abertos. A sensibilidade ISO das imagens variou entre 100 e 594, com tempos de exposição de 1/60 s e 1/120 s, conforme as condições de iluminação.

4.2. GERAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS POR PROGRAMAS E APLICATIVOS FOTOGRAMÉTRICOS

Concomitantemente às coletas de imagens dos ornatos, os programas e aplicativos fotogramétricos eram testados, verificando-se seus processos de instalação e uso, as extensões de arquivos aceitas para o *input* das imagens e os eventuais ajustes necessários para sua reconstrução tridimensional.

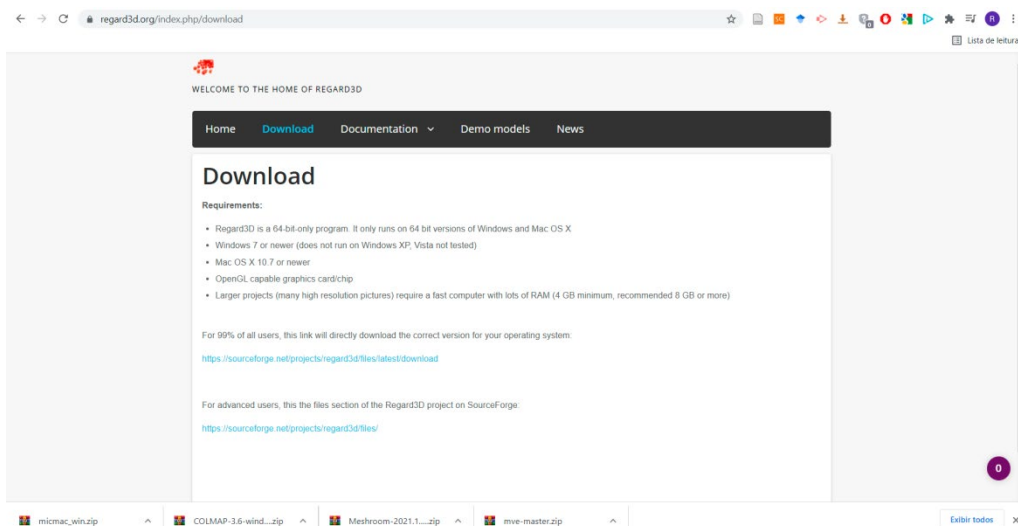
4.2.1. Processo de instalação

Dentre os programas selecionados, somente o programa **Regard3D** possui um instalador para Windows[®] (Figura 40 e Figura 41). Ao clicar no arquivo de *setup*,

⁴⁵ Essa observação foi feita durante o processo de obtenção dos modelos digitais tridimensionais, etapa aqui separada em item diferente para efeito organizacional.

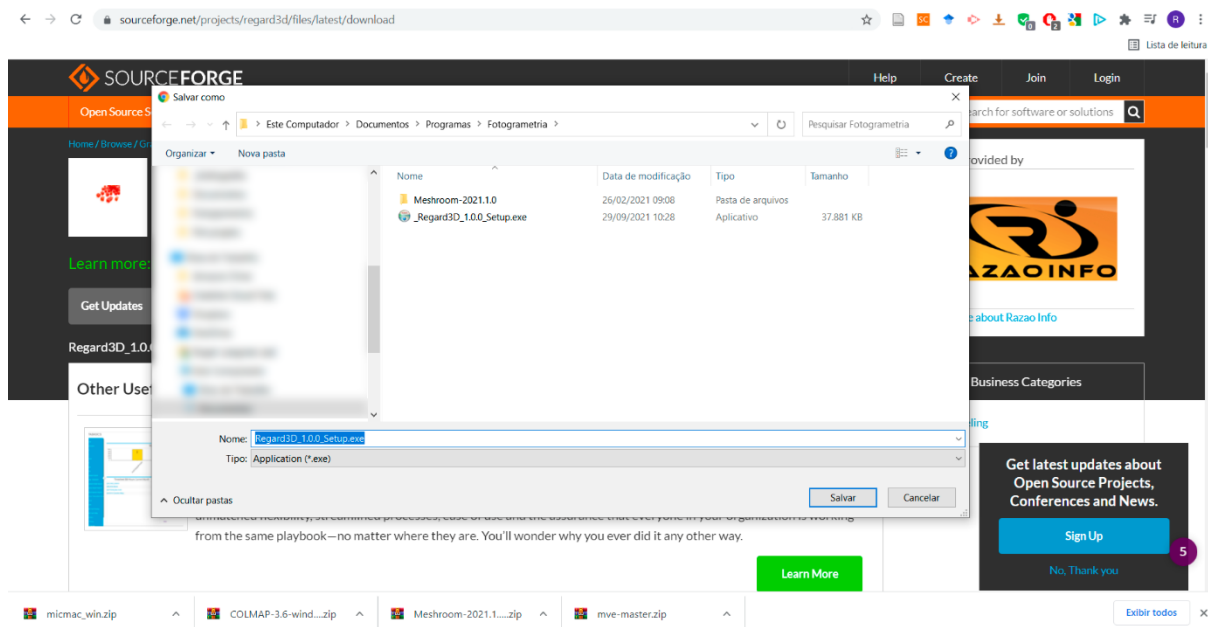
são solicitadas informações como língua⁴⁶ na qual se deseja instalar o programa, aceite da licença de uso, pasta na qual será instalado e, por fim, a pasta onde o programa aparecerá no Menu Iniciar do Windows[®].

Figura 40 – Página de *download* do programa Regard3D



Fonte: *site* oficial do programa Regard3D⁴⁷

Figura 41 – *Download* do arquivo de instalação do Regard3D



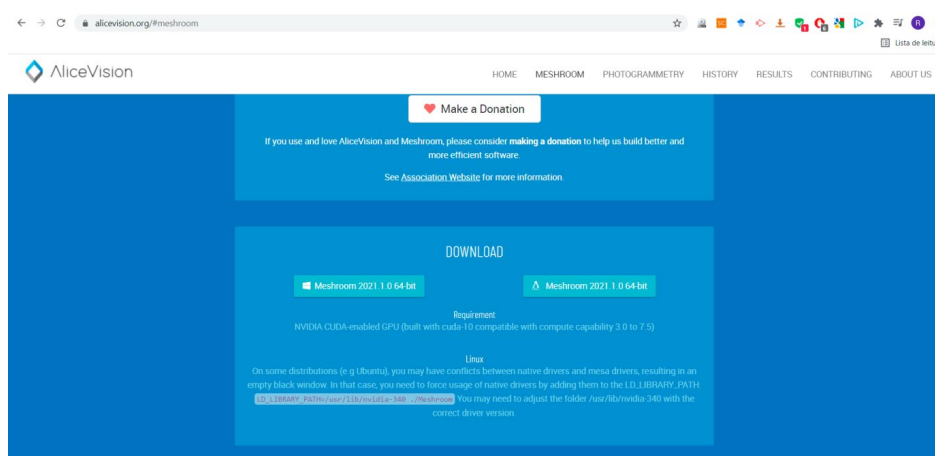
Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁴⁶ O programa foi instalado em inglês. As outras opções disponíveis são francês e alemão.

⁴⁷ Disponível em: <<http://www.regard3d.org/index.php/download>>. Acesso em: 29 set. 2021.

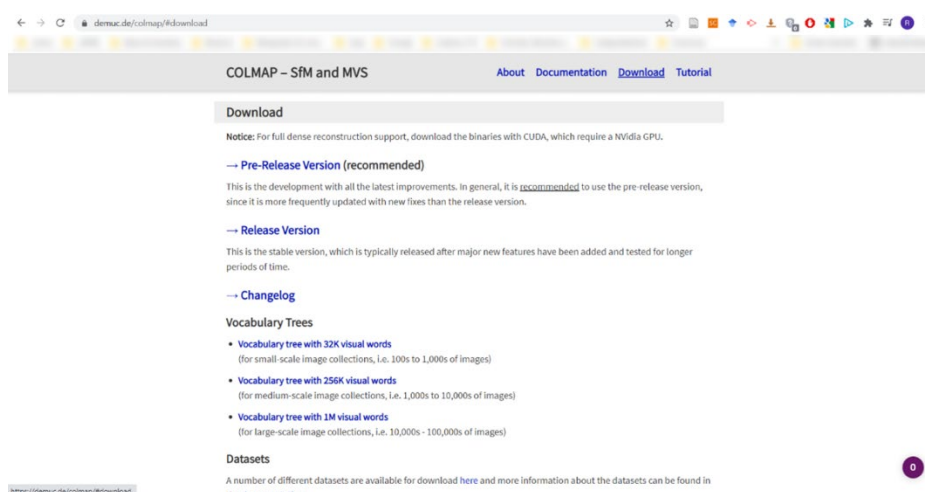
Os *sites* do **Meshroom** (Figura 42) e do **Colmap** (Figura 43) disponibilizam arquivos “.zip”, que contém pastas a serem descompactadas. Uma vez descompactadas, dentro das pastas, deve ser procurado o arquivo para execução do programa; para o Meshroom, o arquivo Meshroom.exe (Figura 44), para o Colmap, o COLMAP.bat (Figura 45). Para o Colmap é disponibilizada, também, a possibilidade de compilar o programa. O clique nos arquivos “.exe” e “.bat” abre o *prompt*⁴⁸ de comando e, depois, a interface gráfica.

Figura 42 – Link de download do programa Meshroom



Fonte: *site oficial do framework AliceVision*⁴⁹

Figura 43 – Página de download da versão para Windows® do Colmap

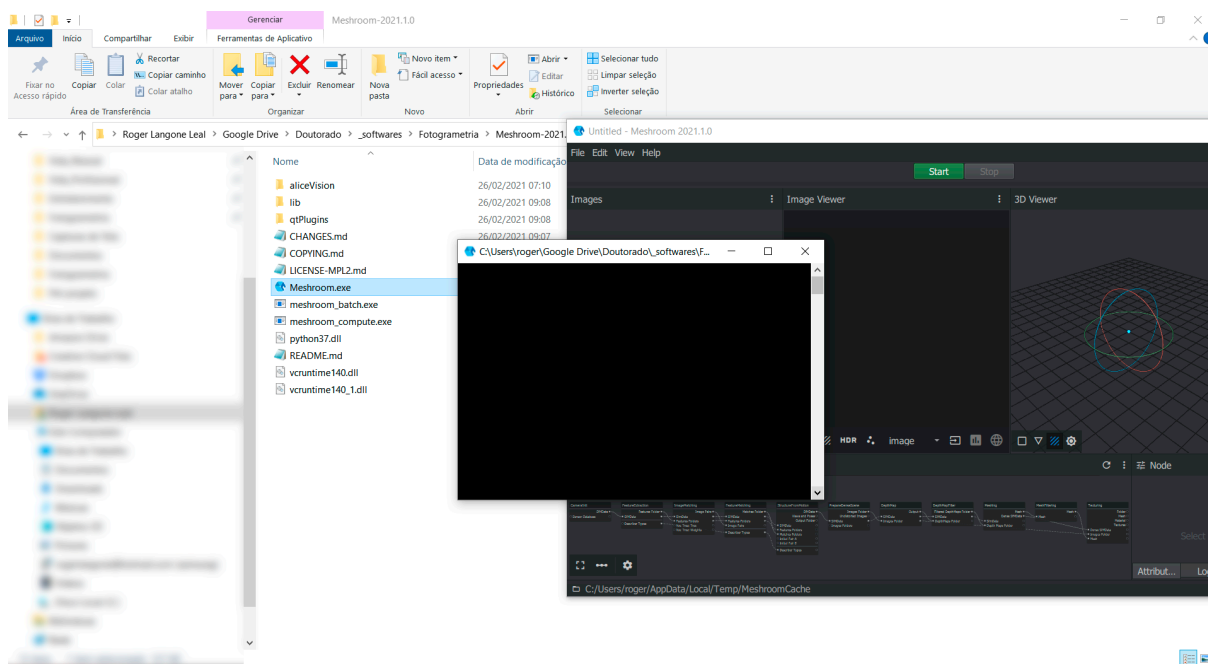


Fonte: *site para download do programa Colmap*⁵⁰

⁴⁸ Programa que emula o campo de entrada em uma interface baseada em texto na interface gráfica do usuário (DELL, 2021).

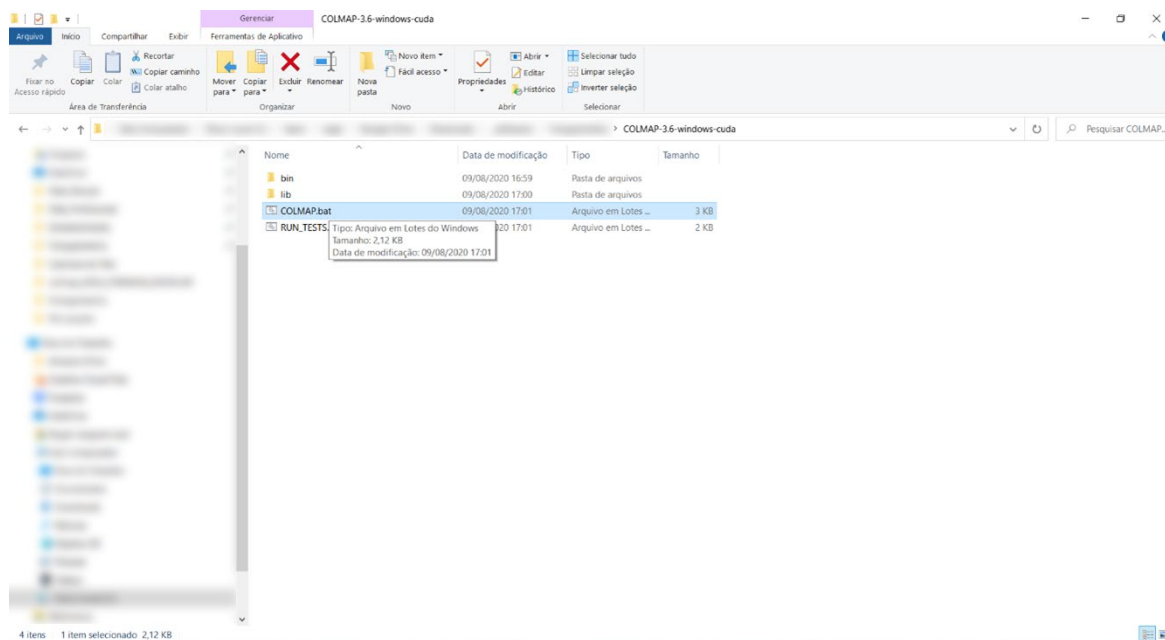
⁴⁹ Disponível em: <<https://alicevision.org/#meshroom>>. Acesso em: 29 set. 2021.

Figura 44 – Arquivo executável do Meshroom



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 45 – Arquivo executável do Colmap

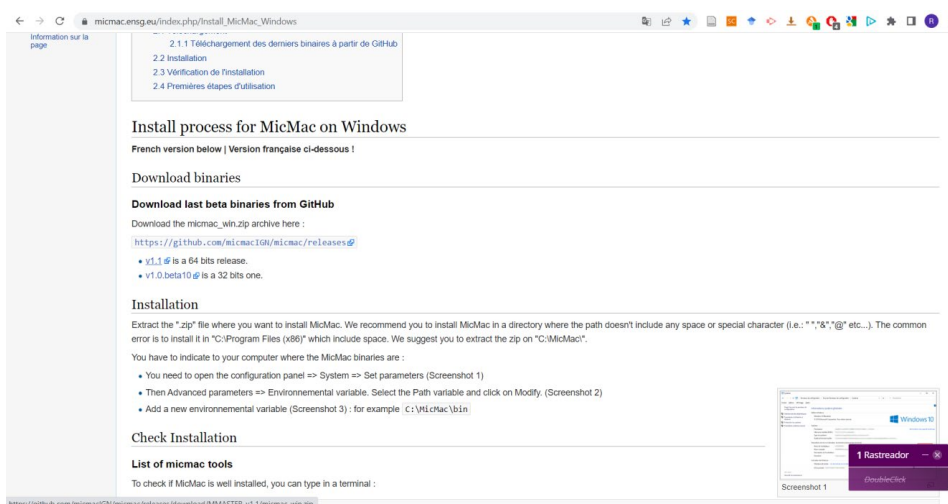


Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁵⁰ Disponível em: <<https://demuc.de/colmap/>>. Acesso em: 29 set. 2021.

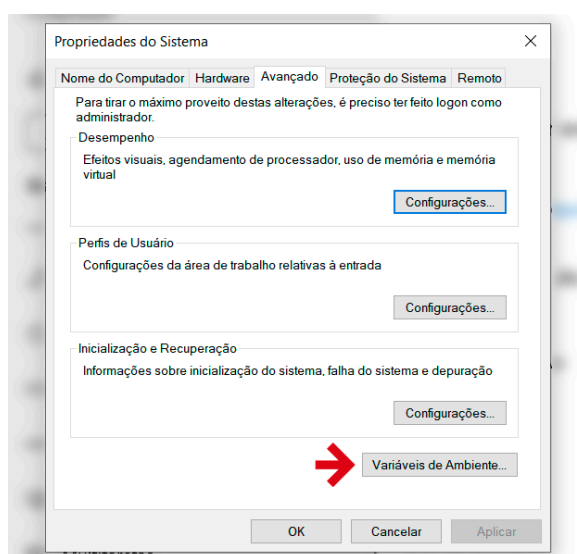
Para o **MicMac**, o processo para utilização do programa também envolve o *download* (Figura 46) de um arquivo “.zip” (micmac_win.zip) e a extração de seu conteúdo em uma pasta. Os desenvolvedores recomendam que o caminho desta pasta não possua espaços, como, por exemplo, “C:\Program Files (x86)”. Após a extração do conteúdo do arquivo “.zip” é necessário criar uma nova variável de ambiente nas configurações avançadas do sistema Windows[©] (Figura 47 e Figura 48).

Figura 46 – Página com as instruções para instalação da versão para Windows[©] do MicMac



Fonte: *site* do programa MicMac⁵¹

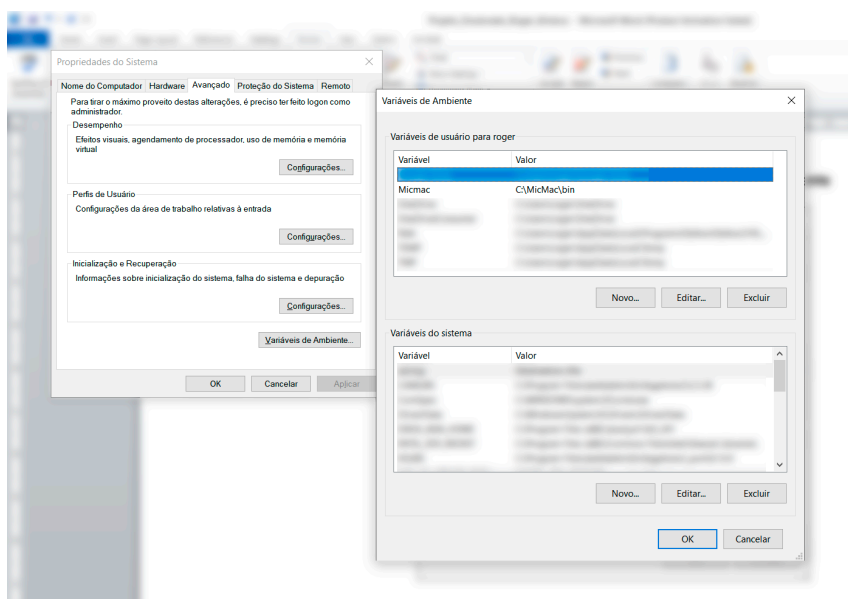
Figura 47 – Tela de Propriedades do Sistema



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁵¹ Disponível em: <https://micmac.ensg.eu/index.php/Install_MicMac_Windows>. Acesso em: 29 set. 2021.

Figura 48 – Tela de configuração das Variáveis de Ambiente



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Uma verificação do processo de instalação pode ser feita pelo comando “mm3d”, que lista as ferramentas disponíveis no programa. Tal comando deve ser executado na pasta “bin” da instalação do MicMac (Figura 49).

Figura 49 – Tela do prompt de comando com a lista de ferramentas do MicMac

```

C:\MicMac\bin>mm3d

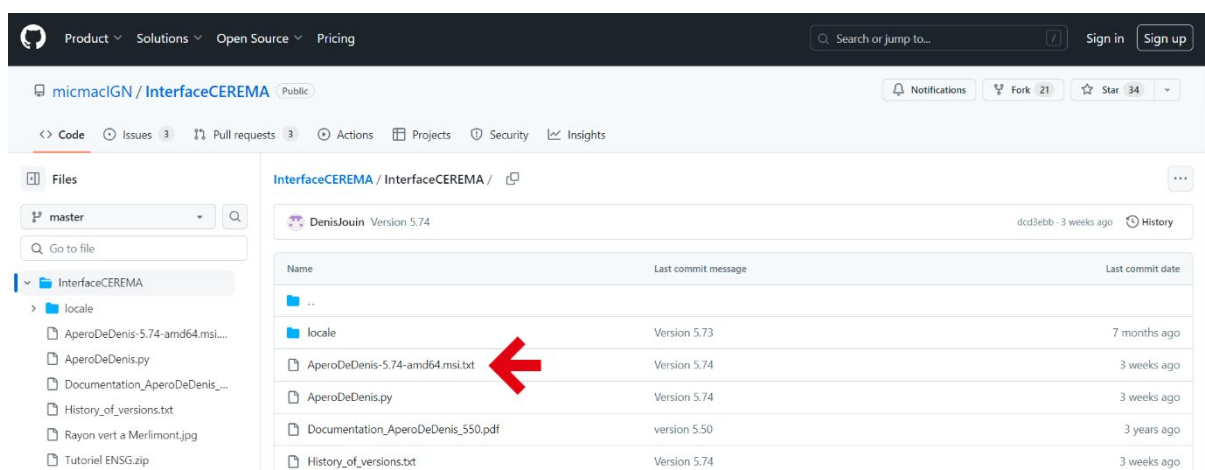
*****
**
** MicMac: a free open source project for photogrammetry
** hosted at Ecole Nationale des Sciences Geographiques
** in Marne-la-Vallée, for IGN-France
**
**
** The project is funded by :
**
** - Institut National de l'Information Geographique et Forestiere
** (IGN main funder since 2003)
** - the french FUI Project "Culture 3D Cloud" (and MAP-CNRS)
** - the french ANR Project "MONUMENTUM"(collaborating with MAP-CNRS)
**
** Research also currently supported by :
**
** - CNES (French Space Agency) - via TOSCA Committee (and IPGP)
** - Compagnie Nationale du Rhone
** - Vinci-Construction-Terrassement
** - ERC Advanced Grant A.Kaeeab "ICEMASS" (University of Oslo)
**
**
** Current Team: MP Deseilligny, D Jouin, J Belvaux, G Maillet,
** L Girod, E Rupnik, JM Muller, M Daakir, TG Nguyen
**
** Contact for participating : Marc.Pierrot-Deseilligny@ensg.eu
**
** Hope you enjoy, todo list in case of any problem using MicMac :
** (0) Take a Pastis
** (1) Switch your computer off and on again
** (2) Install it on Gnu-Linux (work better on)
** (3) See the wiki at http://micmac.ensg.eu/
** (4) Contact the forum http://forum-micmac.forumprod.com/
**
**
*****
3d : Allowed commands
timeApprent Stat on homologous point using orientation of 3D Model
allDev Force development of all tif/xif file

```

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Entretanto, este processo não inclui a interface gráfica do programa. Para tanto, é preciso acessar o arquivo “.msi” de instalação⁵² (Figura 50 e Figura 51) e descarregá-lo. O clique no arquivo “.msi” iniciará o processo e, após a instalação da interface, será preciso informar, na interface gráfica, o local de instalação do MicMac (Figura 52 e Figura 53).

Figura 50 – Tela do site com os arquivos relativos à interface gráfica (em destaque o arquivo “.txt” com a localização do arquivo “.msi” para download)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

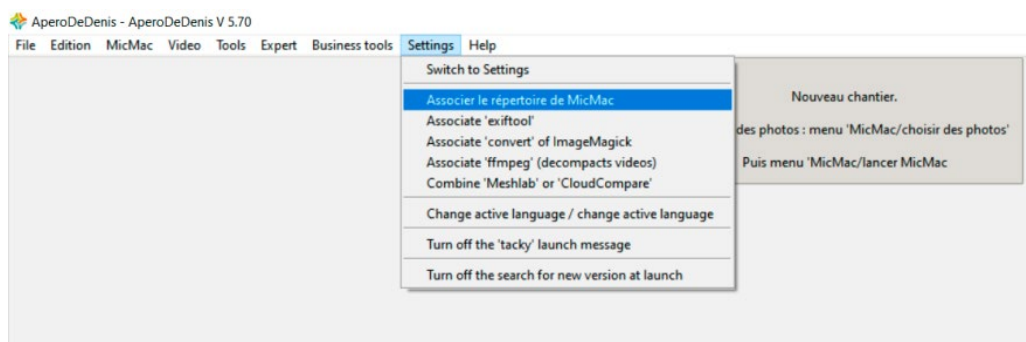
Figura 51 – Arquivo “.txt” com a localização do arquivo “.msi” para download



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

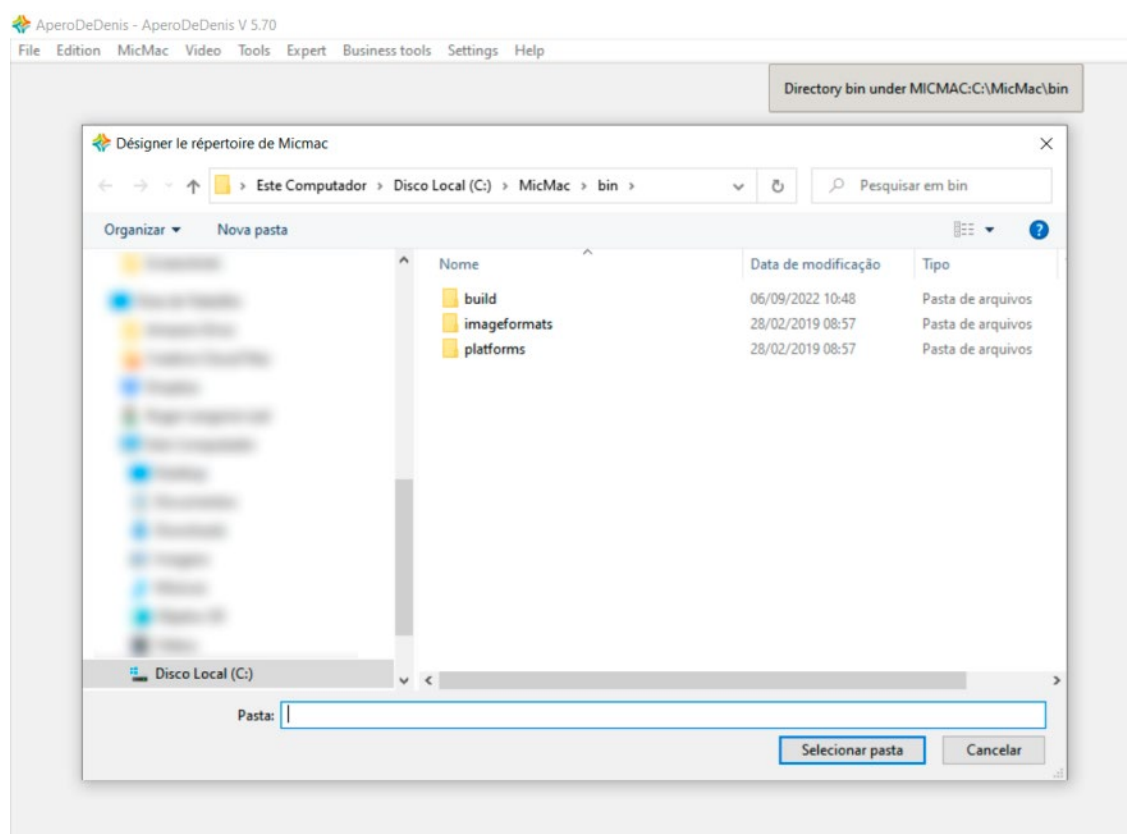
⁵² Disponível em: <https://github.com/micmacIGN/InterfaceCEREMA/tree/master/InterfaceCEREMA>

Figura 52 – Tela da interface AperoDeDenis com o item de menu que a associa ao MicMac



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 53 – Tela do sistema Windows® mostrando o local de instalação do MicMac para associação do programa à interface



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O último programa para Windows® utilizado neste trabalho, o MVE (Multi-View Environment), precisou ser compilado. Apesar de uma versão já compilada ter estado disponível no *site* do projeto⁵³ – atualmente *offline*⁵⁴ – (Figura 54), esta

⁵³ <http://www.gcc.tu-darmstadt.de/home/proj/mve/index.en.jsp>

⁵⁴ A versão compilada foi obtida em setembro de 2021.

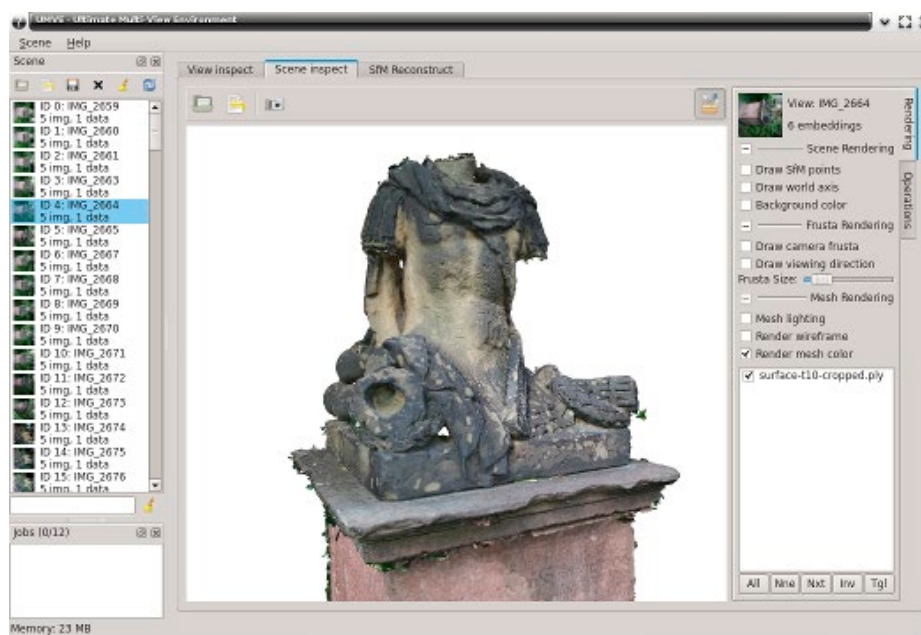
versão do programa não apresentava a aba “SfM Reconstruct” (Figura 55), apresentada no artigo de divulgação do MVE (FUHRMANN; LANGGUTH; GOESELE, 2014).

Figura 54 – Home descontinuada do programa Multi-View Environment



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 55 – Interface do programa Multi-View Environment



Fonte: FUHRMANN; LANGGUTH; GOESELE, 2014

Tal fato levou o pesquisador a presumir que havia algum problema nos arquivos disponibilizados. Assim sendo, o programa foi compilado a partir dos arquivos disponibilizados para tentar dirimir o problema. Entretanto, a ausência das abas manteve-se após o processo de compilação.

Conforme informado na página⁵⁵ sobre a instalação do MVE, a sua compilação no sistema Windows[®] é possível, embora não exista suporte para tanto (FUHRMANN, 2022). O autor da página menciona, então, que tais problemas podem ser contornados se usados os arquivos disponibilizados por Andre Schulz⁵⁶.

Entretanto, o processo descrito por Fuhrmann (2022) não transcorreu sem que pesquisas adicionais fossem necessárias para sua conclusão; arquivos e pastas que deveriam ser usados no processo de compilação estavam em lugares diferentes do que a documentação indicava, por exemplo. Em termos gerais, é necessário fazer o *download* dos arquivos do projeto, construir as bibliotecas usadas e, então, construir o programa em si.

Para o *download* dos arquivos é necessário acessar a página de Andre Schulz e mudar o “galho” do projeto para “cmake” (Figura 56), para, então, obter o arquivo “.zip” (Figura 57).

Figura 56 – Página com os arquivos para construção do MVE

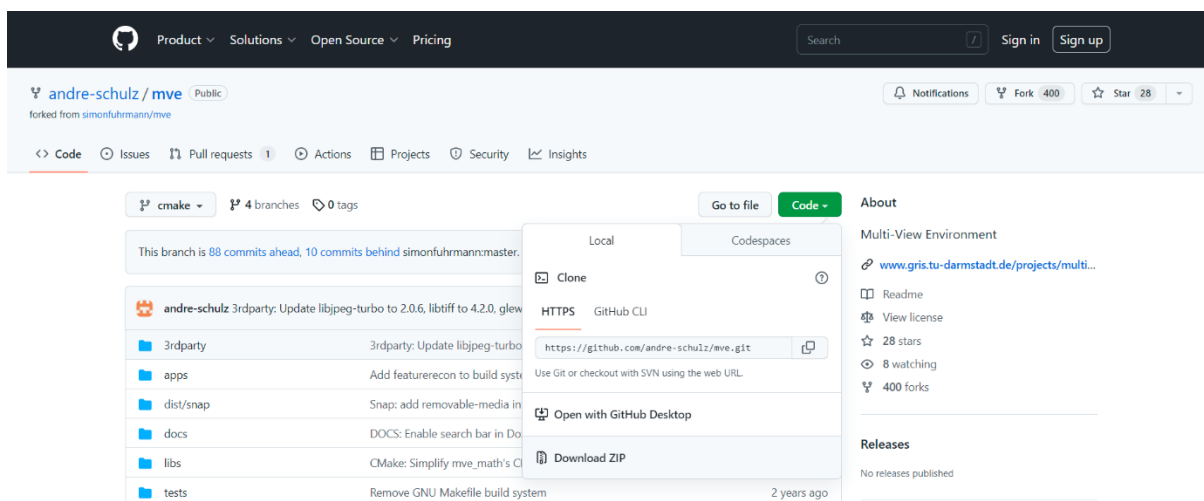
The screenshot displays the GitHub interface for the repository 'andre-schulz/mve'. At the top, there are navigation links for Product, Solutions, Open Source, and Pricing, along with a search bar and 'Sign in'/'Sign up' buttons. Below the repository name, there are icons for Notifications, Fork (400), and Star (28). The main content area shows the repository structure with a dropdown menu open for the 'cmake' branch. The dropdown lists branches: master, cmake_dev, cmake (selected), vs_hacks, libs, tests, .gitignore, and .travis.yml. The main content area shows the commit history for the 'cmake' branch, including updates to libjpeg-turbo, featurecon, and Doxyfile. The right sidebar contains repository statistics like stars, forks, and releases.

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁵⁵ Disponível em: <<https://github.com/simonfuhrmann/mve/wiki/Build-Instructions-for-Windows>>

⁵⁶ Disponível em: <<https://github.com/andre-schulz/mve>>

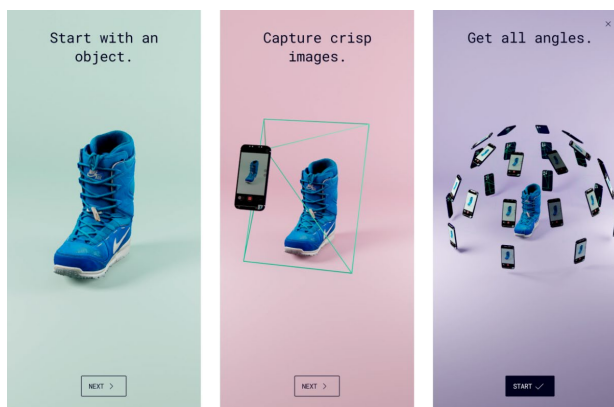
Figura 57 – Página com os arquivos para download



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O processo não será aqui descrito por fugir ao escopo do trabalho e por não ter resultado em uma instalação totalmente funcional do programa. A instalação dos aplicativos seguiu um processo bastante similar entre si, já que todos são disponibilizados pela loja de aplicativos do sistema Android, a Play Store. Os aplicativos, após a instalação, pedem ao usuário que faça um cadastro, com fornecimento de e-mail e criação de uma senha. Após a sua conclusão, os aplicativos apresentam tutoriais de uso, com foco em recomendações para a tomada de imagens (Figura 58, Figura 59 e Figura 60). O aplicativo **Kiri Engine**, assim como o *programa* Regard3D, apresenta a opção de mudar a língua usada na interface⁵⁷.

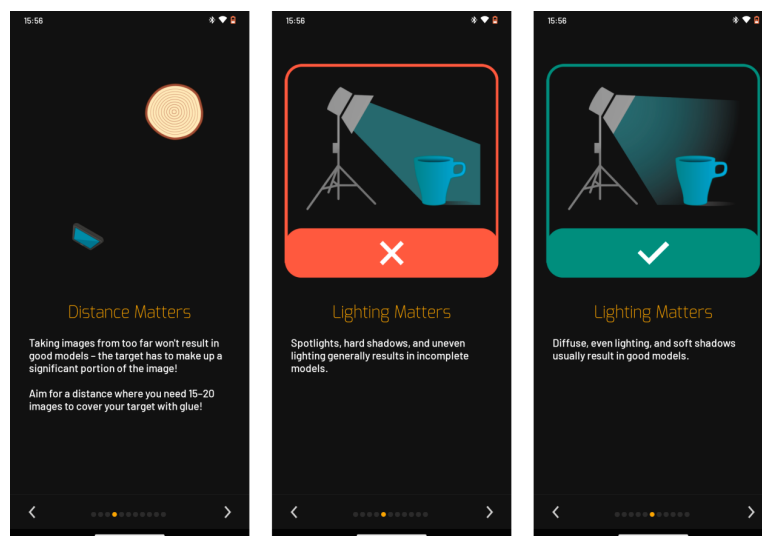
Figura 58 – Capturas de telas do tutorial apresentado pelo Scann3D



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

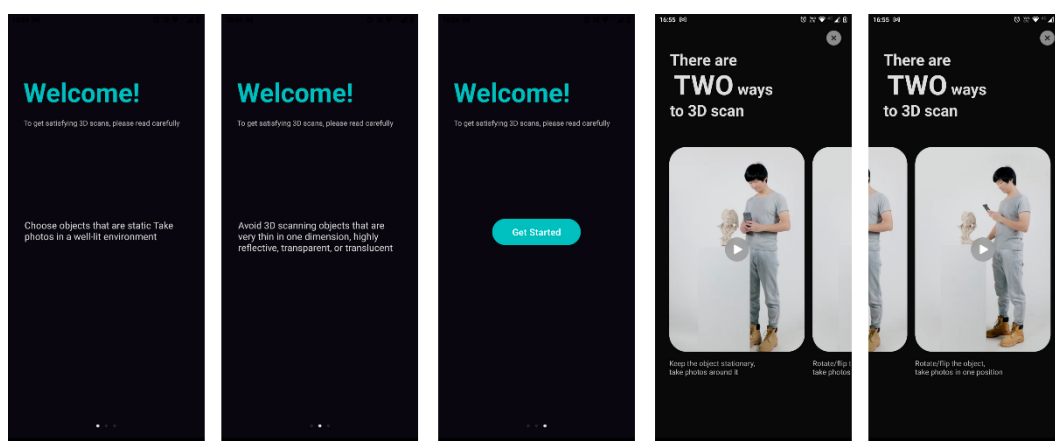
⁵⁷ As opções são inglês, francês e chinês.

Figura 59 – Capturas de telas do tutorial apresentado pelo Polycam



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 60 – Capturas de telas do tutorial apresentado pelo Kiri Engine



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

4.2.2. Extensões de arquivos imagens aceitas

O manual do **Meshroom** (ALICEVISION, 2019) menciona que o programa aceita as extensões suportadas pela biblioteca OpenImageIO, mas este mesmo manual recomenda as extensões “.jpg”, “.tif” e “.png”. O **Multi-View Environment** aceita as extensões “.png”, “.jpg”, “.tif”, “.pfm” e “.ppm” (FUHRMANN, 2022). O **Colmap** suporta as extensões disponibilizadas pela biblioteca FreeImage (SCHOENBERGER, 201?), que inclui extensões como “.bmp”, diversas versões de “.jpg” e algumas extensões RAW. A documentação do **MicMac** não menciona as

extensões de arquivos de imagem aceitas, mas o menu de ajuda da interface **AperoDeDenis** coloca as extensões “.jpg”, “.gif”, “.tif” e “.bmp” como passíveis de uso. O **Regard3D** é o mais restrito dos programas para Windows® em relação às extensões aceitas, só suportando o uso de imagens “.jpg”.

A documentação do **Polycam** não menciona as extensões aceitas pela versão web para uso de imagens previamente obtidas. A versão para web do aplicativo menciona a aceitação das extensões “.jpg”, “.jpeg”, “.png”, além de outras, não especificadas. O suporte do **KIRI Engine**, quando perguntado sobre quais extensões de imagens são aceitas pelo aplicativo, mencionou as extensões “.jpg”, e “.png” e, em um segundo momento, mencionou a possibilidade de uso de arquivos “.dng”, sem atestar a sua efetividade. O suporte do **Scann3D** não respondeu e-mail perguntando sobre as extensões de imagens aceitas pelo aplicativo.

Sendo a extensão “.dng” o formato RAW usado para imagens produzidas pelo *smartphone* **Motorola Edge 20**, esta extensão foi testada em todos os programas e aplicativos (à exceção do **Regard3D**, que explicitamente só aceita a extensão “.jpg”), com o intuito de manter a totalidade das informações presentes nas imagens, visando à produção de um modelo tridimensional que não fosse afetado por uma eventual perda destas informações na conversão da extensão.

Somente o **Meshroom** produziu modelos tridimensionais dos ornatos a partir das imagens com extensão “.dng”. Assim, as imagens foram convertidas para a extensão “.jpg” para uso nos demais programas e aplicativos. Esta extensão foi a escolhida pois era a única aceita pelo Regard3D, além de ser uma extensão aceita pelo MicMac, pelo Multi-View Environment e pelos aplicativos Polycam, Kiri Engine e Scann3D.

Tendo isto em vista, durante a exposição do processo de reconstrução dos ornatos, não se mencionou qual a extensão foi usada, ficando implícito que, quando trata-se do Meshroom, usou-se a extensão “.dng” e, nos demais casos, a “.jpg”. À exceção fica por conta de menções explícitas no texto ao uso da extensão “.jpg” no Meshroom.

A conversão de imagens “.dng” para “.jpg” foi realizada pelo programa Photoshop, versão 22.5.1. Apesar de não ser um programa gratuito, sua escolha deu-se pela sua capacidade de alterar arquivos em lote, ou seja, com um conjunto de comandos executados automaticamente a um conjunto de imagens. Assim, foi possível alterar a extensão dos arquivos de imagem sem a necessidade de

converter as imagens uma a uma quando os programas fotogramétricos não aceitaram a extensão RAW usado pelo *smartphone*. As tentativas de alterar a extensão em lote realizadas com os programas gratuitos Gimp, Darktable e Photoscape acabaram por suprimir os metadados das imagens, impedindo o reconhecimento dos programas dos padrões intrínsecos da câmera.

Somente após a etapa de geração dos modelos definitivos percebeu-se que as imagens convertidas pelo Photoshop sofreram uma diminuição de suas dimensões. Imagens de 3000 x 4000 píxeis em “.dng” foram convertidas em imagens de 2984 x 3984 píxeis em “.jpg”.

4.2.3. Reconstrução tridimensional digital dos ornatos

Aqui são descritas as tentativas de reconstrução tridimensional dos ornatos pelos programas fotogramétricos, com a apresentação dos problemas enfrentados nestes processos e as eventuais soluções encontradas.

Os programas foram sendo testados e usados à medida que se conseguia uma instalação funcional. Os aplicativos foram inseridos no trabalho somente na etapa de geração dos modelos definitivos. O Quadro 1 mostra as etapas do projeto em que os programas e aplicativos passaram a ser usados.

Quadro 1 – Etapas do processo de reconstrução tridimensional dos ornatos em que foram inseridos os programas e os aplicativos

Programas e aplicativos	Teste de reconstrução a partir das imagens da coleta piloto	Teste de reconstrução a partir das imagens da segunda coleta (MALG e Museu do Doce)	Geração definitiva dos modelos a partir das imagens da terceira (Museu do Doce) e segunda (MALG) coletas
Colmap	X	X	X
Meshroom	X	X	X
Regard3D	X	X	X
MicMac		X	X
Multi-View Environment		X	X
Kiri Engine			X
Polycam			X
Scann3D			X

4.2.3.1. *Teste de reconstrução tridimensional a partir das imagens da coleta piloto*

A partir das imagens obtidas na coleta piloto, tentou-se reconstruir o ornato do Museu do Doce nos programas **Meshroom**, **Colmap** e **Regard3D** no *notebook Samsung*. Das imagens obtidas na coleta piloto foram usados quatro conjuntos de imagens, três obtidos pelo *smartphone Motorola Edge 20* e um pela câmera **Canon EOS Rebel T2i**. Os dois primeiros conjuntos de imagens foram obtidos pela câmera primária do *smartphone*, tendo um conjunto **194 fotografias em resolução de 108 MP** e outro com **69 fotografias em resolução de 9 MP**. Com a câmera teleobjetiva obteve-se um conjunto de **23 imagens em resolução de 6 MP**. As imagens tomadas pela Canon EOS Rebel T2i foram **34 em resolução de 18 MP**.

No primeiro programa usado, o **Meshroom**, tentou-se a reconstrução do ornato do **Museu do Doce** com as 194 fotografias. O tempo de processamento elevado, mais de 72 horas sem finalização do processo, levou a desistência do uso de tais imagens neste momento.

Optou-se, então, pelo uso das 69 imagens com resolução de **9 MP**, com o qual se conseguiu completar a reconstrução. Ao observar-se o *log* do Meshroom, notou-se que o programa informava não haver reconhecido qual o sensor usado na obtenção das imagens, o que não impediu o processo de reconstrução, algo que ocorreu em outros *programas*, como descrito posteriormente.

Com o sucesso obtido nesta reconstrução, o programa **Colmap** foi, então, usado com as mesmas 69 imagens. Entretanto, após a importação bem sucedida das imagens, o programa apresentava falhas continuamente, com seu fechamento ocorrendo quando se iniciava o processo de reconstrução, na etapa de “Feature Extraction”.

Para entender se o problema na reconstrução era no programa ou no *notebook* usado, utilizou-se o arquivo de teste do programa, disponibilizado na mesma pasta do arquivo executável. Entretanto, tal arquivo não funcionou. Descobriu-se, posteriormente, que isso deu-se em virtude dele não estar localizado na raiz (C:/) do disco rígido. Com a alteração da localização do arquivo, pode-se proceder o teste, que evidenciou a limitação para rodar o **Colmap** no *notebook Samsung* (Figura 61), ao apresentar a versão do CUDA disponível como insuficiente.

Figura 61 – Detalhe do *prompt* de comando mostrando a falha no teste do programa

```

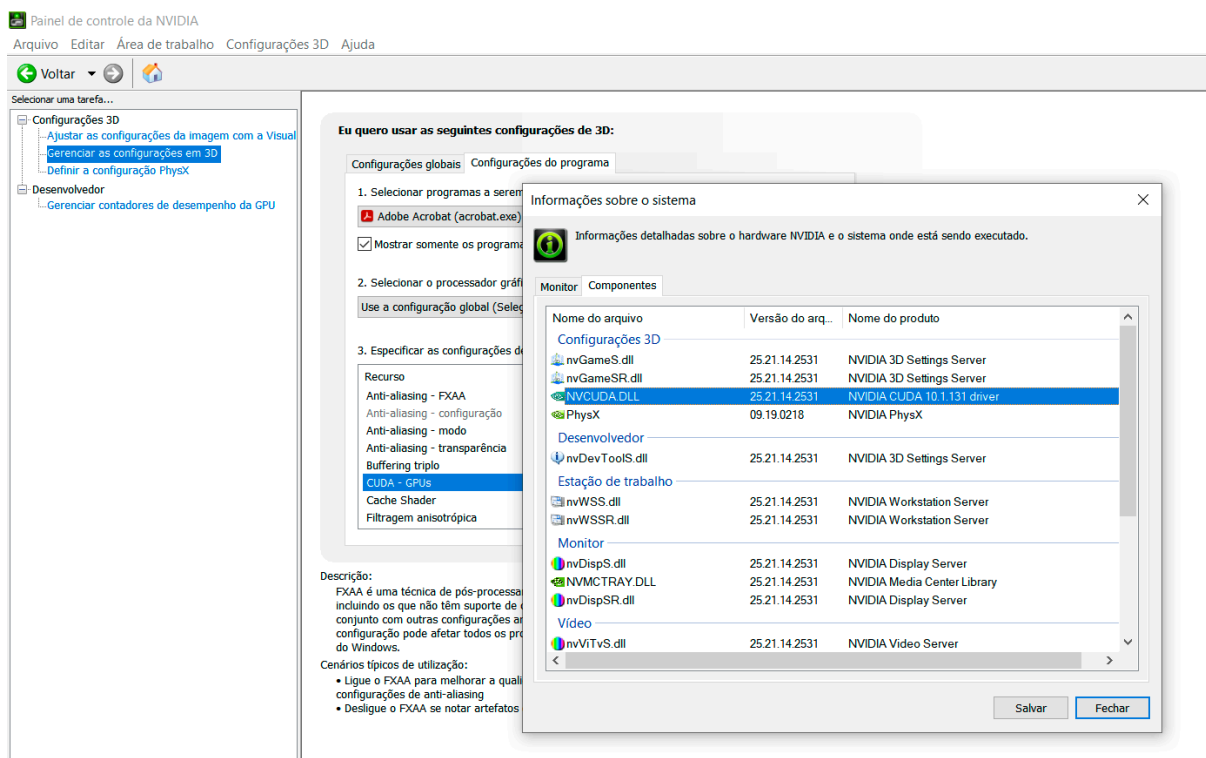
)
Running 14 test cases...
CheckCudaDevice:      CUDA driver version is insufficient for CUDA runtime version
Switch from CUDA to OpenGL
CheckCudaDevice:      CUDA driver version is insufficient for CUDA runtime version
CheckCudaDevice:      CUDA driver version is insufficient for CUDA runtime version
ERROR: Not enough GPU memory to match 1000 features. Reduce the maximum number of matches.
C:/dev/vcpkg/buildtrees/colmap/src/3.7-c5c387390d.clean/src/feature/sift_test.cc(300): error:
CheckCudaDevice:      CUDA driver version is insufficient for CUDA runtime version
CheckCudaDevice:      CUDA driver version is insufficient for CUDA runtime version
CheckCudaDevice:      CUDA driver version is insufficient for CUDA runtime version
*** 1 failure is detected in the test module "feature/sift_test"

```

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Apesar da versão do *driver* do CUDA disponível no *notebook* Samsung ser a 10.1.131 (Figura 62), o que deveria ser suficiente para o Colmap rodar segundo sua documentação, a indicação que havia esta limitação pelo teste levou a decisão de usar este programa somente após a aquisição de um novo *hardware*.

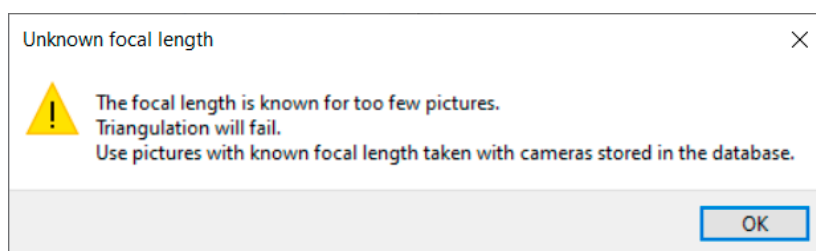
Figura 62 – Detalhe do Painel de controle da NVIDIA, mostrando a versão do driver do CUDA em Informações sobre o sistema



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A partir da experiência de demora no processo com o Meshroom, na tentativa de reconstrução no Regard3D, usou-se apenas 92 imagens das 194 com resolução de 108 MP do ornato do Museu do Doce. Após a importação das imagens, o programa retornou a seguinte mensagem de erro: “The focal length is known for too few pictures. Triangulation will fail. Use pictures with known focal lengths taken with cameras stored in the database”⁵⁸ (Figura 63).

Figura 63 – Mensagem de erro do Regard3D



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Como a informação da distância focal estava presente nas imagens, optou-se por usar imagens cujas informações da câmera provavelmente estariam no banco de dados do programa. Assim, foi usado o conjunto de **34 imagens** feito com a câmera **Canon EOS Rebel T2i**, lançada em 2010 e, provavelmente, presente neste banco de dados. As imagens foram carregadas e a reconstrução teve início e, apesar de, na etapa de triangulação, somente 11 das 34 imagens terem sido usadas, foi possível obter um modelo tridimensional, mesmo que de baixa qualidade para produção de uma réplica do ornato.

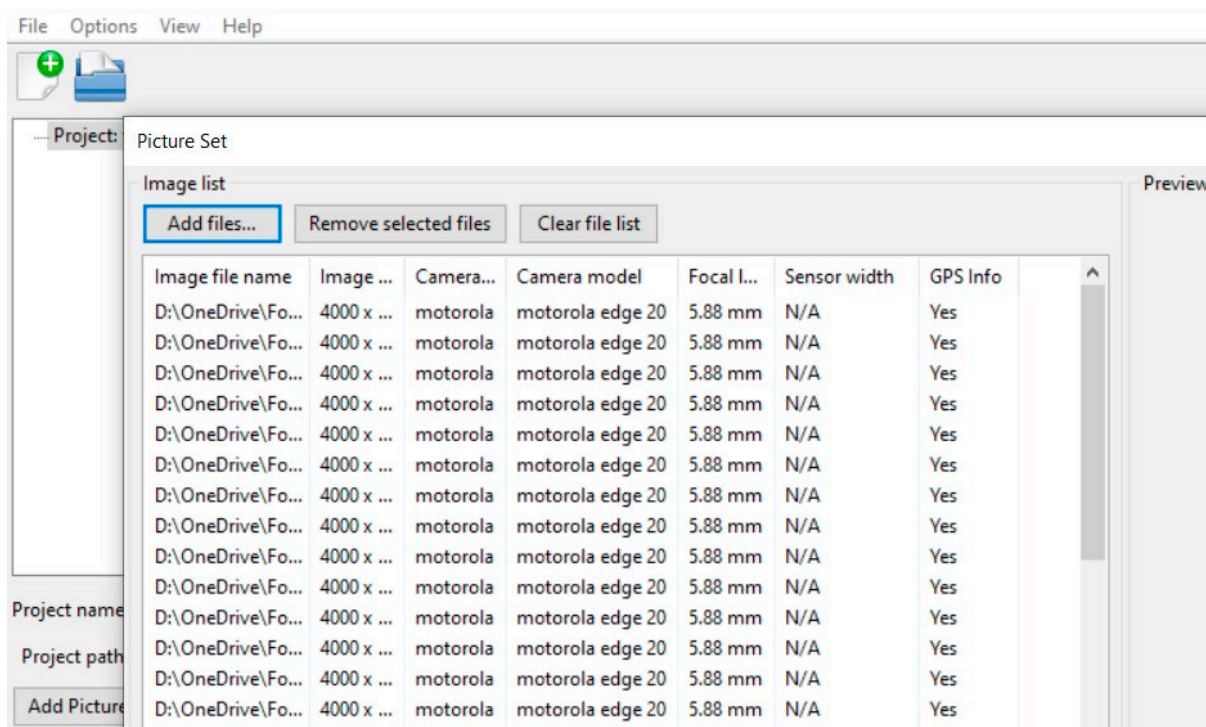
Neste processo não foi mencionada nem solicitada pelo programa nenhuma informação a respeito do sensor usado pela câmera, o que levou à suposição de que o problema que impediu a primeira reconstrução, com imagens feitas pelo *smartphone*, realmente não era a ausência da distância focal nas imagens, mas sim a falta das informações acerca do sensor na base de dados.

A tentativa seguinte foi realizada, então, com um conjunto menor de imagens, o de 69 imagens em resolução de 9 MP, para testar esta possibilidade. Nesta tentativa, como esperado, o programa apresentou a mesma mensagem de erro (Figura 63). Assim, na janela de carregamento das imagens (Figura 64), com um

⁵⁸ A distância focal é conhecida para poucas fotos. A triangulação falhará. Use fotos com distâncias focais conhecidas tiradas com câmeras armazenadas no banco de dados (tradução nossa).

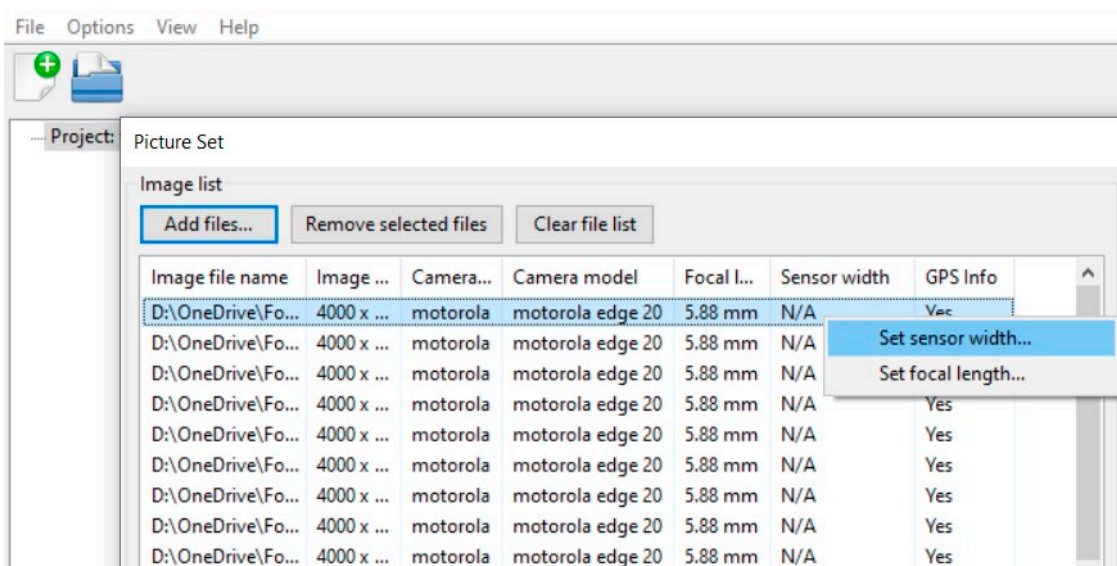
clique com o botão direito do mouse (Figura 65), foi inserida a largura do sensor (Figura 66), resultando na atualização desta informação nas imagens (Figura 67).

Figura 64 – Detalhe da interface do Regard3D mostrando a ausência do tamanho da largura do sensor



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 65 – Detalhe da interface do Regard3D mostrando a possibilidade de inserção da informação ausente nos arquivos de imagem



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A informação sobre esta largura foi obtida por meio do número de píxeis nos sentidos horizontal e vertical do sensor e pelo tamanho do pixel (Figura 68).

Figura 68 – Detalhe da página de ferramentas de *site* para cálculo de dimensões de sensor

The screenshot shows the 'Sensor calculations based on sensor resolution and pixel size' tool on the Vision Doctor website. The interface includes a navigation menu with options like 'START', 'SERVICE', 'INTRODUCTION', 'PRACTICE', 'SYSTEMS', 'LIGHTING', 'OPTICS', 'FILTERS', and 'CAMERA'. On the left, there is a sidebar with categories such as 'Calculation measurement accuracy', 'USAF 1951 - determination resolution', 'Interface calculations', 'Illumination calculations', 'Vision system calculations', and 'Documents and files'. The main content area features a blue header for the tool, a note about selecting values from a drop-down box, and input fields for 'Sensor size in pixels (x-direction): 12000', 'Sensor size in pixels (y-direction): 9000', and 'Pixel size in µm: 0.7'. Below these, the calculated results are shown in green boxes: 'Calculated sensor diagonal: 10.5 mm diagonal (15000 pixels)', 'Calculated sensor length: 8.4 mm x-direction (12000 pixels)', 'Calculated sensor height: 6.3 mm y-direction (9000 pixels)', and 'Calculated sensor ratio: Sensor ratio: 4 to 3 Decimal fraction: 1.33'. A 'Reset' button is located at the bottom of the calculation area.

Fonte: *site* Vision Doctor⁵⁹

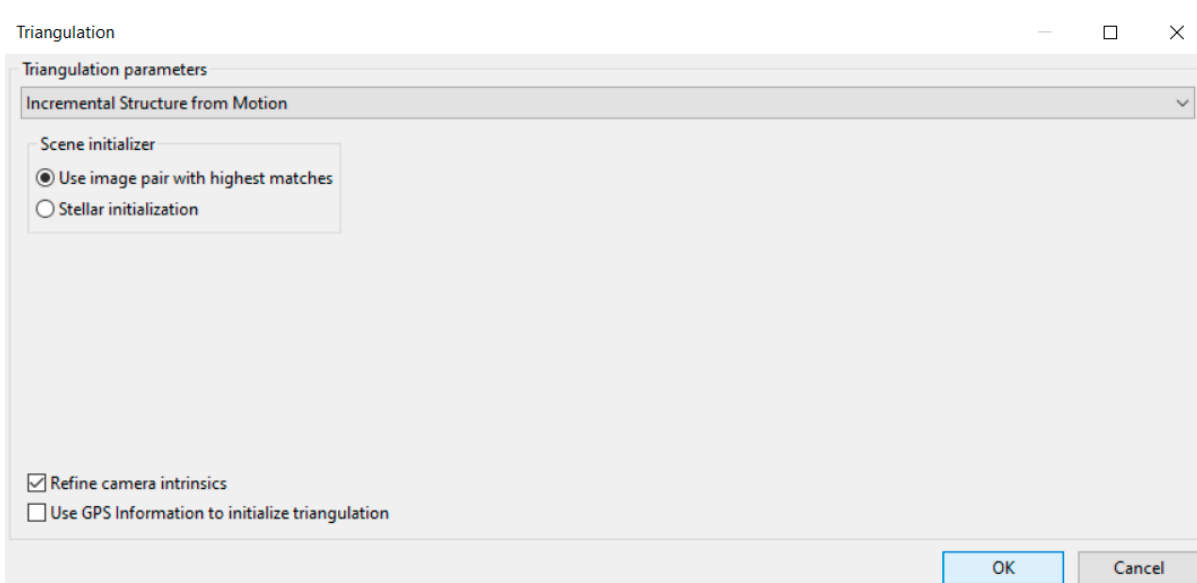
Outra alternativa para definição da largura do sensor é a inserção desta informação diretamente no arquivo "sensor_database.csv", localizado na pasta "C:\Users\[User name]\AppData\Local\Regard3D"⁶⁰.

A primeira etapa, de "Compute Matches", foi, então, bem-sucedida. Entretanto, na etapa seguinte "Triangulation", das 69 imagens, nenhuma foi aproveitada. Mudaram-se os parâmetros de triangulação, de "Incremental Structure from Motion" para "Global Structure from Motion", e, assim, 36 das 69 imagens foram reconhecidas. Esta opção foi escolhida porque este é o primeiro parâmetro de alteração apresentado pelo programa (Figura 69).

⁵⁹ Disponível em: <<https://www.vision-doctor.com/en/camera-calculations/sensor-diagonal-sensor-ratio.html>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

⁶⁰ Disponível em: <<https://www.regard3d.org/index.php/documentation/details/picture-set>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

Figura 69 – Janela “Triangulation” do programa Regad3D



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Entretanto, na “Surface Generation” uma mensagem de erro “No generated model found. Please check console for errors” foi o resultado.

Como o problema em relação à ausência da largura do sensor do *smartphone* havia sido solucionado na tentativa anterior, optou-se por usar um conjunto com ainda menos fotografias, para tentar evitar problemas relativos à capacidade de processamento do *notebook* usado. Assim, foram usadas as 23 imagens obtidas com a teleobjetiva do *smartphone* Motorola, sendo que 22 imagens foram aproveitadas pelo programa. Esta tentativa acabou por produzir uma malha triangular do ornato, levantando dúvidas se o erro relativo ao processamento anterior foi devido a capacidade do *hardware*.

4.2.3.2. Teste de reconstrução tridimensional a partir das imagens da segunda coleta (MALG e Museu do Doce)

Nesta etapa foram usadas 210 imagens do ornato do Museu do Doce e 486 do ornato do MALG, todas obtidas com a câmera primária do Motorola Edge 20 na segunda coleta. Como o **notebook Lenovo**, com maior capacidade de processamento que o *notebook* Samsung usado anteriormente, foi, também, usado nesta segunda rodada de testes, retomou-se a tentativa de gerar modelos a partir das 194 imagens em resolução de 108 MP da coleta piloto.

Meshroom – segunda coleta

A primeira tentativa de reconstrução do ornato do ornato do **MALG** contou com a totalidade das imagens obtidas, 486. Após mais de 72h de processamento no **notebook Samsung**, não se chegou à etapa final de obtenção do modelo do ornato, tendo o processo sido interrompido no nó de “Meshing”. No *log* deste nó, a última informação referente ao processamento foi “Compute boykov_kolmogrov_max_flow”, sendo que, no *prompt* de comando que fica aberto durante a execução do Meshroom, a mensagem foi “WARNING:root:Retrying to obtain clipboard.”, o que pode indicar falta de memória RAM (CASTAN, 2020).

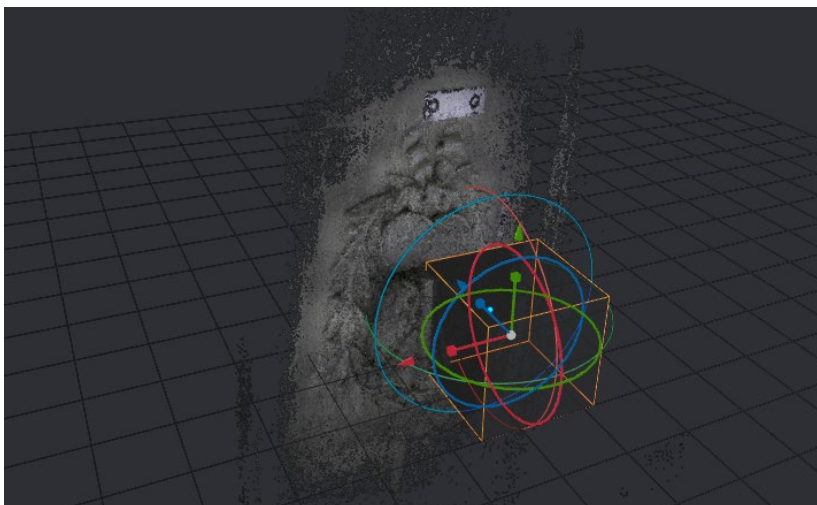
Em virtude das tentativas anteriores com os maiores conjuntos de imagens da coleta piloto também não terem tido sucesso, adotou-se a seguinte abordagem: diminuir o número de imagens pela metade, a saber, 243. Entretanto, mesmo com um conjunto menor de imagens para a reconstrução, o processo também não produziu um modelo, pois foi interrompido no nó de “StructurefromMotion”.

Assim, optou-se pelo uso do **notebook Lenovo**, de maior capacidade de processamento, para as novas tentativas de reconstrução com o Meshroom. Com ele, retomaram-se duas alternativas anteriormente consideradas: a reconstrução a partir das imagens do ornato do Museu do Doce com resolução de 108 MP da coleta piloto e a reconstrução do ornato do MALG com as 486 imagens obtidas.

A reconstrução do ornato do Museu do Doce com as imagens de 108 MP, assim como nas tentativas com o **notebook Samsung**, não obteve sucesso, com o processamento sendo interrompido no nó de “Meshing”, com a seguinte mensagem de erro: “Depth map fusion gives an empty result”. Tal tentativa de retomar o uso de imagens de 108 MP foi então interrompida, não sendo retomada posteriormente porque seu processamento pareceria ser uma impossibilidade mesmo para o novo **notebook**, condição evidenciada por problemas de memória ocorridos posteriormente no processamento de outras imagens de 9 MP.

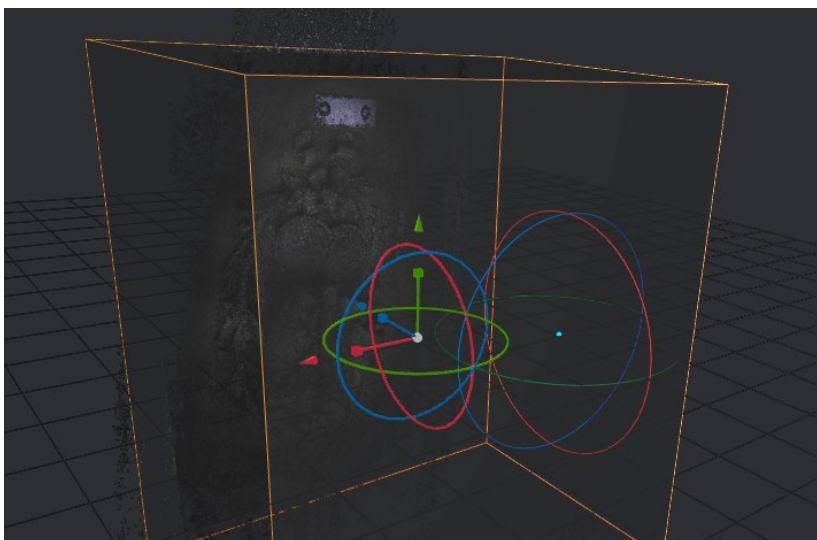
A tentativa de usar a totalidade de imagens obtidas do ornato do MALG também falhou. Uma mensagem do *log* do programa informou que, na etapa de “Meshing”, o “bounding box” estava vazio (Figura 70). Ajustou-se este parâmetro no programa, inserindo a nuvem de pontos dentro do espaço, mas a reconstrução, ainda assim, não prosseguiu (Figura 71).

Figura 70 – Detalhe da interface do Meshroom mostrando a nuvem de pontos do ornato fora dos limites da “bounding box”, em laranja



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 71 – Detalhe da interface do Meshroom, agora mostrando a nuvem de pontos do ornato dentro dos limites da “bounding box”



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Outra causa comum de interrupção neste nó é o número de “max points” utilizados. Assim, tentou-se reduzir o número dos “max input points”, de 50.000.000 para 50.000, e dos “max points” de 5.000.000 para 50.000, também sem sucesso.

Procedeu-se, então, a mesma abordagem anterior, de diminuir o total de imagens utilizadas. Com o conjunto de 243 imagens, o processamento foi interrompido

no nó de “StructurefromMotion”. Desta vez, o programa retornou mensagem informando falta de memória: “Abnormal program termination: memory exhausted”.

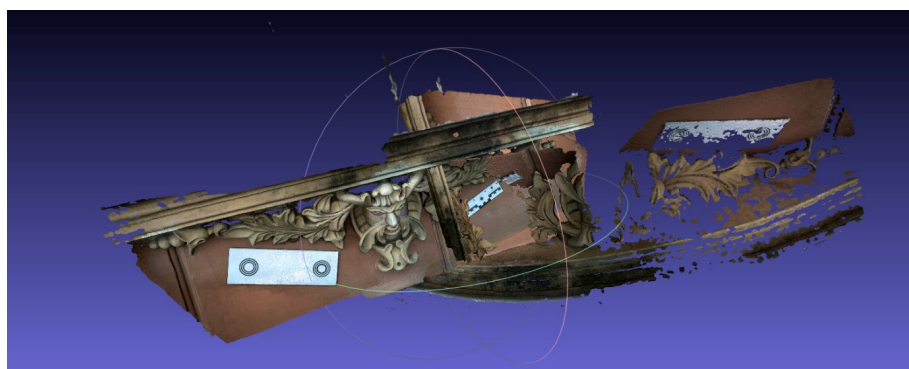
Como a mensagem de erro informava falta de memória, tentou-se usar um conjunto menor de imagens, assim como nas tentativas realizadas com as imagens da coleta piloto. Procedeu-se, então, uma tentativa de reconstruir o ornato do **Museu do Doce** no Meshroom, usando o **notebook Lenovo**, com as imagens da segunda coleta, 210 imagens, 33 a menos do que as usadas na tentativa anterior. Mas, apesar do número menor, o processo foi interrompido no nó de “Meshing”, com a mensagem de erro “Depth map fusion gives an empty result”.

A tentativa seguinte foi feita com um número ainda mais reduzido de imagens, usando somente as 112 imagens em *close-up*, e foi bem-sucedida. Entretanto, o modelo apresentou buracos nas extremidades do ornato. Para tentar solucionar este problema, um conjunto de 144 imagens, reunindo todas as 112 imagens em *close-up* mais 32 imagens em ângulo mais aberto, cobrindo somente as extremidades do ornato, foi utilizado, mas o processamento foi interrompido no nó de “Meshing”, com a seguinte mensagem de erro: “Abnormal program termination: memory exhausted”.

Colmap – segunda coleta

Para retomada das tentativas de reconstrução no **Colmap**, foi novamente realizado o teste de adequação do *hardware* ao programa no **notebook Lenovo**, resultando na sua aprovação. Assim, deu-se início à reconstrução do ornato do Museu do Doce com o mesmo conjunto de 144 imagens selecionadas a partir das 210 obtidas. O processo resultou em um modelo, mas que aparenta ter sido reconstruído em duas partes, em planos distintos (Figura 72).

Figura 72 – Visualização do modelo do ornato do Museu do Doce com as imagens da segunda coleta



Ao ser aberto no Meshlab para visualização, o programa informa que o modelo possui “86 vertices with NAN coords⁶¹ and 0 degenerated faces”⁶².

Com o conjunto de 243 imagens do ornato do MALG no **notebook Lenovo** não foi possível chegar ao final do processo pois o programa encerrava de maneira abrupta.

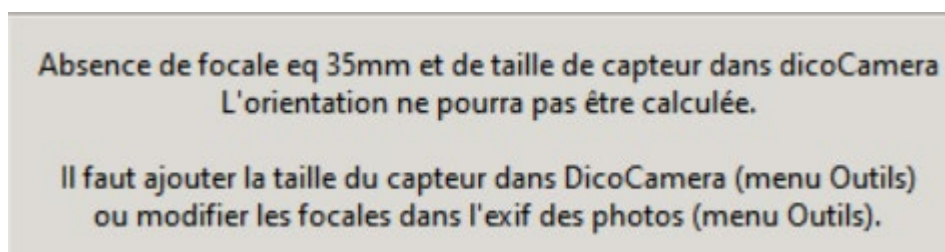
Regard3D – segunda coleta

No **notebook Samsung**, o ornato do **Museu do Doce**, com o conjunto de 144 imagens, foi reconstruído pelo programa. Mas do total de 144, 101 foram usados pelo Regard3D, e várias áreas do objeto não foram reconstruídas. O ornato do **MALG**, com o conjunto de 243 imagens, também foi gerado com sucesso.

MicMac – segunda coleta

Neste programa, após a importação das 243 imagens do ornato do **MALG** para reconstrução, uma mensagem de erro (Figura 73) apareceu, informando a ausência da equivalência para 35 mm da distância focal utilizada e a necessidade do tamanho do sensor utilizado⁶³ estar presente no DicoCamera⁶⁴.

Figura 73 – Detalhe de tela da interface AperDeDenis com a mensagem de erro



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Conforme a orientação do programa, é possível inserir as dimensões do sensor em questão por meio do menu *Tools/Update DicoCamera.xml* (Figura 74).

⁶¹ “NAN é um padrão especial de bits de ponto flutuante que indica uma falha, como zero dividido por zero ou a raiz quadrada de menos um” (HOUDINI, 2021, tradução nossa). Disponível em: < <https://www.sidefx.com/docs/houdini/nodes/sop/clean.html> >. Acesso em: 6 dez. 2023.

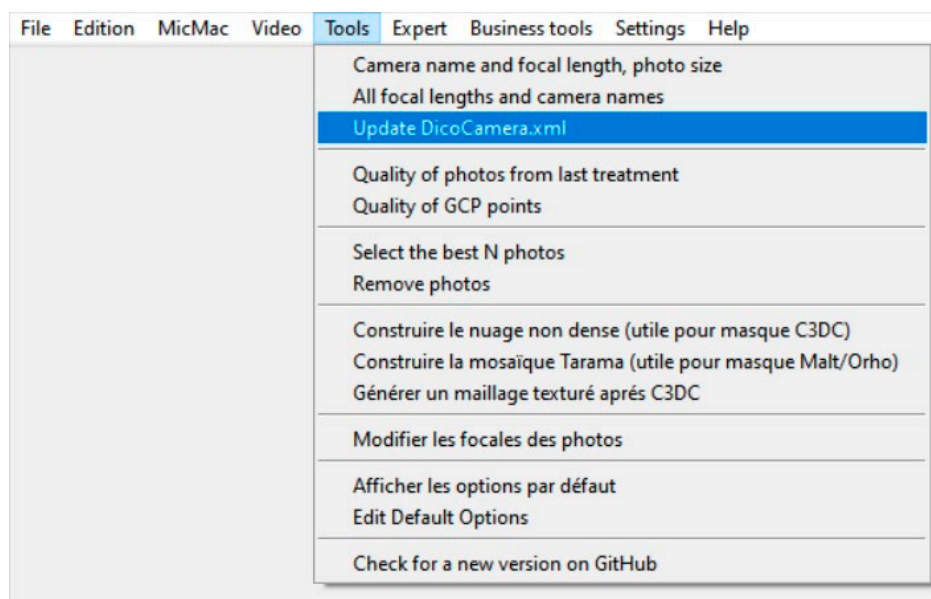
⁶² Faces degeneradas são faces com área equivalente a zero (AUTODESK, 2023).

⁶³ “Ausência de distância focal equivalente a 35 mm e tamanho do sensor no DicoCamera. A orientação não pode ser calculada.

Você deve adicionar o tamanho do sensor no DicoCamera (menu Ferramentas) ou modificar as distâncias focais no exif da foto (menu Ferramentas)” (tradução nossa).

⁶⁴ Um arquivo “.xml” com o nome da câmera e a largura e altura de seu sensor presente nos arquivos da instalação do MicMac.

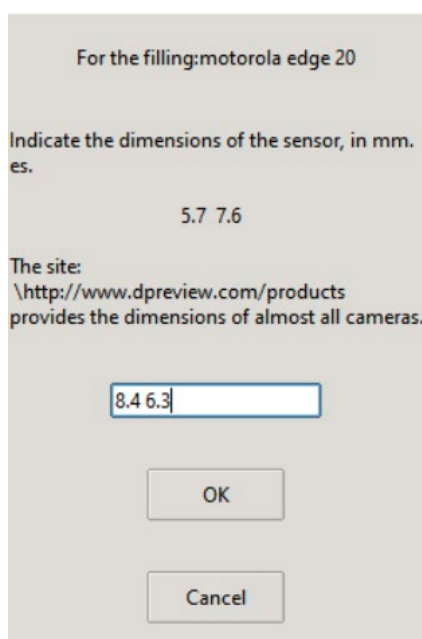
Figura 74 – Detalhe da interface do programa com a opção de menu para informar o tamanho do sensor



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O clique nesta opção leva a janela onde deve ser inserido o valor (Figura 75). O cálculo foi realizado como mostrado na Figura 68. O clique no botão *OK* leva à mensagem de atualização do arquivo *DicoCamera.xml* (Figura 76).

Figura 75 – Detalhe da interface do MicMac com o campo para inserção do tamanho do sensor



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

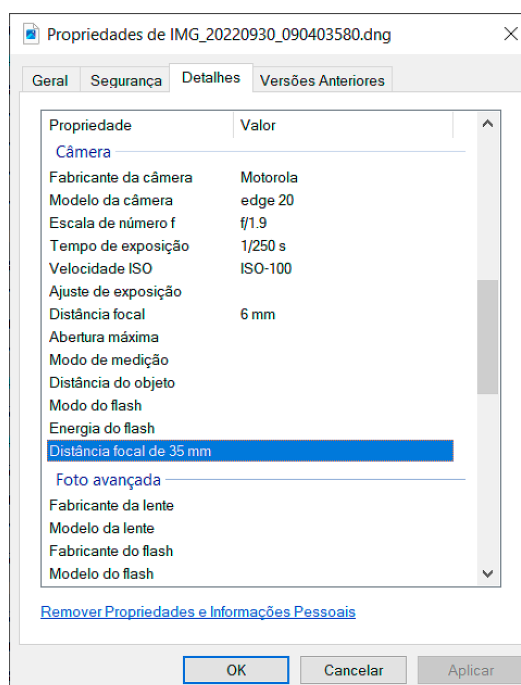
Figura 76 – Mensagem de sucesso da atualização do DicoCamera.xml

```
dicocamera update.xml:
  <CameraEntry>
    <Name> motorola edge 20 </Name>
    <SzCaptMm> 8.4 6.3 </SzCaptMm>
    <ShortName> motorola edge 20 </ShortName>
  </CameraEntry>
```

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A segunda informação solicitada, a equivalência para 35 mm da distância focal utilizada, usualmente, é a informada pelo fabricante na descrição da(s) lente(s) de sua(s) câmera(s)⁶⁵. Nos arquivos das imagens obtidas pelo *smartphone* Motorola Edge 20 neste trabalho, a distância focal informada nas propriedades do arquivo é a distância focal real (Figura 77).

Figura 77 – Janela de propriedades de arquivo mostrando a ausência da informação sobre a distância focal equivalente à 35 mm



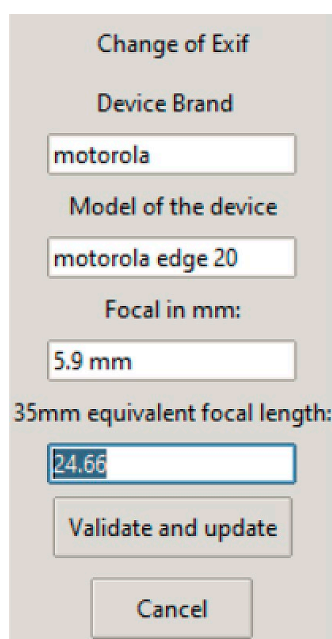
Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁶⁵ Atualmente, os *smartphones* costumam ter um conjunto de diferentes lentes, ao invés de somente uma, com cada uma delas sendo adequada a diferentes objetivos na obtenção de imagens.

Caso a informação da distância focal equivalente à 35 mm seja desconhecida, é possível calculá-la a partir da distância focal real. Esta distância focal é obtida pela multiplicação da **distância focal real da lente** pelo **fator de corte do sensor da câmera**, sendo que tal fator é obtido pela **divisão da diagonal de um sensor de 35 mm pela diagonal do sensor em questão**. Sendo a medida da diagonal do sensor Samsung ISOCELL HM2 10,53 mm (Figura 67), e sabendo ser o tamanho da diagonal de um sensor de 35 mm 43,27 mm, obtém-se o **fator de corte**: $43,27 \text{ mm} / 10,53 \text{ mm} = 4,11$.

Voltando à primeira fórmula apresentada, multiplicação da distância focal real da lente (**6 mm**) pelo fator de corte do sensor da câmera (**4,11 mm**), tem-se como resultado a distância focal equivalente a um sensor de 35 mm de **24,66 mm**. Após a inserção desta segunda informação (Figura 78), foi possível iniciar o processo de reconstrução.

Figura 78 – Detalhe da interface AperoDeDenis mostrando o campo para inserção da distância focal equivalente à 35 mm



Change of Exif

Device Brand

motorola

Model of the device

motorola edge 20

Focal in mm:

5.9 mm

35mm equivalent focal length:

24.66

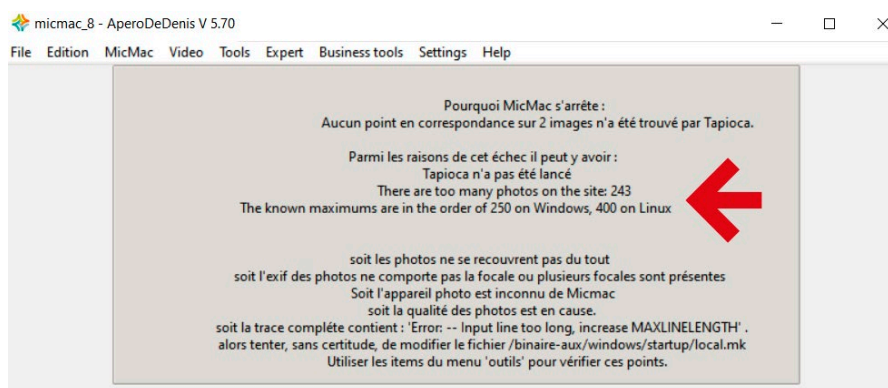
Validate and update

Cancel

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Após este início, a interface **AperoDeDenis** retornou um conjunto de mensagens de erro (Figura 79), uma delas informando que o número máximo de imagens para uso na versão para Windows® é de 250 imagens.

Figura 79 – Detalhe da interface AperodeDenis mostrando conjunto de mensagens de erro

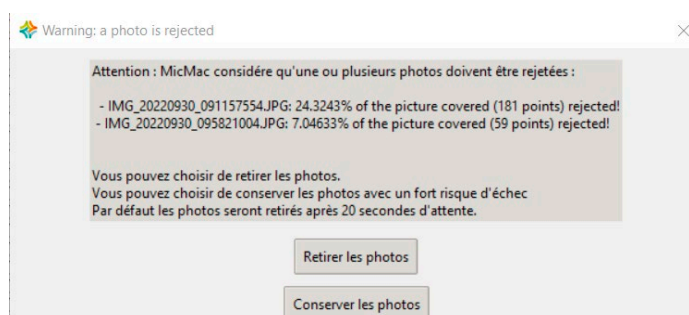


Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Apesar do conjunto de imagens utilizadas nesta tentativa ser inferior a este limite, optou-se por reduzir, na tentativa seguinte, o número de imagens. Assim, utilizou-se um conjunto de 223 fotografias do ornato do **MALG** na nova tentativa de reconstrução.

Apesar da ausência da menção ao número de imagens na mensagem de erro, o programa informou a existência de imagens com diferentes dimensões, quando, na verdade, as imagens têm diferentes orientações (horizontal e vertical). A partir disso, foram buscadas soluções a partir desta informação fornecida. Mas, mesmo retirando as imagens de orientação horizontal do conjunto, mantendo somente as verticais, o processamento não deu certo. Como alternativa, separou-se um pequeno conjunto de imagens, de mesma orientação, para uma nova tentativa de reconstrução. Com o sucesso desta tentativa, foram sendo adicionadas mais imagens. À medida que tais imagens iam sendo adicionadas ao conjunto, mensagens de erro, mencionando imagens específicas como provável causa de erro na reconstrução, eram apresentadas pelo MicMac (Figura 80).

Figura 80 – Mensagem de erro informando imagens rejeitadas pelo programa



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Além do uso de imagens de mesma orientação e retirada de imagens rejeitadas pelo programa, tentou-se agrupar as imagens que foram tiradas a uma distância similar, separando as imagens em *close-up* das mais panorâmicas de maneira não muito rígida. Assim, conseguiu-se criar nuvens densas de pontos (Figura 81) a partir de três conjuntos de imagens: um conjunto de 98 imagens (*close-ups* e panorâmicas), outro de 95 (somente *close-ups*) e um terceiro de 33 (somente panorâmicas)⁶⁶.

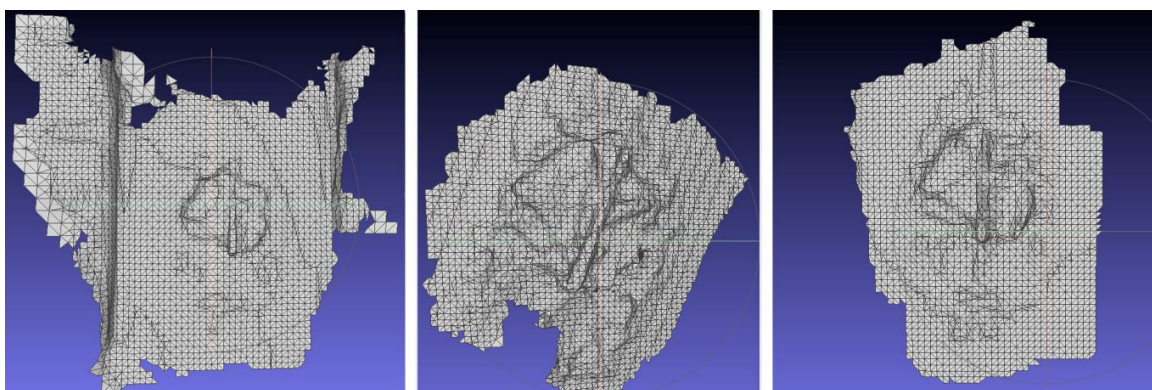
Figura 81 – Nuvens de pontos do ornato do MALG criadas a partir de 98 (à esq.), 95 (centro) e 33 imagens (à dir.)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Entretanto, as malhas triangulares obtidas ao final do processo não apresentam qualidade suficiente para produção de réplica do ornato (Figura 82).

Figura 82 – Malhas triangulares do ornato do MALG criadas a partir de 98 (à esq.), 95 (centro) e 33 imagens (à dir.)

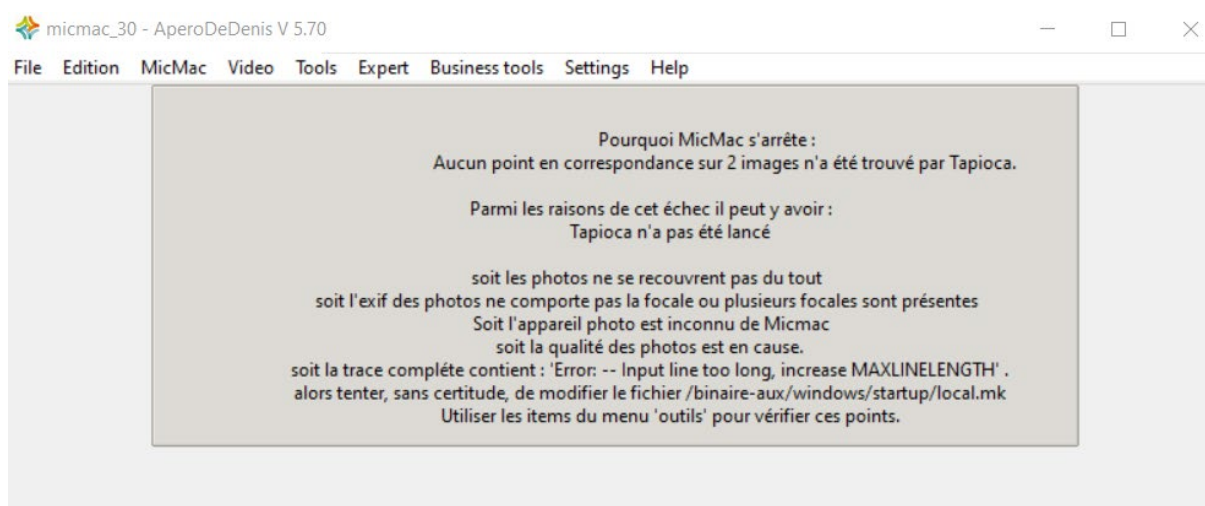


Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁶⁶ A soma das imagens destes três conjuntos é 226, número maior do que as 223 que estavam sendo usadas anteriormente por conta da intersecção de três imagens entre o primeiro (98) e o último (33).

Com conjunto com 144 imagens do ornato do **Museu do Doce** a reconstrução não foi bem-sucedida, também. A mensagem de erro apresentou várias alternativas para a impossibilidade de reconstrução⁶⁷ (Figura 83).

Figura 83 – Detalhe da interface AperoDeDenis mostrando conjunto de mensagens de erro na tentativa de reconstrução do ornato do Museu do Doce



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Entre os fatores apresentados pelo programa como possível origem da falha estão a inexistência de correspondência de pontos entre duas imagens a serem usadas pelo módulo Tapioca, não haver sobreposição entre as imagens, a qualidade das imagens usadas, o exif das fotografias não incluir a distância focal ou várias distâncias focais terem sido usadas e a câmera ser desconhecida pelo MicMac. Tais possibilidades não foram levadas em consideração, porque tais conjuntos de imagens haviam sido reconstruídos por outros programas, o exif continha a informação sobre a distância focal usada, sendo ela constante em todas as imagens, e a câmera era conhecida pelo programa, tanto que as informações acerca dela já apareciam na janela em que foi informada a distância focal equivalente em 35 mm.

⁶⁷ “Por que o MicMac para:

Nenhum ponto correspondente entre duas imagens foi encontrado pelo módulo Tapioca.

Entre as razões para esta falha pode haver:

Tapioca não foi lançado.

Ou as fotos não se sobrepõem;

Ou o exif das fotos não inclui a distância focal ou várias distâncias focais estão presentes;

Ou a câmera é desconhecida para o MicMac; Ou a qualidade das fotos é a causa.

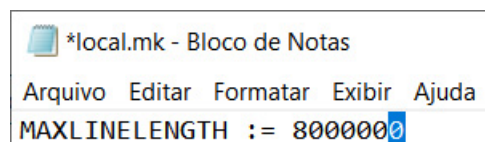
O rastreamento completo contém: 'Erro: -- Linha de entrada muito longa, aumente MAXLINELENGTH';

Então tente, sem certeza, modificar o arquivo /binaire-aux/windows/startup/local.mk.

Use os itens no menu 'ferramentas' para verificar esses pontos” (tradução nossa).

A menção à linha de entrada muito longa refere-se ao número de imagens usadas. Assim, como sugerido, aumentou-se o valor presente no arquivo citado de 8000 para 8000000 (Figura 84), apesar do número inicial já ser superior ao número de imagens em uso, sem resultado positivo.

Figura 84 – Detalhe de imagem do arquivo local.mk



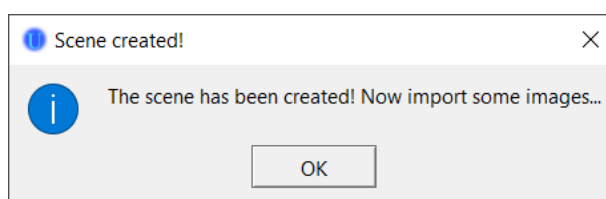
Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Para verificar se os problemas encontrados nestas reconstruções eram devido a alguma falha na instalação do MicMac, foi usado o conjunto disponibilizado pelos desenvolvedores do programa para teste, com resultado positivo. Descartada essa possibilidade, decidiu-se pelo seguimento do estudo com os outros programas nesta etapa.

Multi-View Environment – segunda coleta

A versão do programa **Multi-View Environment** com interface gráfica (UMVE) compilada para uso neste experimento não apresentou a aba “SfM Reconstruct”, como descrito no item 4.2.1. Entretanto, tentou-se usar o programa nesta condição para verificar se tal funcionalidade apareceria após o cumprimento da etapa anterior de reconstrução e para entender as etapas iniciais do processo enquanto não se encontrava uma solução para obtenção de uma versão totalmente funcional do programa. O processo de reconstrução tridimensional no UMVE começa com a criação de uma *New Scene*, comando que cria a pasta onde serão salvos os arquivos. Após o clique nesta opção, o programa apresenta mensagem indicando a necessidade de importação das imagens (Figura 85).

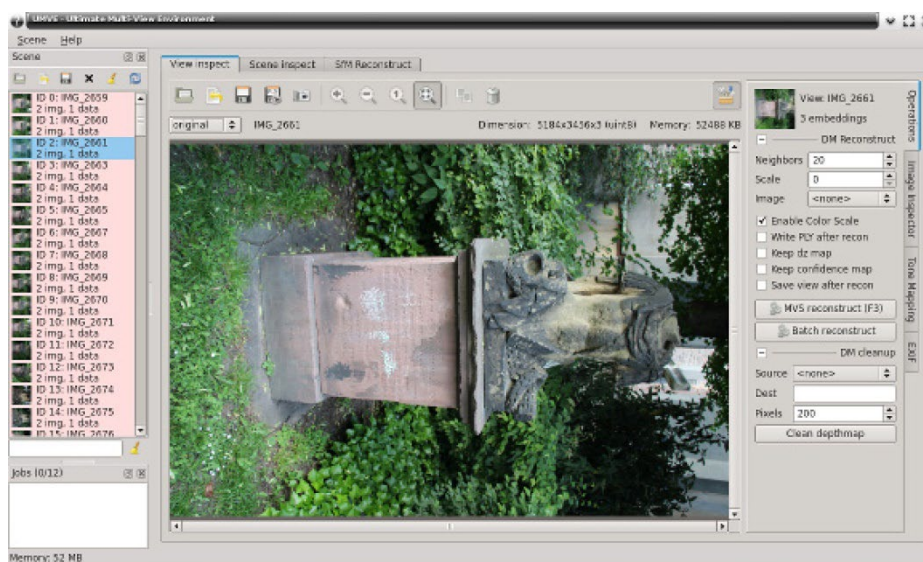
Figura 85 – Mensagem de sucesso para criação da Scene informando a necessidade de importação de imagens



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A importação das imagens gera uma lista que aparece com fundo vermelho (Figura 86) até que a reconstrução dos parâmetros da câmera seja feita (FUHRMANN; LANGGUTH; GOESELE, 2014).

Figura 86 – Interface do UMVE, com a lista de imagens cujos parâmetros da câmera ainda não foram reconstruídos



Fonte: FUHRMANN; LANGGUTH; GOESELE, 2014, p. 5

Como a hipótese de aparecimento da aba “SfM Reconstruct” após a criação da *Scene* não se concretizou, a lista de imagens continuou em vermelho e não foi possível prosseguir com o processo de reconstrução, pois este (o uso do comando “SfM Reconstruct”) seria o próximo passo no processo (FUHRMANN; LANGGUTH; GOESELE, 2014). Assim sendo, o uso do programa foi colocado em pausa até uma solução fosse encontrada.

4.2.4. Geração definitiva dos modelos a partir das imagens da terceira (Museu do Doce) e segunda (MALG) coletas

Após a realização dos testes de reconstrução com os programas para Windows® anteriormente descritos, à exceção do MicMac, chegou-se ao entendimento necessário para realização dos modelos definitivos para produção das réplicas. Neste momento, foram incluídos os aplicativos para Android no trabalho de reconstrução tridimensional. Nesta etapa foram utilizadas 200 imagens para reconstrução do ornato do MALG e 137 para o ornato do Museu do Doce (terceira coleta).

O **Meshroom** conseguiu produzir um modelo tridimensional do ornato do **Museu do Doce** com o conjunto de 137 imagens sem a necessidade de configurações adicionais por parte do usuário após a importação das imagens na extensão “.dng” e do início do processo de reconstrução.

Entretanto, na reconstrução do ornato do **MALG** com o conjunto de 200 imagens, o processo parou no nó de “Meshing”. Assim, foi necessário diminuir, novamente, o número de “max points”⁶⁸, desta vez de 5.000.000 para 4.000.000, para que a interrupção do processo acima mencionado fosse solucionada. Os modelos definitivos obtidos no programa não têm as suas normais computadas.

Os modelos dos ornatos com os conjuntos de imagens definitivos foram produzidos pelo **Regard3D**, mas, assim como nas tentativas anteriores de reconstrução, apresentam “*0 vertices with NAN coords and 2 degenerated faces*”, no caso do MALG, e “*0 vertices with NAN coords and 6 degenerated faces*”, no caso do Museu do Doce.

O **Colmap** conseguiu produzir modelos dos ornatos com os conjuntos de imagens definitivos, mas, assim como nas tentativas anteriores de reconstrução, a malha do ornato do MALG apresentou “*78 vertices with NAN coords and 0 degenerated faces*”.

Com a certeza da correção da instalação do programa **MicMac**, obtida com o teste realizado com as imagens fornecidas pelo desenvolvedor na etapa anterior, prosseguiu-se com as tentativas de obter modelos para a posterior produção de réplicas dos ornatos. No processo de obter respostas para os problemas apresentados pelo MicMac, encontrou-se uma nova versão da interface gráfica AperoDeDenis, a 5.73. Mesmo sem menções pelos desenvolvedores de mudanças em relação às funcionalidades do programa, optou-se por esta versão por ela estar com mais itens de menus traduzidos para o inglês.

Ao usar os conjuntos de imagens definitivos, tentou-se contornar o problema mencionado do uso de imagens com “tamanhos” diferentes apresentado nas tentativas anteriores informando ao programa que as imagens de diferentes orientações eram produzidas por câmeras diferentes. Para isso, as imagens do Museu do Doce em “.dng” foram convertidas para “.jpg” sem as informações do EXIF e tais dados foram inseridos no arquivo “DicoCamera.xml” do MicMac (Figura 87).

⁶⁸ Número máximo de pontos no final da fusão dos mapas de profundidade.

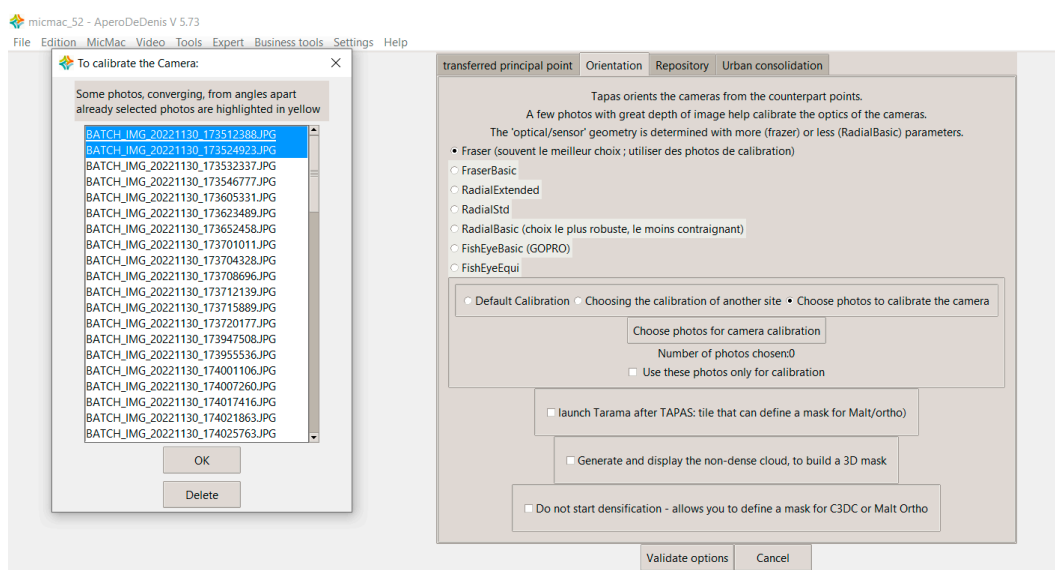
Figura 87 – Detalhe do arquivo “DicoCamera.xml” com a adição do sensor da câmera principal do Motorola Edge como dois sensores diferentes (orientações horizontal e vertical) no Microsoft Excel

Name	SzCaptMm	ShortName	DevRawBasic	E
GoProVideoLM	4.9 8.7	GoProVideoLM		
Apple iPhone 4	2.6 3.8	AppleI4		
Sony C6603	2.5 4.4	Sony XperiaZ 16.9		
SAMSUNG SM-N9005	3.52 4.59	Samsung Galaxy Note 3		
ASUS_Z00ED	3.52 4.69	Asus Zenfone 2 Laser		
LG-H815	3.35 5.95	LG G4 Europe		
Loemi	50 30	Loemi		
CamLightLOEMI	32.7 24.5	CamLightLOEMI		
Phase One P 20	36.9 36.9	Ph1p20		
IQ180	53.7 40.4	IQ180		
motorola edge 20	8.4 6.3	motorola edge 20 hor		
motorola edge 20	6.3 8.4	motorola edge 20 ver		

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

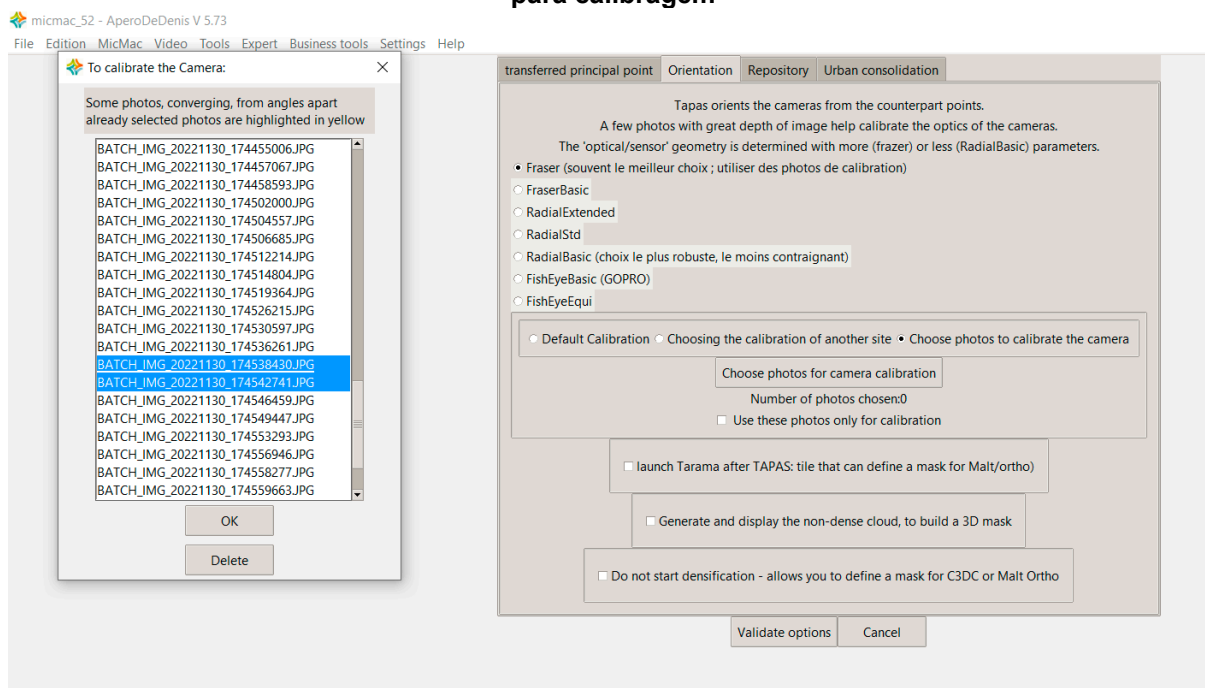
Após a inserção das “duas” câmeras no arquivo “DicoCamera.xml”, da importação das imagens e do início da reconstrução, o MicMac retornou mensagem pedindo a calibragem. Na opção de Menu “MicMac/Options”, aba “Orientation/Choose photos to calibrate the camera”, foram escolhidas quatro imagens, duas de cada “câmera” (Figura 88 e Figura 89).

Figura 88 – Detalhe da interface do MicMac com a janela de seleção de imagens verticais para calibragem



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 89 – Detalhe da interface do MicMac com a janela de seleção de imagens horizontais para calibragem



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Após o início da reconstrução, o programa retornou uma mensagem de erro (Figura 90).

Figura 90 – Mensagem de erro no MicMac

Line length too long: too many files or too long path. See the trace.

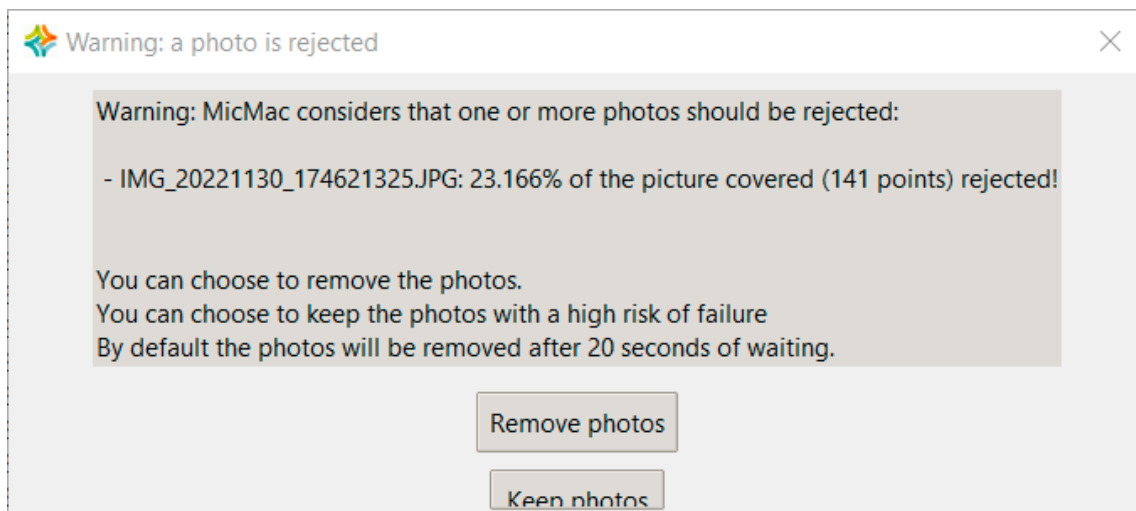
Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Entendendo que poderia existir um problema com o número de imagens a ser processado pelo programa, manteve-se o uso de uma definição de câmera para cada orientação de imagem e resolveu-se diminuir o número de imagens a serem processadas. Fotografias que continham conteúdo semelhantes foram sendo retiradas do conjunto de imagens.

O primeiro conjunto foi reduzido para 104 imagens, mas o MicMac apresentou o mesmo erro anterior (Figura 90). Uma tentativa com 96 imagens também apresentou este erro, até que um conjunto com 85 imagens, com uma imagem

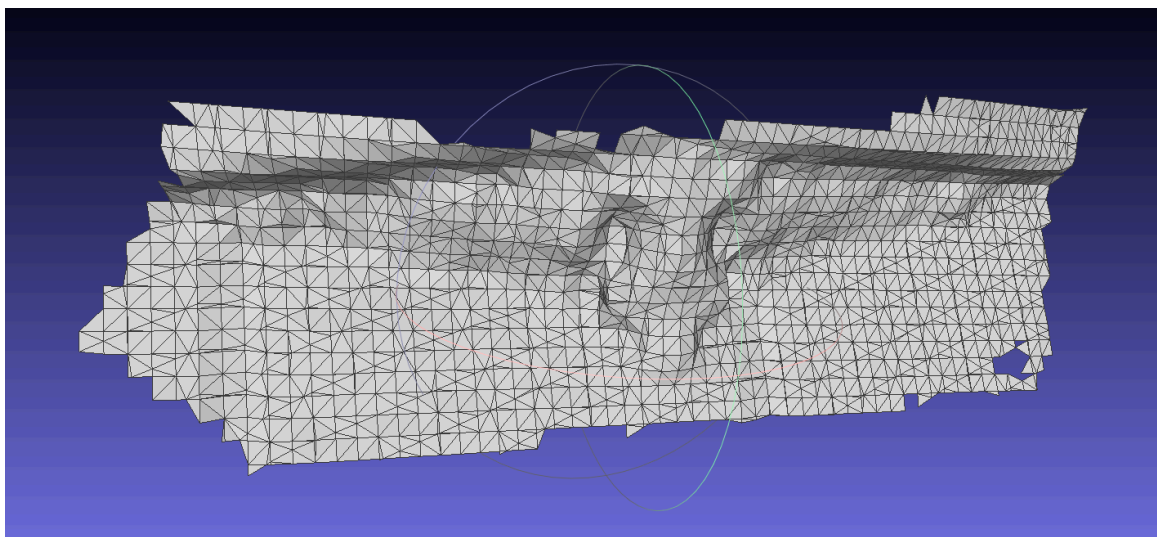
rejeitada pelo programa (Figura 91), resultou em um modelo, mas, novamente, sem condições de uso para a réplica do ornato (Figura 92).

Figura 91 – Mensagem do MicMac indicando a remoção de uma imagem



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 92 – Visualização da malha triangular criada pelo MicMac no Meshlab



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Apesar desta tentativa indicar uma possibilidade de divisão das imagens coletadas em grupos para geração, não da malha poligonal no programa, mas sim de nuvens de pontos que poderiam ser reunidas em outro programa, ou até mesmo no MicMac, para obtenção, aí sim, da malha poligonal do ornato, tal possibilidade

não foi levada adiante em virtude da evidente deficiência do programa em lidar com as imagens obtidas pelo *smartphone* usado no estudo.

A pesquisa por uma solução para reconstrução dos ornatos no **MVE** descobriu que, na verdade, a interface gráfica (UMVE) serve somente para inspeção dos resultados obtidos, conforme descrito por Fuhrmann (2019). Essa má interpretação da função da interface gráfica do programa ocorreu por conta da apresentação do UMVE realizada por Fuhrmann, Langguth e Goesele (2014), que não explicita esta limitação. Resta a dúvida se a aba “SfM Reconstruct”, desde o momento de lançamento do programa, existiu em alguma versão da interface gráfica, conforme demonstrado em seu artigo de apresentação (FUHRMANN; LANGGUTH; GOESELE, 2014).

Optou-se, então, pelo uso da interface gráfica para criação da “Scene”, o primeiro passo do processo de reconstrução no MVE; as imagens foram importadas pelo UMVE e o arquivo do projeto foi salvo. A partir deste ponto foi usado o *prompt* de comando do Windows® para continuação do processo de reconstrução dos ornatos.

Os comandos usados foram os apresentados como típicos do processo de reconstrução (FUHRMANN, 2022), à exceção do primeiro, realizado pela interface gráfica:

- \$ makescene -i <image-dir> <scene-dir>
- \$ sfmrecon <scene-dir>
- \$ dmrecon -s2 <scene-dir>
- \$ scene2pset -F2 <scene-dir> <scene-dir>/pset-L2.ply
- \$ fssrecon <scene-dir>/pset-L2.ply <scene-dir>/surface-L2.ply
- \$ meshclean -t10 <scene-dir>/surface-L2.ply <scene-dir>/surface-L2-clean.ply

O “makescene” converte as imagens fornecidas na *scene* do MVE. O “sfmrecon” faz a reconstrução por *Structure from Motion* e o “dmrecon” reconstrói um *depth map* para cada imagem por *Multi-View Stereo*. O “scene2pset” cria a nuvem densa de pontos e o “fssrecon” a malha triangular. Por fim, o “meshclean” limpa esta malha (FUHRMANN, 2022).

Os termos entre os sinais de menor e maior correspondem aos nomes dos diretórios, também conhecidos como pastas, onde serão salvos os arquivos e os nomes dos arquivos são os termos com a extensão “.ply” ao final. Assim, no exemplo da linha de comando “\$ fssrecon”, o arquivo “pset-L2.ply”, a nuvem densa de pontos gerada pelo comando anterior, será usado para gerar a malha triangular, nomeada como “surface-L2.ply” no exemplo. Conseqüentemente, o arquivo “surface-L2.ply” será limpo na etapa seguinte, resultando no arquivo “surface-L2-clean.ply”, a malha triangular final neste processo. Usando tais comandos, o processo de reconstrução tridimensional dos dois ornatos com os conjuntos de imagens definitivos foi bem-sucedido.

O aplicativo **Polycam**, após carregadas as imagens no *site* que a companhia disponibiliza para o uso de imagens previamente obtidas e definido o nível de detalhamento (Figura 93 e Figura 94), gerou modelos para *download* de ambos ornatos (Figura 95).

Figura 93 – Página de carregamento de imagens previamente obtidas no Polycam

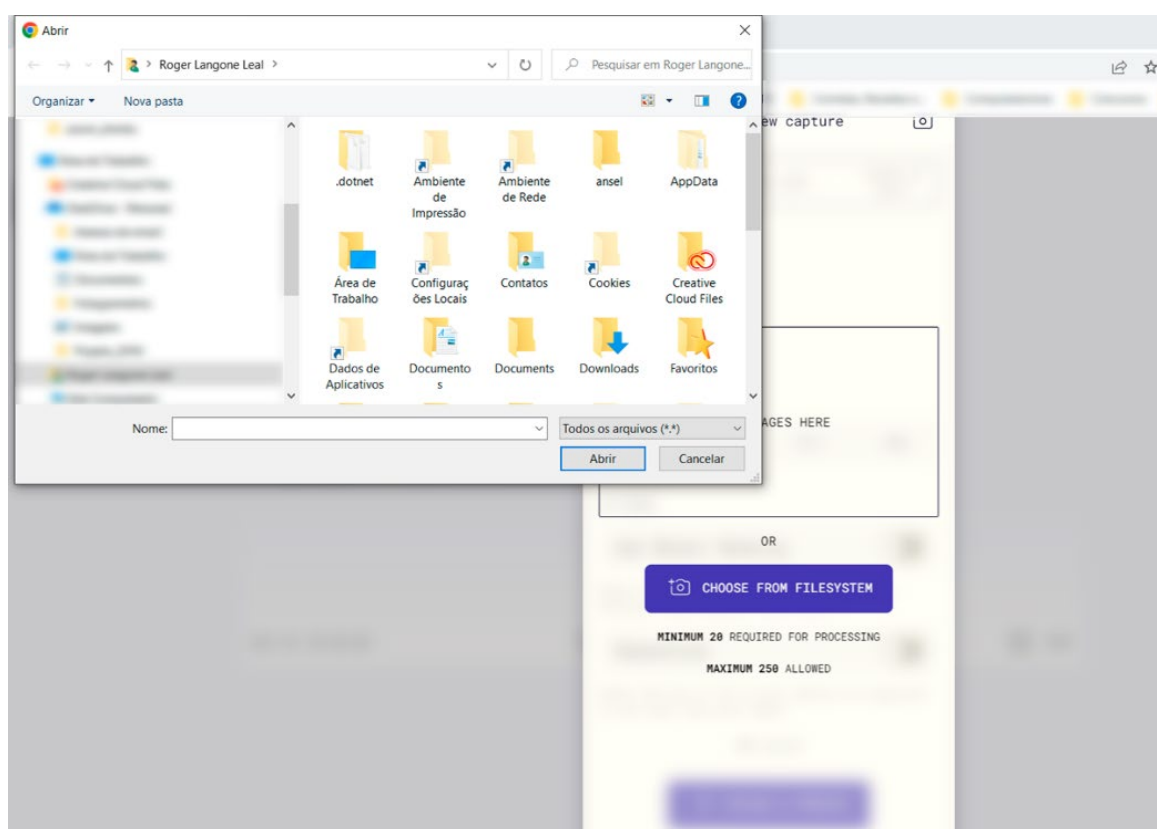
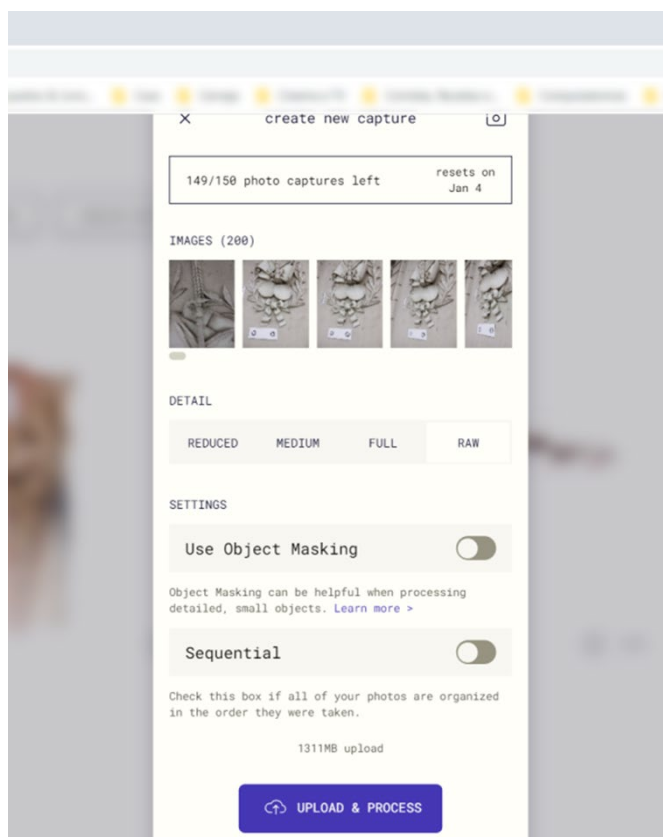
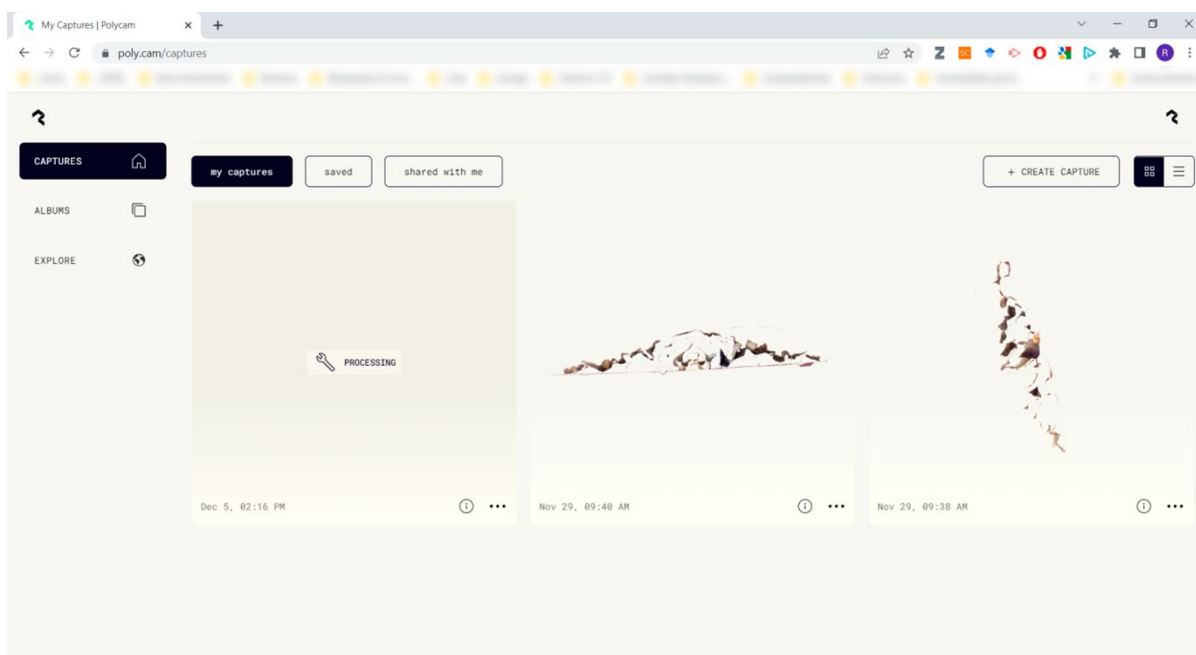


Figura 94 – Página para definição do nível de detalhamento do resultado desejado no Polycam



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 95 – Página com os modelos gerados pelo Polycam

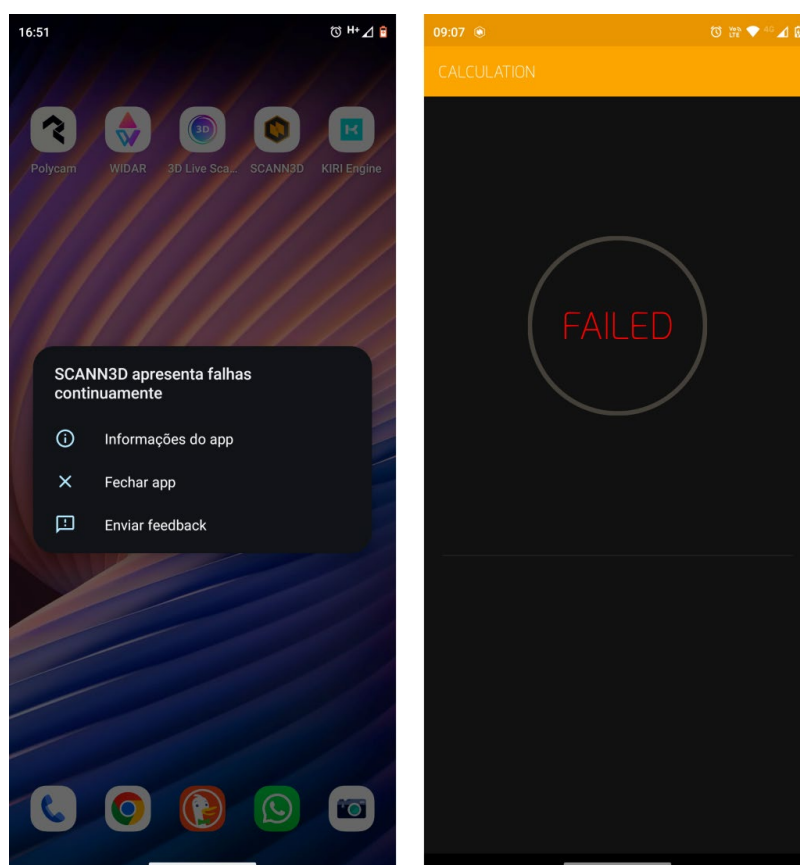


Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Quando se opta pelo uso de imagens previamente obtidas no **Scann3D**, é preciso escolher o modelo do dispositivo usado em uma lista, da qual não constava o Motorola Edge 20 à época do teste. Assim, foi selecionado um aparelho qualquer para verificar, inicialmente, a possibilidade de uso do aplicativo. Foi preciso informar, também, qual a distância focal da lente em píxeis.

Foram realizadas três tentativas de reconstrução tridimensional do ornato do Museu do Doce com 137 imagens, sem sucesso. O aplicativo encerrava abruptamente ou apresentava mensagem de erro (Figura 96). Para verificar se o problema era devido ao aparelho usado, foram realizadas mais quatro tentativas com o ornato do Museu do Doce e três com o ornato do MALG (200 imagens), em um Samsung S20 FE⁶⁹, também sem sucesso.

Figura 96 – Capturas de tela mostrando o encerramento abrupto do aplicativo (à esquerda) e mensagem de erro (à direita) na tentativa de reconstrução tridimensional



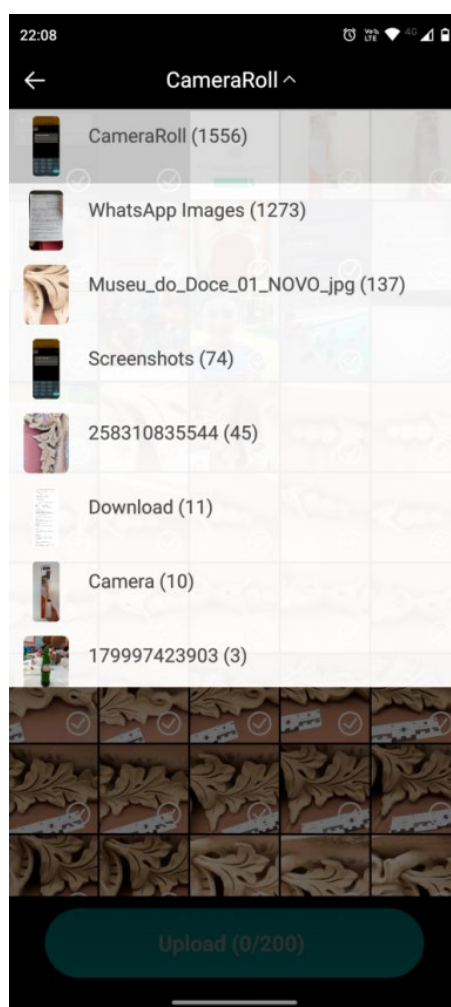
Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁶⁹ O Samsung S20 FE usado tem processador Octa Core, com velocidades de 2.73GHz, 2.5GHz e 2GHz, memória RAM de 6 GB, armazenamento de 128 GB e GPU Mali-G77 MP11, enquanto o Motorola Edge 20 tem processador Octa-Core, com velocidades de 2.2 GHz, 1.9 GHz e 2,4 GHz, memória RAM de 8 GB + RAM Boost, armazenamento de 128 GB e GPU Adreno 642L.

Embora não se possa afirmar que a funcionalidade de usar imagens previamente tiradas não funciona a partir da experiência relatada, situação semelhante é relatada por Lievendag (2018). O Scann3D, ao contrário dos demais aplicativos para *smartphones* usados no estudo, faz o processamento das imagens no próprio dispositivo, o que pode estar relacionado a este resultado.

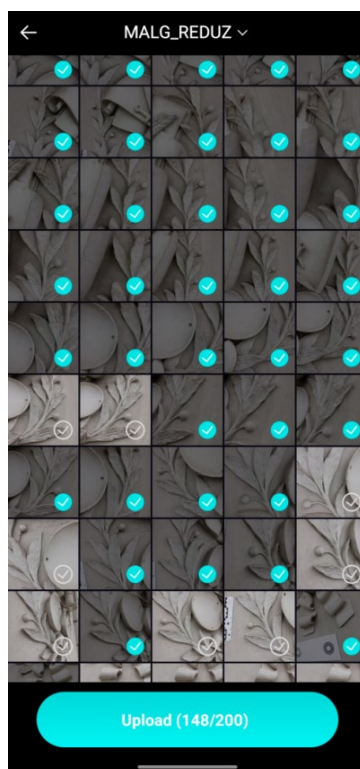
O **Kiri Engine** carrega as imagens no próprio aplicativo (Figura 97) e, após a sua seleção (Figura 98), foi necessário escolher as definições de processamento adequadas para realização do *upload* delas (Figura 99). Após o processamento, foi gerado um arquivo para *download* (o *link* do arquivo é enviado por e-mail). O aplicativo gerou modelos para os dois ornatos. Entretanto, para o ornato do MALG, só foi possível carregar 199 imagens, ao invés das 200 supostamente permitidas.

Figura 97 – Tela de escolha do diretório para carregamento de imagens previamente obtidas



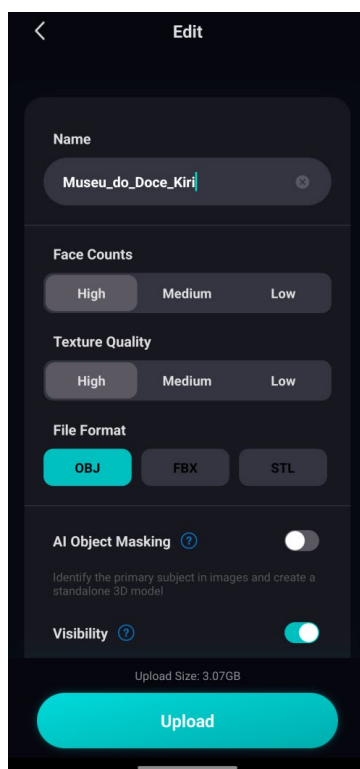
Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 98 – Tela de seleção de imagens previamente obtidas



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 99 – Tela com as definições para processamento do modelo



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Dentre os programas utilizados, somente o **MicMac**⁷⁰ não conseguiu produzir modelos a partir dos conjuntos de imagens obtidos para o estudo. E dentre os aplicativos, somente o **Scann3D** não produziu uma malha poligonal ao final do processo.

Como os programas foram usados em suas configurações padrão, os modelos dos ornatos foram obtidos nas extensões definidas pelos programas nestas condições. No **Meshroom**, o arquivo é disponibilizado na extensão “.obj”; no **Colmap** e no **Multi-View Environment**, ele é disponibilizado em “.ply”; no **Regard3D**, é possível exportar o resultado nestas duas extensões. Dentre as opções de exportação nos aplicativos **Polycam** e **Kiri Engine** foi escolhida a extensão “.obj”.

Devido ao uso das configurações padrão, o resultado obtido com os programas e aplicativos é uma malha poligonal texturizada, sendo a textura dos ornatos desnecessária para o objetivo do trabalho, relacionado ao aspecto volumétrico dos modelos. Assim, nas etapas relativas à produção das réplicas, foram usados somente os arquivos relativos às malhas triangulares (quando a textura era armazenada em outro arquivo).

O tempo de reconstrução dos ornatos pelos programas fotogramétricos foi medido pela cronometragem do tempo e pelos *logs*⁷¹ fornecidos pelos programas (quando fornecidos e quando informavam o tempo decorrido nas diversas etapas do processo). Tal processo foi aproximado, pois nem todos os programas disponibilizam *logs* com o tempo total de reconstrução (ou, ao menos, de cada etapa). O tempo para importação das imagens não foi considerado, pois os programas apresentam processos diferentes para estabelecimento de um arquivo inicial de trabalho. O tempo foi medido a partir do processo de reconstrução com os parâmetros de configuração apresentados como padrão pelos programas.

Pretendia-se cronometrar o tempo de reconstrução dos dois ornatos em todos os programas, para verificação de eventuais variações no tempo entre uma reconstrução e outra. Entretanto, a reconstrução do ornato do Museu do Doce em todos os programas, realizada por três vezes em cada um deles, aconteceu em tempos muito próximos, levando a compreensão que, para um mesmo conjunto de

⁷⁰ No sentido de produzir a partir da inserção de todas as imagens selecionadas para a digitalização em um só processo fotogramétrico.

⁷¹ *Logs* são arquivos gerados por programas, contendo informações sobre as suas atividades de uso.

imagens, a variação de tempo na reconstrução era irrelevante. A medição do tempo de reconstrução nos diferentes programas foi realizada sob as mesmas condições de *hardware* (mesmo *notebook* e mesma quantidade de memória RAM).

Como os aplicativos **Polycam** e **Kiri Engine** não processam os modelos no *smartphone*, não há como medir diretamente o tempo de processamento. Entretanto, após o *upload* das imagens, o **Polycam** disponibilizou os arquivos em 61 min (MALG) e 68 min (Museu do Doce) e o **Kiri Engine** em 61 min (MALG) e 31 min (Museu do Doce).

As tabelas Tabela 1 e Tabela 2 mostram os dados dos modelos digitais tridimensionais dos ornatos.

Tabela 1 – Dados dos modelos do Museu do Doce

Programas e aplicativos	Tempo médio de processamento ⁷²	Tamanho do arquivo	Número de imagens aproveitadas	Vértices	Faces	Extensão
Meshroom	154 min	195.640 KB (obj)	137/137	2.462.203	4.903.706	obj, mtl e png
		2 KB (mtl)				
		13.324 KB (png)				
		10.456 KB (png)				
		9.786 KB (png)				
		9.516 KB (png)				
		8.191 KB (png)				
		9.869 KB (png)				
		11.608 KB (png)				
		13.224 KB (png)				
1.677 KB (png)						
Regard3D	45 min	21.405 KB	121/137	138.551	276.676	ply
COLMAP	198 min	940.781 KB	135/137	21.423.302	42.793.453	ply
Multi-View Environment	150 min	134.211 KB	137/137	2.822.859	5.577.310	ply
Polycam	68 min	145.341 KB (obj)	–	516.358	910.573	obj, mtl e jpg
		1 KB (mtl)				
		8.073 (jpg)				
		8.041 (jpg)				
Kiri Engine	31 min	213.065 KB (obj)	–	1.019.348	2.038.264	obj, mtl e jpg
		1 KB (mtl)				
		2.388 KB (jpg)				

⁷² Tempo médio a partir de três reconstruções.

Tabela 2 – Dados dos modelos do MALG

Programas e aplicativos	Tempo de processamento	Tamanho do arquivo	Número de imagens aproveitadas	Vértices	Faces	Extensão
Meshroom	571 min	373.314 KB (obj)	200/200	2.487.402	4.961.911	obj, mtl e png
		2 KB (mtl)				
		10.021 KB (png)				
		10.265 KB (png)				
		9.798 KB (png)				
		8.657 KB (png)				
		8.947 KB (png)				
		8.930 KB (png)				
		8.902 KB (png)				
		9.651 KB (png)				
		10.878 KB (png)				
12.951 KB (png)						
8.615 KB (png)						
Regard3D	55 min	43.668 KB	196/200	278.368	556.079	ply
COLMAP	297 min	696.967 KB	200/200	15.871.597	31.702.254	ply
Multi-View Environment	492 min	220.852 KB	200/200	4.642.617	9.182.442	ply
Polycam	61 min	155.261 KB (obj)	–	561.109	964.342	obj, mtl e jpg
		1 KB (mtl)				
		8.642 (jpg)				
		8.543 (jpg)				
Kiri Engine	61 min	382.757 KB (obj)	–	1.772.649	3.544.931	obj, mtl e jpg
		1 KB (mtl)				
		2.240 KB (jpg)				

Relacionando-se o tempo de processamento com o número de vértices gerados, nas configurações padrão dos programas, à exceção dos aplicativos, para os quais não se tem informação sobre as condições de processamento, não foi possível estabelecer uma relação, tendo em vista que, apesar da Tabela 3, relativa ao ornato do Museu do Doce, mostrar que a obtenção de modelos com maior número de vértices demandou tempos maiores de processamento, a Tabela 4, relativa ao ornato do MALG, não mostrou esta condição.

Tabela 3 – Museu do Doce – Número de vértices do modelo x tempo de processamento

Programas e aplicativos	Tempo médio de processamento	Vértices
COLMAP	198 min	21.423.302
Multi-View Environment	150 min	2.822.859
Meshroom	154 min	2.462.203
Regard3D	45 min	138.551

Tabela 4 – MALG – Número de vértices do modelo x tempo de processamento

Programas e aplicativos	Tempo de processamento	Vértices
COLMAP	297 min	15.871.597
Multi-View Environment	492 min	4.642.617
Meshroom	571 min	2.487.402
Regard3D	55 min	278.368

4.3. AVALIAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS

Para a comparação entre os modelos fotogramétricos e os de referência, as malhas triangulares destes modelos foram tratadas, com buracos menores que 30 mm sendo automaticamente fechados para as malhas produzidas por ambas tecnologias. As demais áreas não reconstruídas foram deixadas conforme apresentadas pelos programas e aplicativos fotogramétricos. Foram, ainda, eliminadas as porções excedentes das malhas ao redor dos ornatos.

Os modelos tridimensionais (por fotogrametria e por luz estruturada) foram carregados no programa CloudCompare para comparação pelo método de análise de desvio (*Deviation Analysis*). Da sobreposição entre os modelos resultou um desvio, observado pelo parâmetro de desvio quadrático médio (RMS).

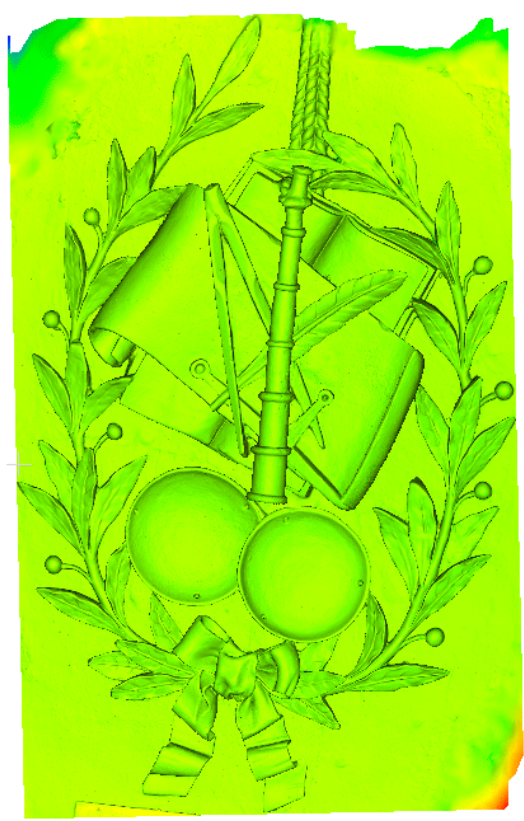
O RMS denota a discrepância dimensional do modelo obtido por fotogrametria em relação ao modelo tridimensional de referência digitalizado por luz estruturada. As regiões da peça, indicadas em cinza, são áreas nas quais o programa não conseguiu identificar pontos de referência para medição, resultando na ausência de desvios aparentes. Quanto mais predominante for a cor verde no modelo, mais próximo ele está do modelo de referência. As áreas em vermelho estão localizadas

em regiões externas ao modelo de referência, enquanto as em azul estão localizadas em regiões internas. As tabelas Tabela 5 e Tabela 6 mostram o RMS dos modelos dos ornatos em relação ao modelo de referência.

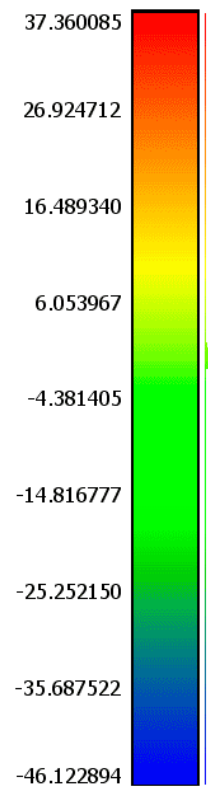
Tabela 5 – RMS dos modelos do MALG em relação à referência

Programa	Scalar field	RMS
Colmap		0,535766 mm
Meshroom		0,60463 mm

Kiri

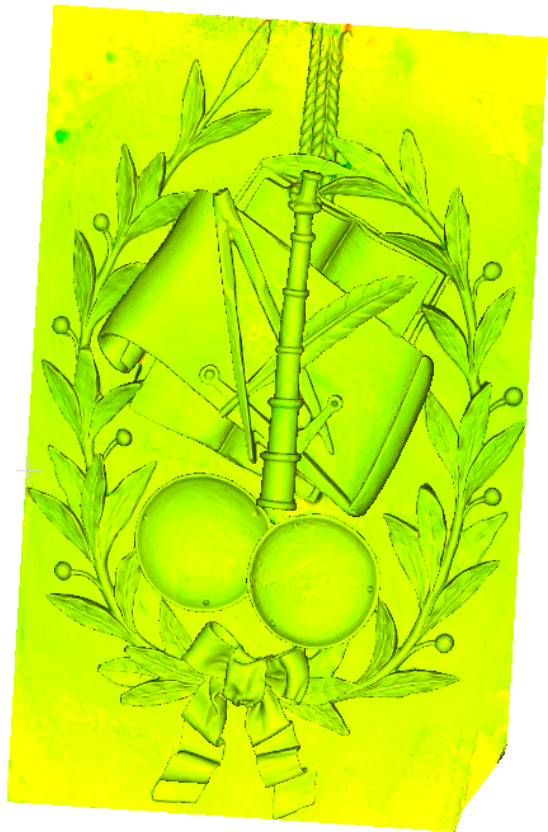


C2M signed distances[<50]

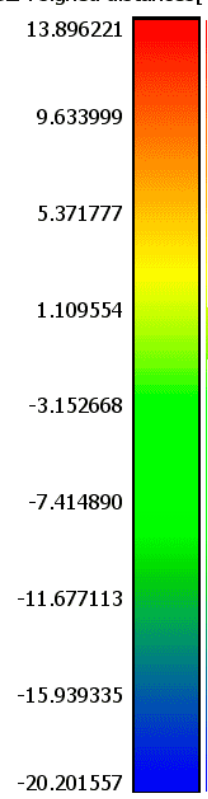


0,74724 mm

Polycam

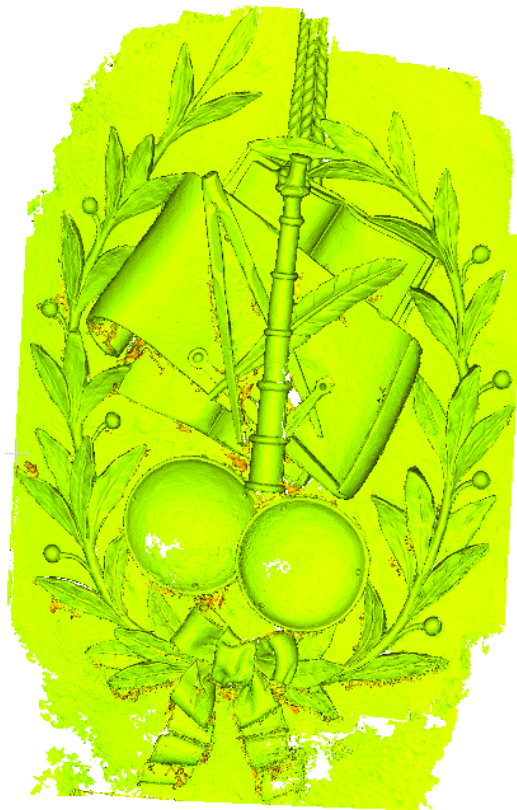


C2M signed distances[<50]

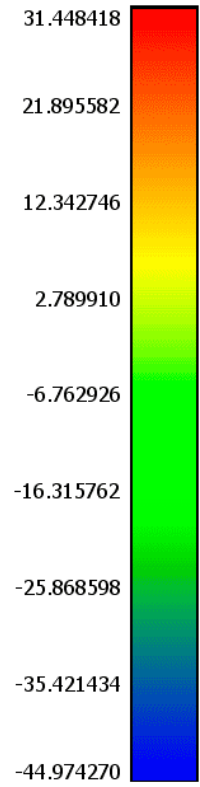


0,760198 mm

MVE

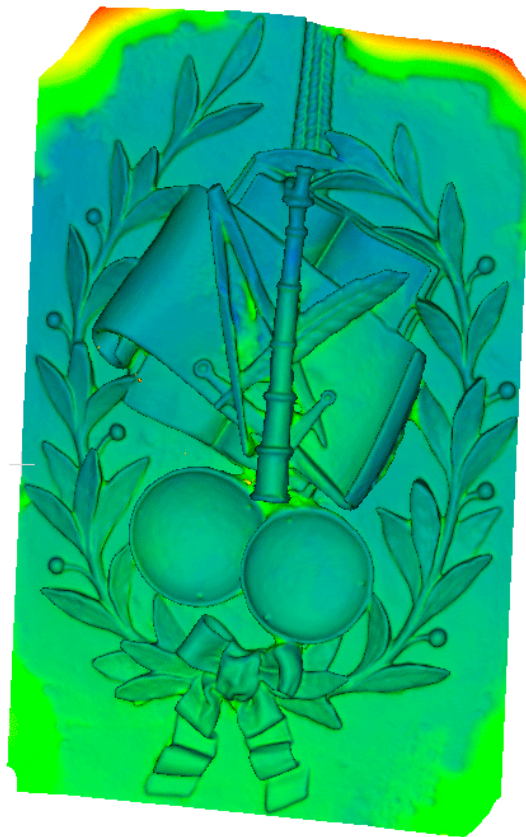


C2M signed distances[<50]

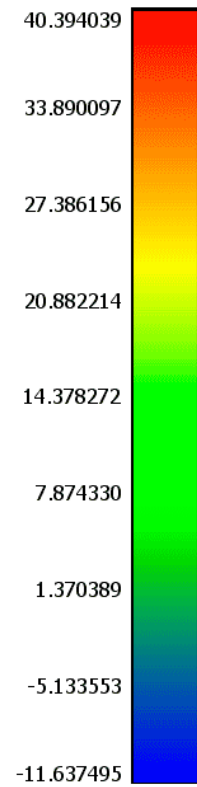


1,41661 mm

Regard3D

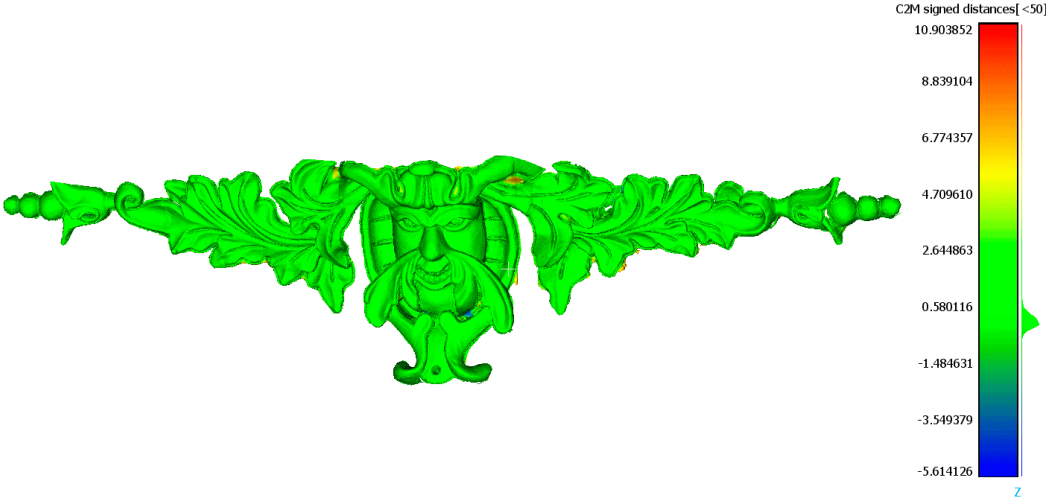



C2M signed distances[<50]



2,60082 mm

Tabela 6 – RMS dos modelos do Museu do Doce em relação à referência

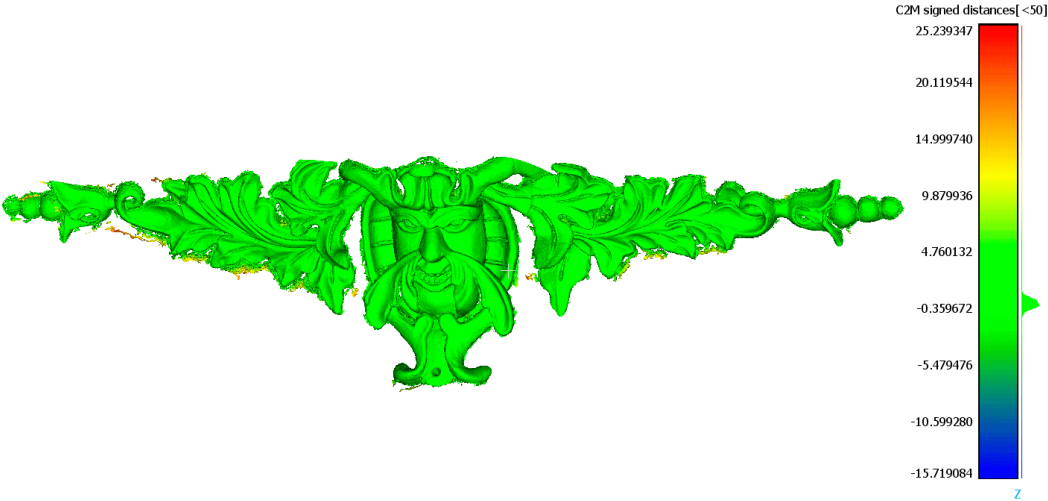
Programa	Scalar field	RMS
Colmap	 <p>C2M signed distances[<50]</p> <p>10.903852 8.839104 6.774357 4.709610 2.644863 0.580116 -1.484631 -3.549379 -5.614126</p> <p>Z</p>	0,511269 mm
Meshroom	 <p>C2M signed distances[<50]</p> <p>50.000000 41.986342 33.972684 25.959026 17.945368 9.931710 1.918052 -6.095605 -14.109263</p> <p>Z</p>	0,915063 mm

Kiri



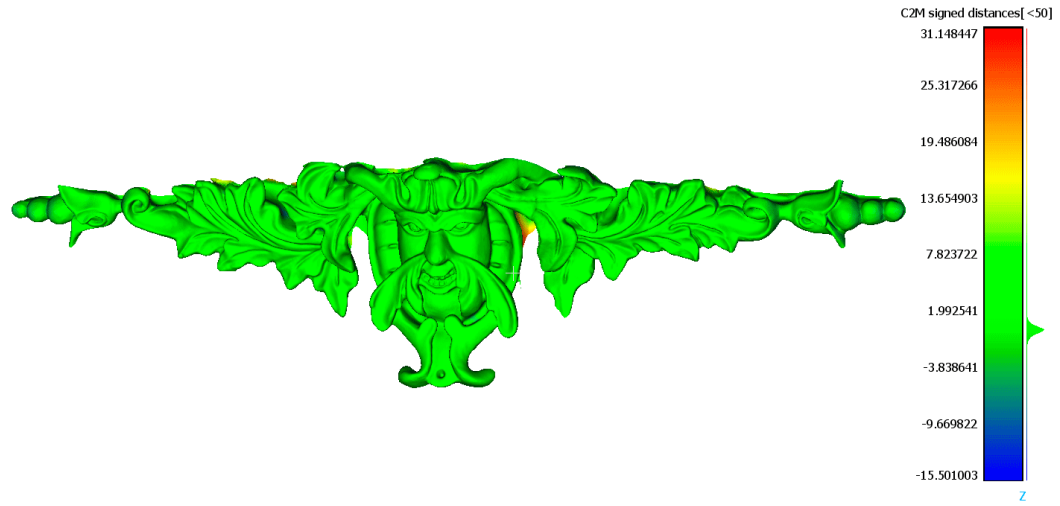
1,02242 mm

MVE

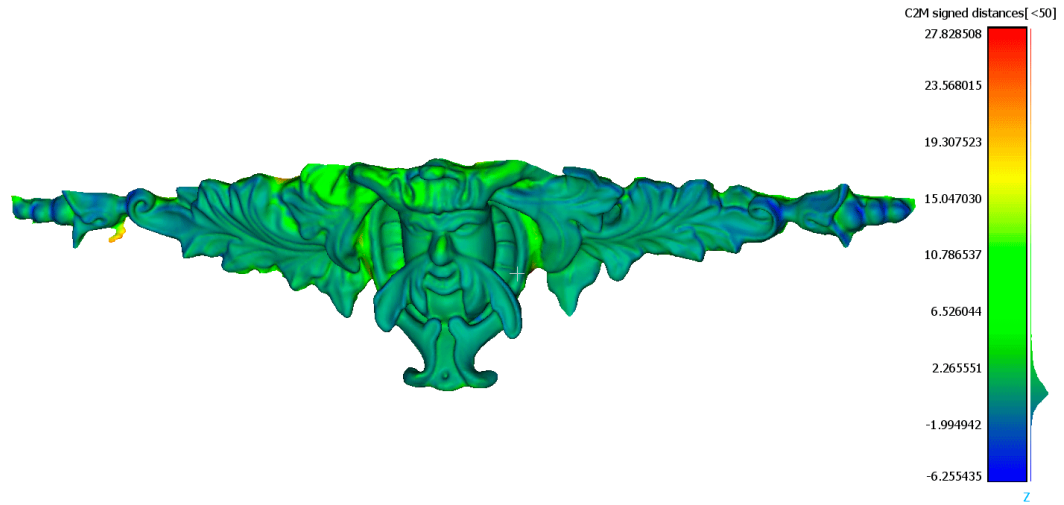


1,5833 mm

Polycam



Regard3D



Ao relacionar-se o número de vértices dos modelos com o resultado de RMS também não foi possível estabelecer uma relação (Tabela 7 e Tabela 8).

Tabela 7 – Museu do Doce – Número de vértices do modelo x RMS

Programas e aplicativos	RMS	Vértices
COLMAP	0,511269 mm	21.423.302
Multi-View Environment	1,5833 mm	2.822.859
Meshroom	0,915063 mm	2.462.203
Kiri Engine	1,02242 mm	1.019.348
Polycam	2,38053 mm	516.358
Regard3D	3,45184 mm	138.551

Tabela 8 – MALG – Número de vértices do modelo x RMS

Programas e aplicativos	RMS	Vértices
COLMAP	0,535766 mm	15.871.597
Multi-View Environment	1,41661 mm	4.642.617
Meshroom	0,60463 mm	2.487.402
Kiri Engine	0,74724 mm	1.772.649
Polycam	0,760198 mm	561.109
Regard3D	2,60082 mm	278.368

O uso de marcas fiduciais neste trabalho tinha, inicialmente, outro fim. Entretanto, o desenvolvimento do projeto levou à possibilidade de uso das CCTags pelo programa Meshroom como uma maneira de verificar se o seu uso, que possibilita a obtenção de escala do objeto reconstruído digitalmente, algo que a fotogrametria por si só não consegue, produziria melhores resultados quando comparados às reconstruções feitas com luz estruturada.

Assim, foram utilizadas duas marcas do tipo CCTags geradas e disponibilizadas pela *wiki*⁷³ do programa Meshroom. As 32 marcas disponibilizadas são identificadas por números de 0 a 31, sendo que foram utilizadas as de ID 0 e 1, com 5 cm de raio e dispostas com 20 cm de distância entre seus centros em uma folha de papel (Figura 100), impressas em impressora a laser e coladas sobre um papelão para fixação na parede dos imóveis com os ornatos escolhidos.

Figura 100 – CCTags impressas



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A documentação sobre o uso de CCTags⁷⁴ apresenta um valor aproximado de 30 píxeis como o mínimo para reconhecimento pelos programas, sendo que no teste realizado na segunda coleta, as marcas ficaram com, aproximadamente, 300 píxeis de raio, tornando possível o seu reconhecimento.

Entretanto, o modelo do Museu do Doce reconstruído no Meshroom com o reconhecimento das CCTags teve uma RMS de 1,29316 mm, resultado pior do que o do modelo sem o uso das marcas fiduciais, enquanto o do MALG foi de 0,601129 mm, resultado bastante próximo ao obtido sem o uso das marcas. Assim sendo, tal modelo não foi usado nas etapas posteriores do projeto.

À exceção do Polycam e do MVE, que se alternaram no quarto e quinto lugares, os programas e os aplicativos usados no estudo mantiveram as mesmas posições em relação ao modelo de referência na reconstrução dos dois ornatos (Tabela 9).

⁷³ Disponível em: <<https://github.com/alicevision/meshroom/files/5588334/cctag3-id-cross.zip>>. Acesso em: 2 out. 2022.

⁷⁴ Disponível em: <<https://cctag.readthedocs.io/en/latest/markers/markers.html>>. Acesso em: 2 out. 2022.

Tabela 9 – RMS dos modelos do Museu do Doce e do MALG em relação à referência ordenados em ordem crescente

MALG		Museu do Doce	
Programas e aplicativos	RMS		Programas e aplicativos
Colmap	0,535766 mm	0,511269 mm	Colmap
Meshroom	0,60463 mm	0,915063 mm	Meshroom
Kiri	0,74724 mm	1,02242 mm	Kiri
Polycam	0,760198 mm	1,5833 mm	MVE
MVE	1,41661 mm	2,38053 mm	Polycam
Regard3D	2,60082 mm	3,45184 mm	Regard3D

4.4. PRODUÇÃO DAS RÉPLICAS

A produção das réplicas dos ornatos teve início após a seleção dos modelos digitais que apresentaram melhores condições para sua confecção. Tais condições foram estabelecidas pelos valores da raiz quadrática média (RMS) obtidos pelos modelos em relação aos digitalizados com luz estruturada e, também, por avaliação visual destes modelos, considerando a necessidade de pós-processamento para preenchimento de porções não reconstruídas pelos programas e aplicativos.

4.4.1. Escolha segmentos dos ornatos para produção de réplicas

Foram escolhidos segmentos dos ornatos digitalmente reconstruídos para a produção das réplicas, tendo em vista que as suas reproduções por completo seriam inviáveis dentro do contexto deste trabalho em virtude dos custos envolvidos. O segmento escolhido do ornato do MALG foi um detalhe dos ramos localizados nas laterais da peça (Figura 101) e o do ornato do Museu do Doce foi uma folha de acanto (Figura 102).

Figura 101 – Segmento do ornato do MALG escolhido para réplica



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 102 – Segmento do ornato do Museu do Doce escolhido para réplica



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A escolha de tais segmentos deu-se tendo em vista a obtenção de uma peça mais simples de replicação (MALG), quase um alto relevo somente, e uma mais complexa (Museu do Doce), com reentrâncias mais acentuadas.

Como visto nas tabelas Tabela 5 e Tabela 6, os modelos do **Colmap** e do **Meshroom** foram os que ficaram mais próximos dos modelos obtidos por luz estruturada, com o do **Kiri Engine** ficando em terceiro. Entretanto, o modelo do Kiri apresentou uma menor necessidade de pós-processamento digital, com menos áreas para reconstrução (Figura 103 e Figura 104). Assim sendo, os modelos gerados por ele foram escolhidos para produção de ambas as réplicas.

Figura 103 – De cima para baixo, detalhe dos modelos do ornato do MALG gerados pelo Colmap, Meshroom e Kiri Engine

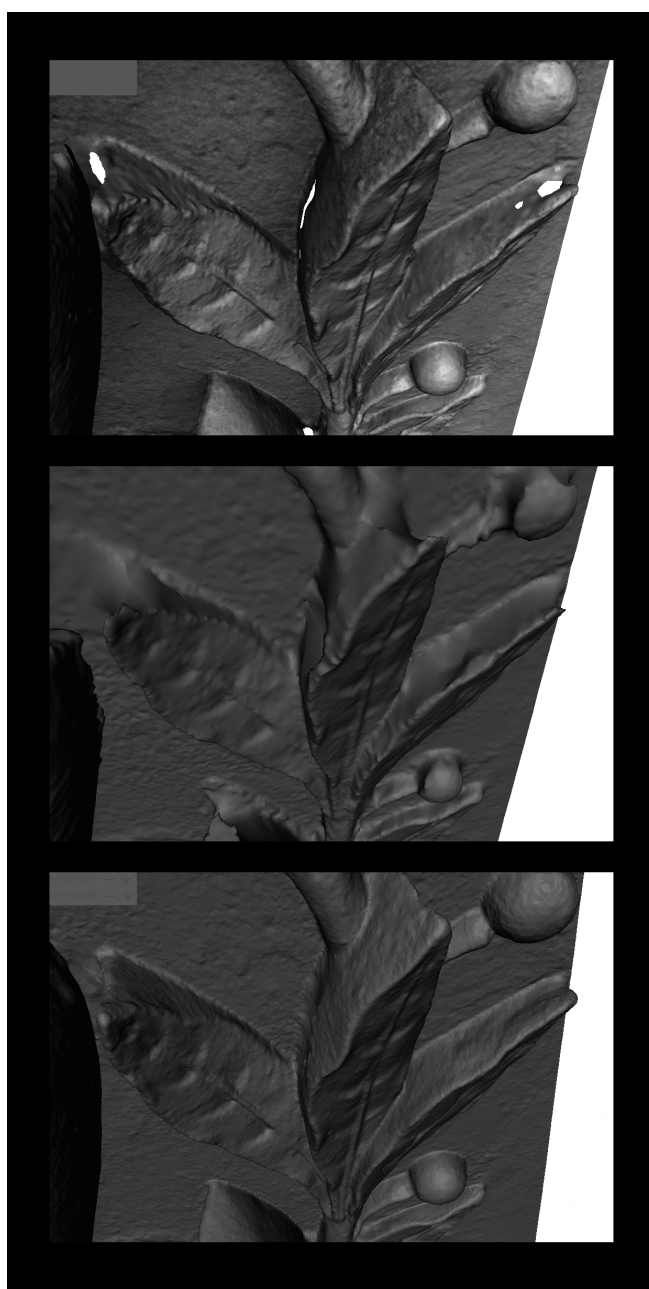


Figura 104 – De cima para baixo, detalhe dos modelos do ornato do Museu do Doce gerados pelo Colmap, Meshroom e Kiri Engine



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O tamanho dos segmentos foi escolhido em função do volume de impressão das impressoras utilizadas neste trabalho, permitindo que eles fossem impressos sem ou com pouco suporte.

4.4.2. Produção de réplicas – impressão a partir dos modelos obtidos por luz estruturada

Os modelos obtidos pelo LDSM por digitalização por luz estruturada não sofreram nenhum tipo de decimação para impressão; foram somente seccionados segundo os segmentos escolhidos dos modelos obtidos por fotogrametria.

O tipo de filamento escolhido para impressão por **extrusão de material** foi o **PLA**, em virtude da sua facilidade de impressão, baixo custo e qualidade visual (PROTOLABS NETWORK, [202-]; STRATASYS, [202-]). A impressão foi realizada na **Sovol SV01 Pro**, com o PLA Premium Branco produzido pela 3DLab Soluções em impressão 3D, com custo de R\$ R\$99,89/Kg. As recomendações do fabricante para o seu uso são:

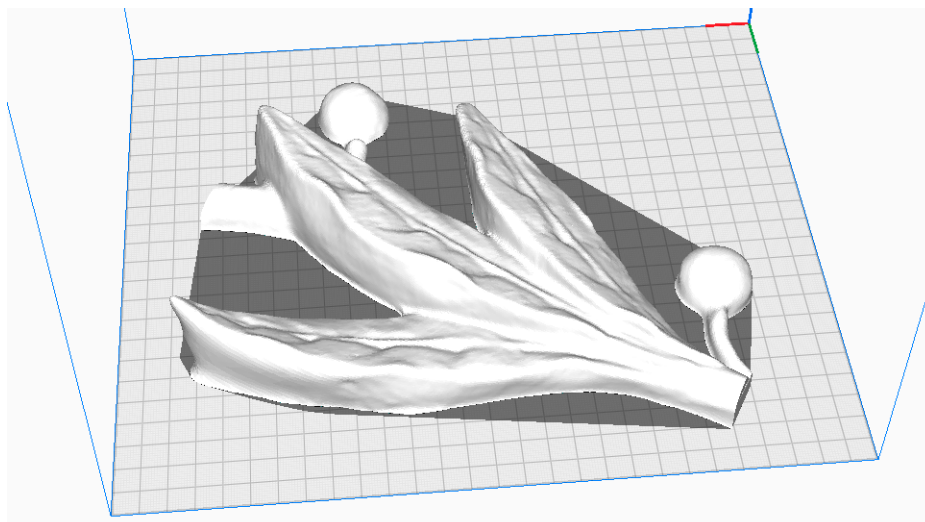
- temperatura de impressão: 215°C (190°C a 220°C);
- temperatura da plataforma: 60°C;
- velocidade de retração: +/-45 mm/s;
- velocidade da ventoinha: 100% (225 PWM)

O fatiamento foi realizado com as configurações⁷⁵ disponibilizadas pela Sovol para o uso de PLA, com camadas de 0,12 mm de espessura e 10% de preenchimento. Em relação às recomendações feitas pela 3DLab, fabricante do filamento usado, as definições fornecidas pela Sovol pouco mudam, com velocidade de retração de 40 mm/s e temperatura de impressão de 190°C, valores ainda dentro dos intervalos sugeridos pelo fabricante do filamento.

A orientação das peças na plataforma de impressão visou, principalmente, a impressão com pouco suporte e a minimização do efeito degrau. O segmento do ornato do MALG foi impresso sem suporte (Figura 105), enquanto o do Museu do Doce necessitou de suporte (Figura 106).

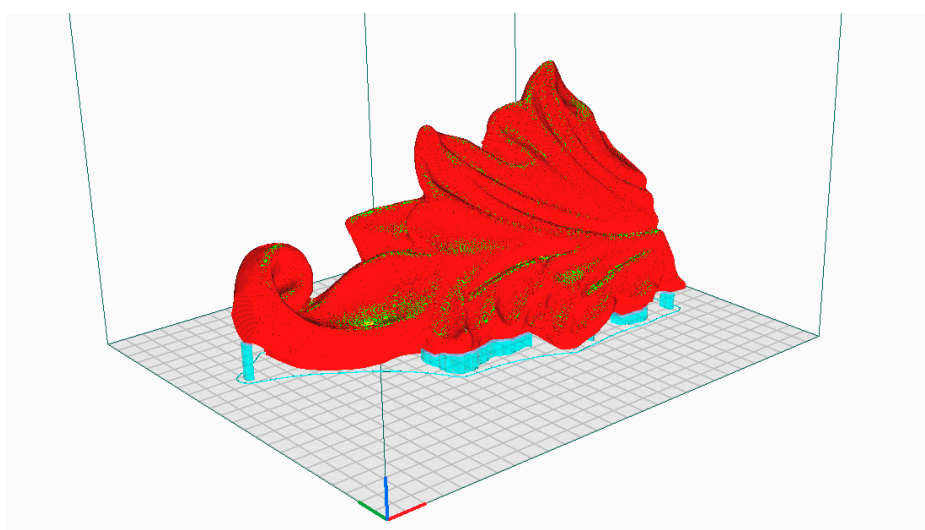
⁷⁵ Disponível em: <<https://drive.google.com/drive/folders/16RQWA0A3I4enRyWafValcSdlk6I2yNOA>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

Figura 105 – Modelo do MALG posicionado na plataforma do fatiador



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 106 – Modelo do Museu do Doce posicionado na plataforma do fatiador

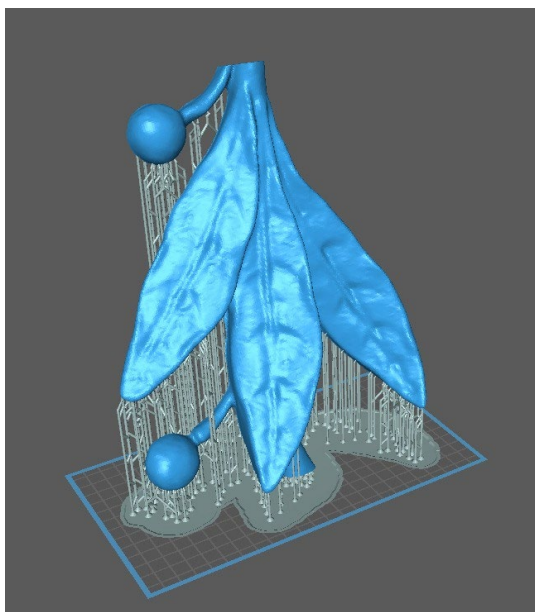


Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A impressão usando uma resina similar a ABS da marca Anycubic⁷⁶ na Elegoo Saturn 2, com camadas de 0,05 mm de espessura, teve tempo de impressão de aproximadamente 14 horas e custo de R\$ 320,00 para o modelo do MALG (Figura 107), e tempo de impressão de aproximadamente 14 horas e custo de R\$ 380,00 para a peça do Museu do Doce (Figura 108). Os valores foram calculados usando os custos educacionais praticado pelo LIFEE.

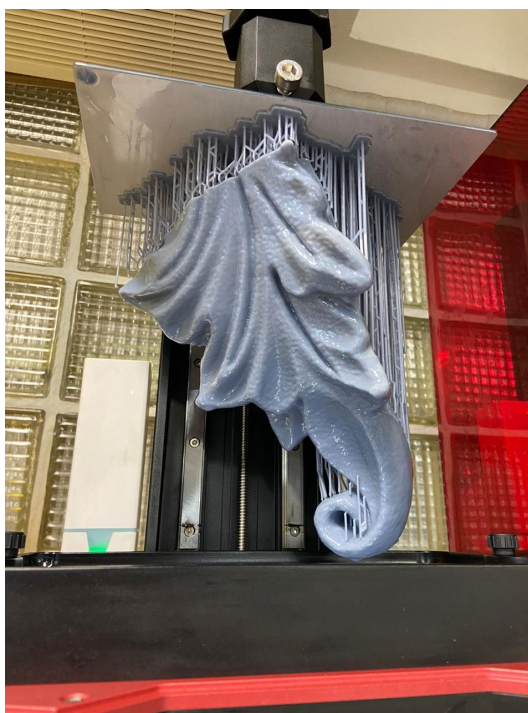
⁷⁶ A resina custa por volta de R\$300/Kg.

Figura 107 – Modelo do MALG com suportes na simulação do fatiador



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 108 – Modelo do Museu do Doce na impressora Elegoo Saturn 2



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A remoção dos suportes foi feita mecanicamente, antes do processo de cura da impressão, pelo LIFEE.

4.4.3. Produção de réplicas – preparação dos arquivos obtidos por fotogrametria para impressão por manufatura aditiva

Após a escolha dos segmentos dos ornatos, eles foram importados no programa **Blender**, sendo os modelos digitais seccionados e ajustados para impressão, com a delimitação de suas superfícies e eliminação de falhas e quebras (FOGGIATTO; SILVA, 2017), eliminando, também, as faces degeneradas e pontos flutuantes que alguns modelos apresentaram na sua geração.

4.4.4. Produção de réplicas – impressão direta de moldes com filamento flexível

A produção de réplicas foi iniciada com a tentativa de impressão de peças em material flexível para uso como moldes. Três filamentos foram usados: os Flex Preto (FLEX TPU) dureza *Shore* 98A e 65D produzido pela 3DLab Soluções em impressão 3D e o Flexível Preto (Cr-Tpu) dureza *Shore* 95A produzido pela Creality.

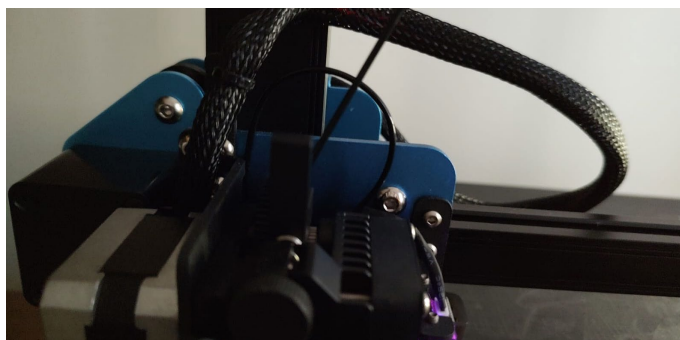
Foram seguidas as especificações do fabricante em relação à temperatura de impressão, temperatura da plataforma, velocidade da ventoinha e distância e velocidade de retração. Também foram testadas velocidades baixas de impressão, desligamento da retração do filamento e alturas baixas de camada.

Em todas as configurações, após alguns poucos minutos de impressão, ela ficava irregular (Figura 109), seguida de entupimento do bico extrusor. Outra ocorrência foi o não tracionamento correto do filamento (Figura 110).

Figura 109 – Impressão irregular em TPU

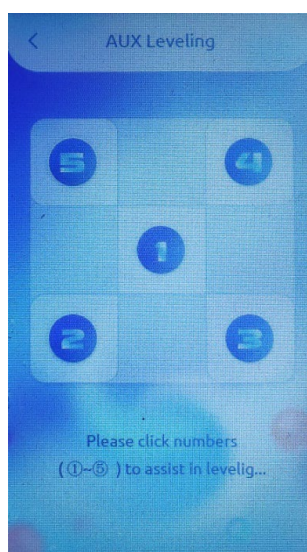


Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 110 – Extrusor com o filamento flexível não tracionado

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

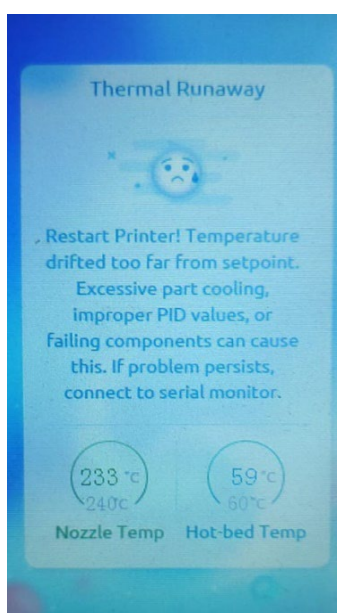
Em uma destas tentativas com problema no tracionamento do filamento procedeu-se uma pausa na impressão para recolocação do filamento e limpeza do bico. Neste momento, pareceu ocorrer um desalinhamento das camadas de impressão, mas decidiu-se por continuar a impressão. Após algumas horas a impressão foi interrompida, com o monitor sensível ao toque perguntado se deveria continuá-la. Foi dado o comando para continuação, observando-se que as temperaturas do bico e da plataforma estavam mais baixas do que o estabelecido para a impressão. Passada aproximadamente uma hora, o monitor apresentou uma tela de nivelamento manual, com os pontos da plataforma (Figura 111). Após o clique em um dos números, o monitor voltou à tela inicial da interface, ocasionando a interrupção da impressão.

Figura 111 – Tela de nivelamento da impressora Sovol SV01 Pro

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Após mais algumas horas de impressão, o monitor sensível ao toque (Figura 112) apresentou uma mensagem dizendo que a temperatura estava se desviando muito das configurações estabelecidas. Observou-se, também, devido a altura do cabeçote extrusor em relação à plataforma, que a impressora ficou algumas horas funcionando sem extrudar o filamento (Figura 113).

Figura 112 – Tela de alerta da impressora



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 113 – Cabeçote extrusor parado, sem as camadas de impressão esperadas entre ele e as últimas camadas impressas



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A partir deste ponto, em virtude da possibilidade de dano à impressora, decidiu-se pelo abandono das tentativas de impressão de moldes em filamento flexível.

4.4.5. Produção de réplicas – impressão das réplicas para moldagem por silicone

Os mesmos procedimentos usados para impressão dos modelos obtidos por luz estruturada em relação a preparação dos arquivos foram aqui adotados. Além disso, o mesmo filamento PLA usado na impressão do modelo obtido por luz estruturada foi usado aqui. A impressão da peça transcorreu sem problemas (Figura 114) até a sua finalização (Figura 115), mas a peça apresentou um número considerável de *strings*⁷⁷.

Figura 114 – Segmento do ornato do MALG sendo impresso



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁷⁷ Fios finos de filamento deixados pelo deslocamento do bico extrusor entre um ponto e outro.

Figura 115 – Impressão de detalhe do ornato do MALG apresentando *strings*



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A comparação da peça com as imagens do ornato, e com as equivalentes impressas a partir do modelo obtido por luz estruturada pela **Sovol SV01 Pro** e pela **Elegoo Saturn 2**, evidenciou a necessidade de pós-processamento ainda no modelo digital, em virtude da clara visualização da malha poligonal (Figura 116).

Figura 116 – Da esquerda para direita: modelo obtido por luz estrutura impresso em resina, mesmo modelo impresso em PLA e modelo obtido por fotogrametria impresso em PLA

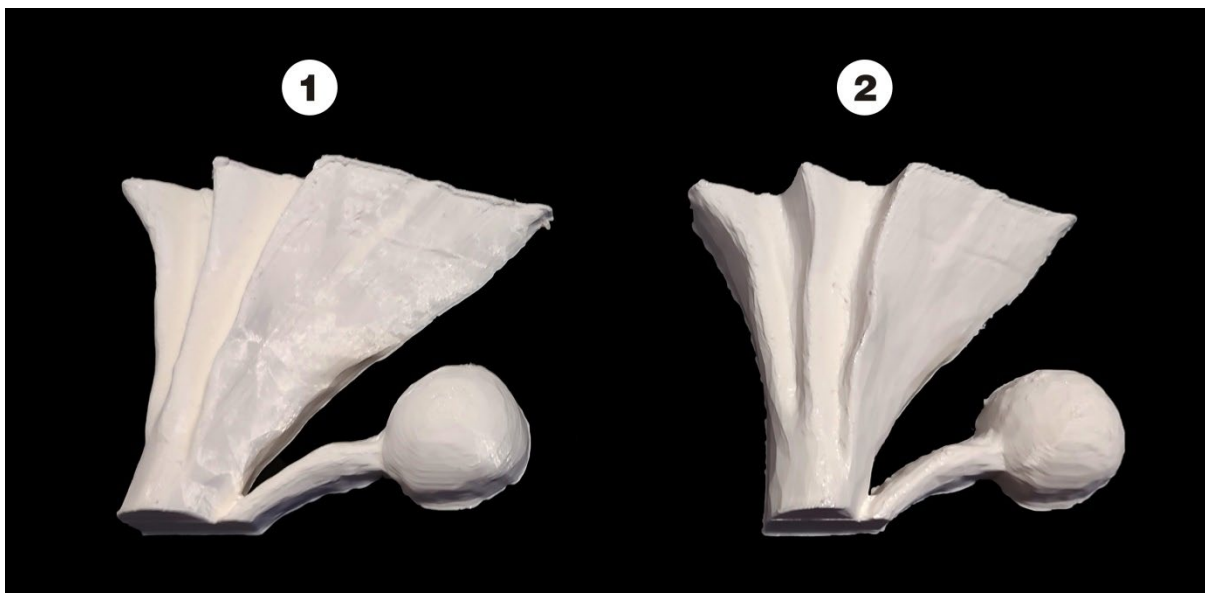


Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Assim, o modelo foi tratado no Blender com subdivisão das arestas e suavização dos vértices, sendo duas opções de tratamento selecionadas para

impressão. Somente uma porção dos modelos foi impressa para ganho de tempo e material (Figura 117).

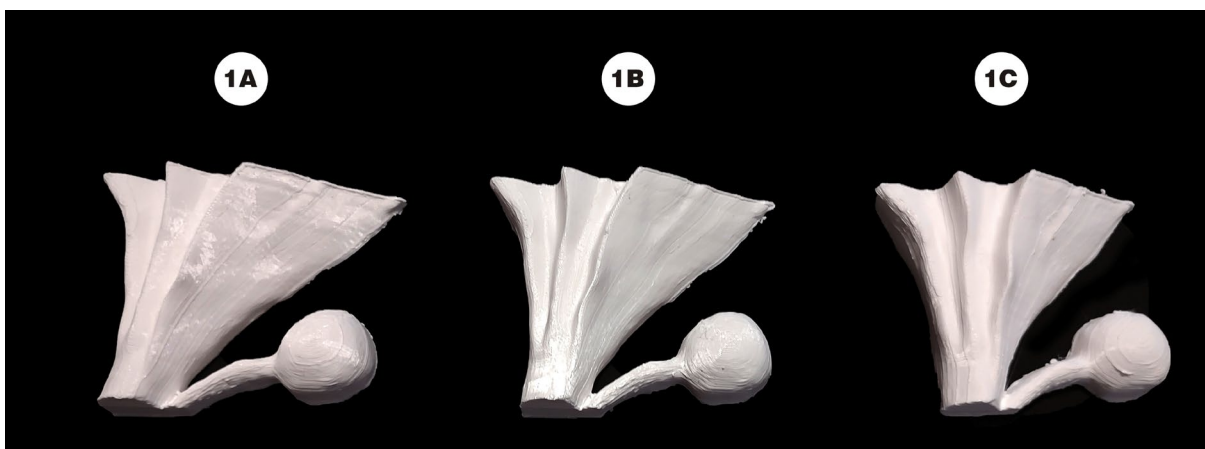
Figura 117 – Porção dos modelos suavizados no Blender



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Novos tratamentos de suavização foram realizados a partir deste primeiro ensaio, sendo três opções impressas a partir da prova 1 (Figura 118).

Figura 118 – Porção dos modelos suavizados a partir de teste de impressão



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Interessante observar que a impressora, durante estas impressões, pareceu ter sofrido com oscilações de energia; o monitor sensível ao toque reiniciava e apresentava a tela para reinício da impressão, o que seria esperado. Entretanto, após o comando para reinício, o monitor apresentava novamente a mesma mensagem, cuja execução levava a um novo reinício. Tal fato se repetiu por algumas vezes até que o comando de reinício de impressão funcionou, tendo esta situação se repetido por mais vezes. A documentação de ajuda da Sovol SV01 Pro não tem menção a este tipo de acontecimento, mas a da SV03⁷⁸ apresenta algumas possibilidades, que vão de problemas na leitura do cartão SD com o arquivo de impressão até falta de energia.

Foi escolhida a prova 1B para impressão do modelo a ser replicado. Este modelo, além do tratamento geral para suavização da peça, teve uma depressão existente na lateral ajustada, visto que ela não existe no ornato (Figura 119).

Figura 119 – Depressão no modelo impresso (à esquerda), não presente no ornato (à direita)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁷⁸ Disponível em: <<https://www.sovol3d.com/blogs/troubleshooting/help-center-sv03>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

A impressão completa do segmento escolhido do ornato após os testes de suavização da malha evidenciou uma perda de detalhes no modelo (Figura 120). Assim, uma diminuição deste tratamento foi realizada para impressão da peça definitiva (Figura 121).

Figura 120 – Detalhe da peça muito suavizada (à esquerda) e depois ajustada para preservação das formas (à direita)

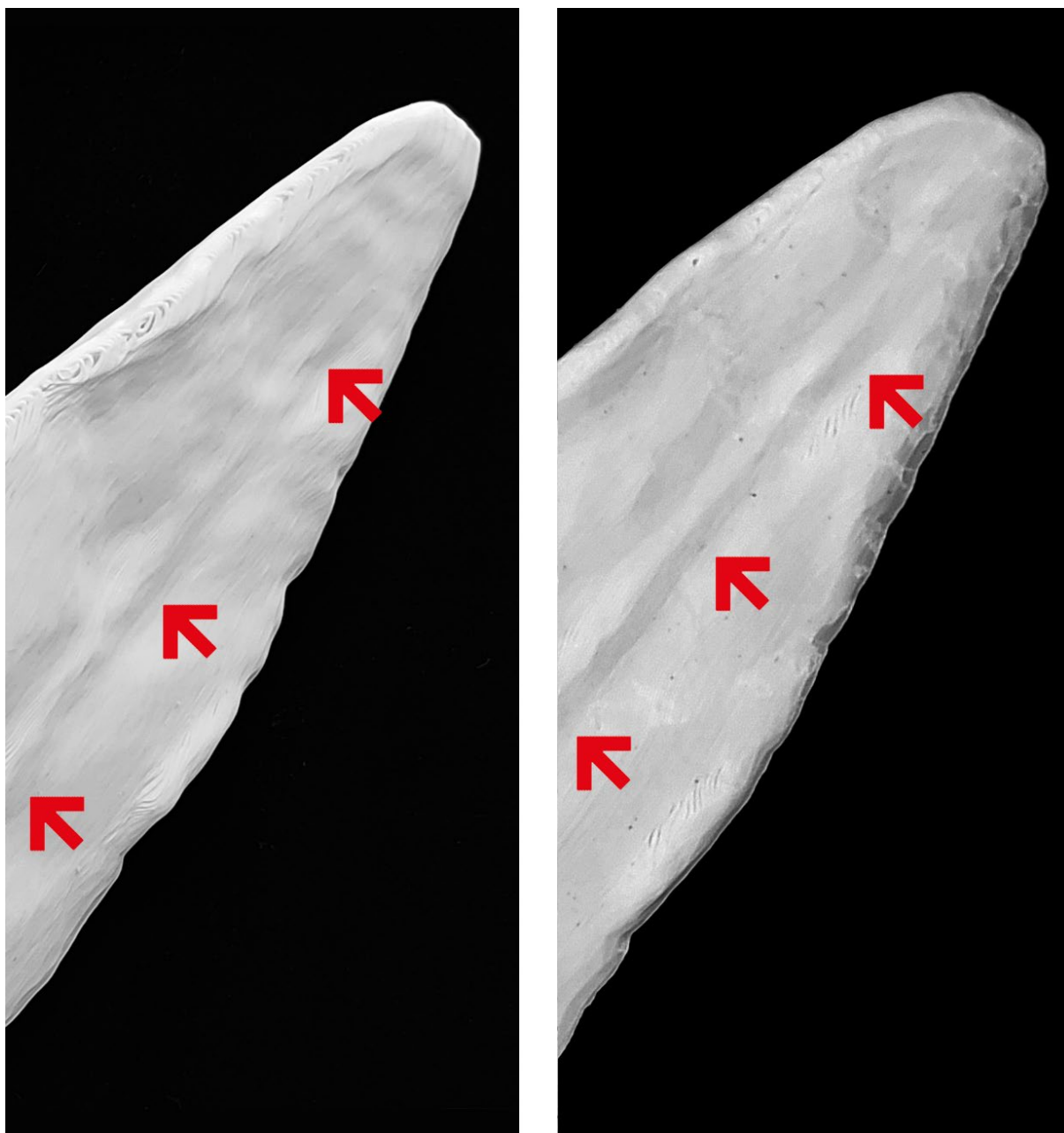
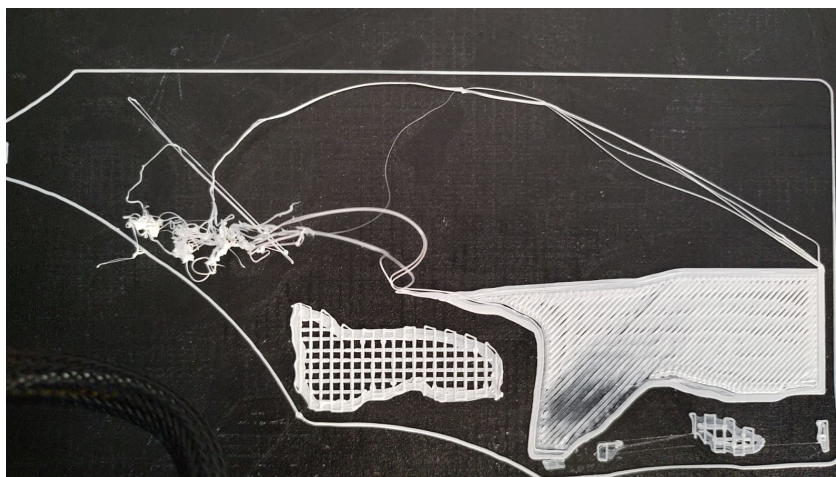


Figura 121 – Impressão definitiva do modelo obtido pelo Kiri Engine para moldagem



A impressão da versão com a superfície muito suavizada enfrentou, inicialmente, problemas por não estar devidamente posicionada, o que resultou em um ângulo entre a seção plana do modelo e a plataforma de impressão, levando ao descolamento das primeiras camadas (Figura 122).

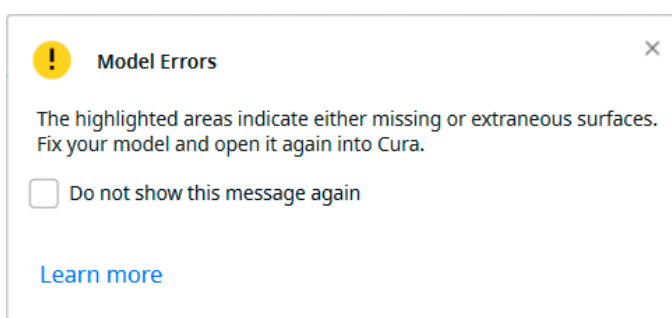
Figura 122 – Primeiras camadas de impressão descolando da plataforma



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O Ultimaker Cura evidenciava problemas com o modelo quando ele era importado (Figura 123), mas não quando substituído pelo comando “reload” por uma versão mais recente do arquivo.

Figura 123 – Janela pop-up indicando problemas com o modelo importado no Ultimaker Cura



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O modelo devidamente ajustado (Figura 121) foi impresso nas configurações mencionadas no início deste item, em 17h19min (o fatiador havia previsto 18h12min), com custo aproximando, calculado pelo fatiador, de R\$ 10,69. A peça

definitiva também apresentou *strings*, mesmo que em número menor do que o modelo inicial, levando a decisão de rever as configurações para impressão das peças do Museu do Doce.

O segmento do ornato do **Museu do Doce** seguiu caminho semelhante, sendo preparado para impressão no **Blender**. Entretanto, a subdivisão de arestas se deu, principalmente, nas áreas em que o aplicativo Kiri Engine tinha menos informações para a reconstrução do ornato, a saber, as regiões próximas à parede e à base do balcão onde ele está situado, com menor número de imagens e nas quais as sombras projetadas pelo próprio ornato e pelo balcão impediram um registro mais preciso nas fotografias obtidas (Figura 124).

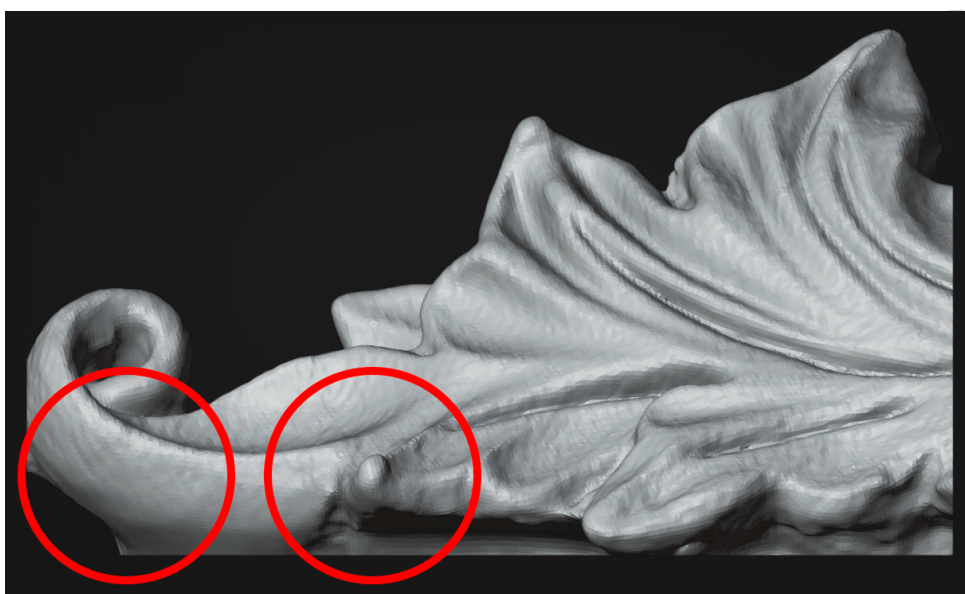
Figura 124 – Detalhe do ornato com destaque para as zonas de sombra



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A comparação do segmento com o obtido por luz estruturada evidenciou que o modelo do Kiri possui algumas distorções em relação ao ornato. Entretanto, estas distorções não foram tratadas, tendo sido feita a escolha de mantê-las para o registro das limitações deste modelo fotogramétrico (Figura 125).

Figura 125 – Modelo obtido por fotogrametria (acima) e modelo obtido por luz estruturada (abaixo)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A única diferença entre as configurações usadas para este ornato e o do **MALG** foi na configuração “Travel/Combing Mode”, que foi definida como “All”, fazendo com que o cabeçote extrusor se movesse dentro do perímetro da peça sendo impressa, diminuindo a chance de aparecimento de *strings*. A peça definitiva, mesmo com esta mudança, também apresentou *strings* (Figura 126).

Figura 126 – Impressão do modelo fotogramétrico do Museu do Doce com algumas *strings*



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O modelo foi impresso em 16h14min (o fatiador havia previsto 16h6min), com custo aproximando, calculado pelo fatiador, de R\$ 21,4. Durante a impressão, houve duas oscilações de energia, que causaram a sua interrupção e, conseqüentemente, o efeito de “pata de elefante”⁷⁹ nas camadas que foram impressas após a interrupção (Figura 127).

⁷⁹ Esmagamento de camada, tornando-a maior que as demais. Usualmente, ocorre na primeira camada de impressão, quando o bico extrusor está muito próximo da plataforma. Neste caso, ocorreu em camadas superiores, quando da interrupção da impressão e seu posterior recomeço.

Figura 127 – Efeito “pata de elefante” causado por falta de energia durante a impressão (marcação em vermelho)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

4.4.6. Pós-processamento das réplicas impressas para moldagem

Após a remoção das *strings* da impressão do ornato do **MALG** com o auxílio de um alicate, uma lixa d'água com grão 100 foi usada para remoção das protuberâncias que aparecem no início ou final delas e das demais imperfeições presentes na peça (Figura 128). Em seguida a este tratamento, foram aplicadas três demãos de *primer*⁸⁰ de uso geral; esta pintura evidenciou os pontos que ainda precisavam de processamento.

Figura 128 – Detalhe da impressão com protuberâncias

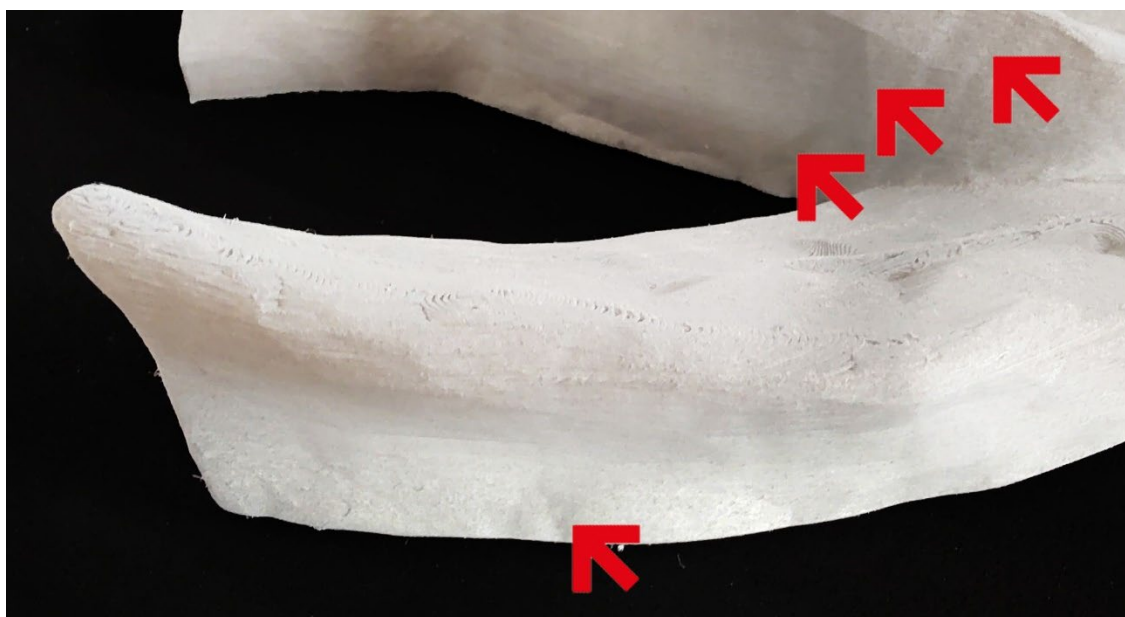


Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁸⁰ *Primer* universal “Colorgin”, fabricado pela Sherwin Williams®.

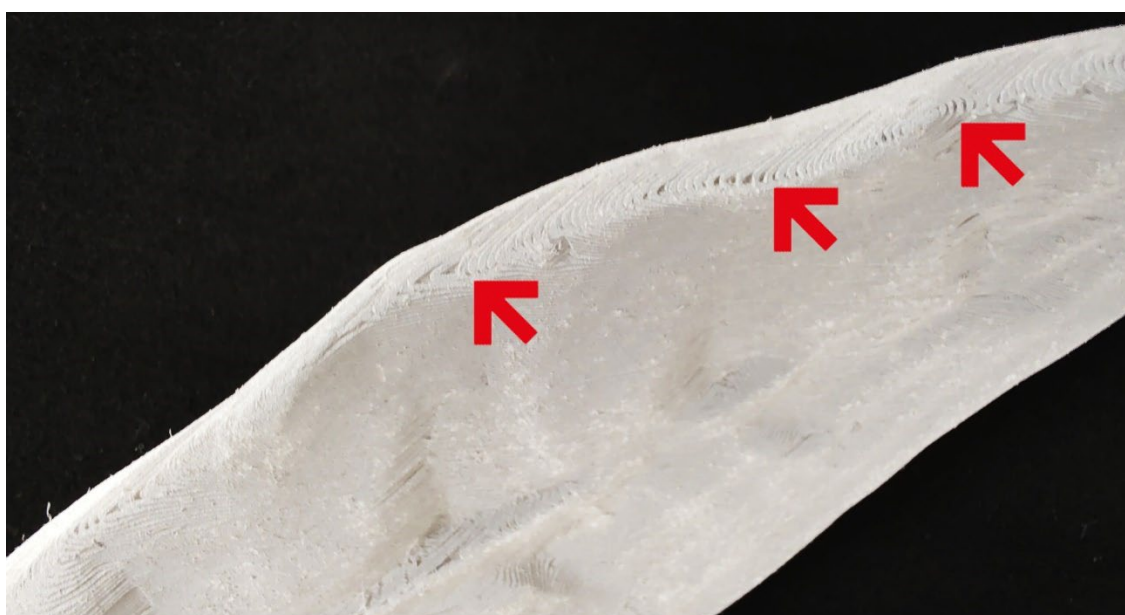
O lixamento destas irregularidades da peça mostrou a necessidade de preenchimento em outras áreas nas quais não seria possível realizá-lo somente com a aplicação do *primer*, como aquelas que ainda apresentavam os polígonos da malha (Figura 129) e cavidades oriundas das camadas de impressão (Figura 130).

Figura 129 – Detalhe da impressão com polígonos visíveis



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 130 – Detalhe da peça com cavidades oriundas das camadas de impressão (“escada”)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Como o lixamento com lixa de grão 600 acabou por retirar muito do *primer* aplicado, mais três demãos foram realizadas. O preenchimento das cavidades foi realizado com massa de modelar com argila, inicialmente, porque ela oferecia bom contraste com o *primer* por ser bege.

Após o lixamento da peça com folhas de grão 100 e 600, mais 3 demãos de *primer* foram aplicadas. Como a massa esfarelou um pouco mais que o esperado, a partir deste ponto foi uma massa epóxi bicomponente para os preenchimentos. Após uma última aplicação de *primer*, a peça ficou pronta para moldagem (Figura 131).

Figura 131 – Ornato do MALG com acabamento superficial, pronto para moldagem



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A réplica do **Museu do Doce** seguiu um caminho um pouco diferente. Antes da aplicação do *primer*, a massa epóxi foi aplicada; sendo a peça branca, foi possível obter contraste com o cinza da massa e regular melhor a aplicação nas cavidades (Figura 132). Após a secagem da massa, a impressão foi lixada com folhas de grão 100 e 600. Três camadas de *primer* foram aplicadas e finalizadas com lixas de grão 1200 e 2500 (Figura 133).

Figura 132 – Impressão com massa epóxi aplicada



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 133 – Impressão do ornato do Museu do Doce com acabamento superficial finalizado, pronta para moldagem



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

As peças impressas por extrusão de material a partir dos modelos obtidos por luz estruturada foram submetidas aos mesmos procedimentos de acabamento aqui relatados. Entretanto, o lixamento teve por objetivo somente a remoção de irregularidades advindas do processo de impressão, como protuberâncias e cavidades. A massa de modelar e a epóxi foram também usadas, assim como o *primer*.

As peças impressas a partir dos modelos obtidos por luz estruturada em resina só tiveram como acabamento superficial a aplicação de *primer*, com o fim de deixá-las com acabamento similar ao das demais peças para comparação.

4.4.7. Produção de réplicas – peças produzidas em moldes de silicone

Impressas e processadas, as peças foram fixadas com fita dupla face em caixas de mdf, com paredes parafusadas à base para facilitar a remoção do conteúdo. A caixa para o ornato do MALG tinha medidas internas de 19,4 x 25 x 6,2 cm (Figura 134), enquanto para o ornato do Museu do Doce, 25 x 22 x 33,5 cm⁸¹.

Figura 134 – Caixa em MDF para produção dos moldes em silicone



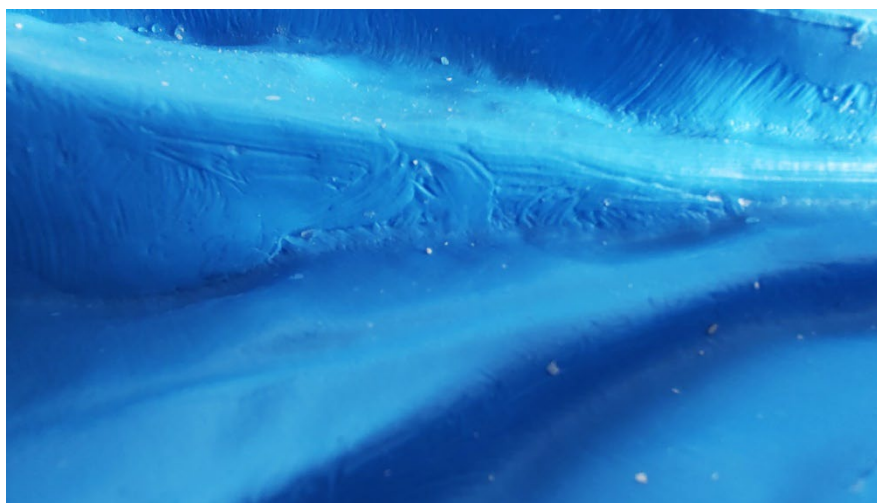
Fonte: elaborado pelo autor, 2024

⁸¹ O segmento impresso do ornato, inicialmente, seria outro. Em virtude da impossibilidade de imprimí-lo em uma peça e, também, devido ao custo de impressão de uma peça grande, foi escolhido um segmento menor.

Após a fixação nas caixas, foi vertida a borracha de silicone⁸² com o catalisador na proporção indicada pelo fabricante (30ml de catalisador para 1 Kg de borracha de silicone). Foram gastos aproximadamente 2,5 Kg de borracha para o MALG e 3,5 Kg para o Museu do Doce. Após a cura da borracha de silicone, as caixas foram desaparafusadas para remoção das peças impressas e dos moldes.

O primeiro molde, do MALG, teve infiltração de borracha por baixo do modelo. Assim, no molde seguinte, a peça foi colocada na base da caixa e, somente após a aplicação cuidadosa de vaselina industrial em pasta para impermeabilizar a peça e a base, o restante da caixa foi montado. O uso da vaselina em pasta deixou marcas no molde (Figura 135). Assim, foi usada uma versão líquida do produto nas moldagens seguintes para evitar a textura produzida pelas cerdas do pincel usado para aplicação do produto.

Figura 135 – Detalhe de um molde do ornato do MALG com marcas de aplicação de vaselina pastosa



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Em virtude do uso de vaselina, na moldagem seguinte do ornato do MALG, ele se soltou do fundo da caixa, tendo flutuado dentro da borracha de silicone ainda pastosa. A peça foi empurrada para o fundo da caixa em uma tentativa de não desperdiçar o molde. Como a peça ficou envolta em borracha, imprimiu-se um “gabarito” para cortá-la (Figura 136).

⁸² Segundo o fabricante Redelease, é um elastômero bicomponente vulcanizável à temperatura ambiente que, após a adição de catalisador, resulta em um material elástico e resistente.

Figura 136 – “Gabarito” para corte

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Uma vez prontos os moldes, as réplicas foram produzidas em gesso pedra, como material alternativo ao uso de cal, água e areia escaiola. A proporção de água/gesso indicada pelo fabricante para uso dentário é de 1Kg de gesso para 300/350 ml de água. Entretanto, para o uso em questão, essa proporção fez com que o material endurecesse muito rapidamente (cerca de menos de 4 min), impossibilitando a aplicação uniforme por todo o molde (Figura 137). Assim, foi usada para as réplicas finais uma quantidade de 450 ml para cada 1 Kg de gesso.

Figura 137 – Réplica do ornato do MALG com falhas devido ao endurecimento prematuro do gesso

Fonte: elaborado pelo autor, 2024

4.5. AVALIAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS

A avaliação visual das peças moldadas em gesso pedra ocorreu tendo como referência a peça em gesso obtida a partir das tecnologias de referência e se deu com base na manutenção de dois aspectos: **contorno** e **textura**. O **contorno** foi aqui definido como a manutenção da silhueta da peça, perceptível pelo contraste entre a réplica (figura) e o fundo. A **textura** se referiu à manutenção das características superficiais das peças. Não foram considerados defeitos provenientes de imperícia na obtenção das réplicas em gesso, como cavidades provenientes de bolhas de ar.

As réplicas do ornato do **MALG** mantiveram o seu **contorno** em relação à peça de referência (Figura 138).

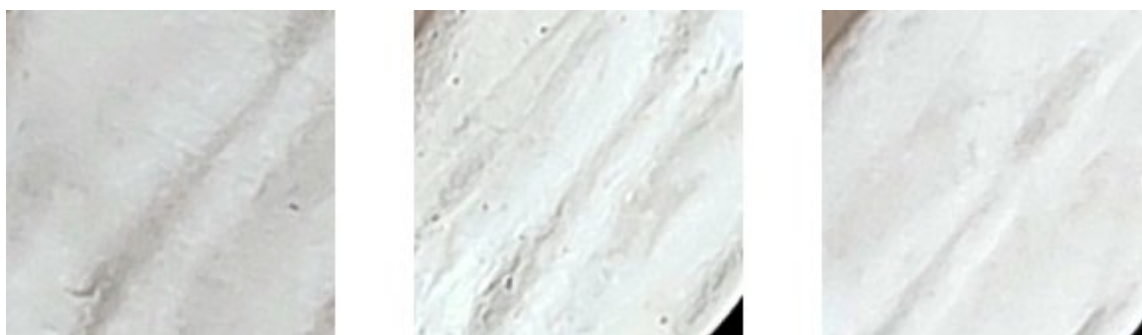
Figura 138 – Réplicas em gesso pedra do MALG, da esquerda para direita: réplica feita a partir da impressão em resina da digitalização por luz estruturada, réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização por luz estruturada e réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização fotogramétrica



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Em relação à **textura**, apesar da peça de referência apresentar maior fidelidade à textura do ornato original, os resultados das réplicas obtidas a partir das peças impressas por extrusão de material foram satisfatórios, com a manutenção das nervuras das folhas (Figura 139 e Figura 140) e demais reentrâncias.

Figura 139 – Detalhe da folha à direita no ornato, da esquerda para direita: réplica feita a partir da impressão em resina da digitalização por luz estruturada, réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização por luz estruturada e réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização fotogramétrica



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Figura 140 – Detalhe da folha ao centro no ornato, da esquerda para direita: réplica feita a partir da impressão em resina da digitalização por luz estruturada, réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização por luz estruturada e réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização fotogramétrica



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

As réplicas do ornato do **Museu do Doce** (Figura 141) em relação à manutenção de seu **contorno**, tiveram pior resultado do que as réplicas do **MALG**, em decorrência das distorções exemplificadas na Figura 125.

Figura 141 – Réplicas em gesso pedra do Museu do Doce, de cima para baixo: réplica feita a partir da impressão em resina da digitalização por luz estruturada, réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização por luz estruturada e réplica feita a partir da impressão em PLA da digitalização fotogramétrica



Em relação à **textura**, o resultado também foi pior, mas não tanto em virtude das características do modelo digital, mas sim da impressão por extrusão de material, pois a réplica obtida por digitalização por luz estruturada teve resultado semelhante à réplica obtida por fotogrametria (Figura 142).

Figura 142 – Detalhe das réplicas do ornato do Museu do Doce: à direita, peça obtida por luz estruturada, à esquerda, peça obtida por fotogrametria



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

5. DISCUSSÃO

As discussões sobre os resultados obtidos nesta pesquisa estão aqui apresentadas em ordem cronológica, iniciando com observações sobre a **coleta de dados com a câmera de um *smartphone***, passando pelo uso das imagens obtidas nos **programas e aplicativos fotogramétricos**, pela **avaliação dos modelos tridimensionais digitais** resultantes, pela **produção de réplicas** a partir deles e a sua conseqüente **avaliação** e, por fim, tratando dos **custos** de sua produção.

Na **coleta de dados**, em relação ao **uso da câmera de um *smartphone*** para obtenção de imagens para fotogrametria, ao contrário das máquinas fotográficas DSLR, uma particularidade é que existe uma possibilidade maior de desconfiguração dos parâmetros estabelecidos para a tomada das imagens, pois o aplicativo câmera pode voltar a configurações padrões quando se alterna entre ele e outros aplicativos. Neste trabalho, anotações eram tomadas no próprio aparelho enquanto as imagens eram registradas, o que levou ao uso de diferentes sensibilidades ISO, condição que pode ter afetado o resultado. Outra particularidade em relação aos *smartphones* é a necessidade maior do uso do disparador *bluetooth* para a obtenção de imagens estáveis, sem borrões, em virtude do tempo de processamento da imagem após o clique, usualmente maior do que em câmeras.

Pode existir, também, dependendo das condições meteorológicas nas quais as imagens forem obtidas, dificuldade em visualizar o seu enquadramento em virtude dos reflexos nas telas de *smartphones*, problema que pode, também, acontecer com o visor de câmeras DSLR, mas que, neste caso, pode ser contornado com o uso do visor ótico.

Ainda no processo de obtenção das imagens, apesar de demandar mais tempo durante as sessões fotográficas, a configuração que permite a obtenção de uma mesma imagem nas extensões RAW (".dng", no caso do Motorola Edge 20) e ".jpg" durante a coleta de dados, é uma alternativa interessante para que as imagens possam ser selecionadas mais rapidamente a posteriori, pois a visualização de imagens RAW no Windows Explorer para seleção pode tornar-se lenta dependendo do *hardware* usado. Mas, resta como alternativa, a conversão das imagens em outro formato após a coleta somente para visualização.

Após a coleta de dados, as dificuldades no **uso dos programas fotogramétricos**, começaram já no processo de instalação. Na seleção de

programas usada neste trabalho, todos apresentavam arquivos compilados para *download*, facilitando a instalação. Entretanto, quando isso não ocorre, a instalação pode se tornar um problema considerável, como no caso do MVE. A tentativa de compilar o programa para tentar obter uma versão plenamente funcional mostrou a dificuldade em fazê-lo, não só pela necessidade de conhecimentos técnicos específicos, mas até pela disponibilização desorganizada dos arquivos pelos desenvolvedores, com arquivos em pastas distintas das informadas pela documentação.

Neste sentido, *sites* e fóruns relacionados aos programas mudaram de endereço e até mesmo apresentaram problemas de segurança. O *site* que abrigava a versão já compilada do MVE não pode mais ser encontrado, em virtude da mudança da página da instituição que hospedava o programa. O do MicMac também ficou indisponível no período de realização deste trabalho. Os **aplicativos**, por sua vez, até mesmo por serem produtos comerciais, se pode presumir, apresentaram facilidade de instalação e, ainda, iniciam o usuário no processo fotogramétrico com os tutoriais que apresentam logo após a sua instalação.

Em relação ao **uso dos programas e aplicativos após a instalação**, o primeiro passo foi verificar a possibilidade de uso das imagens em formato RAW. Após a confirmação da limitação do uso da extensão “.dng” pela maioria dos programas e aplicativos, a conversão de imagens em formato RAW para “.jpg”, algo que, a princípio, deveria ser uma atividade trivial, também apresentou desafios.

Como os conjuntos de imagens efetivamente usados no trabalho foram de 34 a 486 fotografias, a conversão precisava ser realizada em lote, ou seja, de maneira automatizada, para economia de tempo. Entretanto, dentre os programas usados, somente o Photoshop foi capaz de fazê-lo sem a perda de alguns metadados das imagens, essenciais para a fotogrametria, evidenciando um potencial problema para o uso de programas gratuitos para conversão. E, ainda assim, o corte feito no formato das imagens pelo Photoshop também pode ter afetado a qualidade do processo fotogramétrico.

O uso de tais imagens pode ser, então, uma limitação quando do uso de programas gratuitos para Windows® e aplicativos para Android. Sendo sua utilização recomendada para manutenção da totalidade das informações capturadas pelo sensor da câmera, projetos que demandem um grau maior de fidelidade podem ser afetados. Entretanto, segundo O'Connor (2018), em projetos onde a acurácia não for

uma demanda absoluta, imagens em “.jpg” podem ser usadas. O autor justifica sua afirmação ao relatar que, em um conjunto de imagens usado em seu trabalho, as fotografias convertidas em “.jpg” produziram um erro mediano de 6,49 mm, enquanto nas mesmas imagens em RAW, este erro foi de 6,22 mm. Isto vai ao encontro dos resultados deste trabalho, no qual o uso de imagens RAW não acarretou, necessariamente, em resultados melhores.

Os problemas encontrados na geração de modelos tridimensionais por fotogrametria foram muitas vezes relacionados à falta de memória. No caso do MicMac, entretanto, não foi possível estabelecer a origem dos problemas, mas se supõe que possa estar relacionada com o número de imagens suportadas pela interface gráfica AperoDeDenis.

Mudando para os padrões dos programas em questão, a fidelidade dos resultados em relação ao objeto original variou. Os dois aplicativos utilizados aparentam tentar entregar um produto mais acabado, completando as áreas sobre as quais não há muita informação nas imagens. Supõe-se que tal característica seja em virtude do público a qual os aplicativos se destinam, mais amplo do que usuários de programas para computadores, que, potencialmente, poderia frustrar-se com resultados “inacabados”. Entretanto, tal característica pode ser prejudicial em projetos que demandem um resultado mais fidedigno ao objeto original.

Os programas, dependendo da base de dados que usam, podem pedir a distância focal equivalente à 35 mm e a largura do sensor, o que não é, necessariamente, um problema, mas não deixam de demandar mais informações do usuário. Neste contexto, de demandas ao usuário, nem todos os programas permitem a visualização dos resultados, recorrendo a outros programas para isso.

Uma vez obtidos **os modelos tridimensionais digitais dos ornatos**, a sua **avaliação** por desvio quadrático médio frente aos modelos digitalizados por luz estruturada evidenciou uma qualidade inesperada, pois os valores ficaram abaixo ou em torno de 1 mm, quando se esperava valores mais próximos de centímetros. Tais valores, quando da impressão das réplicas por manufatura aditiva para moldagem, se tornaram perceptíveis aos olhos, com a manutenção do contorno das peças, principalmente do MALG. Não foi possível estabelecer relação entre determinadas características dos modelos digitais obtidos com o resultado por comparação com os modelos de luz estruturada. Os valores obtidos pelo RMS não puderam, por exemplo, ser relacionados ao número de vértices. Algumas relações intuitivamente

esperadas, como entre modelos com maior número de vértices e maior tempo para seu processamento também não foi observada.

A escolha das peças para produção das réplicas precisou levar em conta, além deste desvio, o quanto de pós-processamento digital seria necessário para utilização dos modelos digitais para manufatura aditiva. Esta escolha visou um menor tempo de pós-processamento, mas outro caminho poderia ter sido tomado.

Na **produção das réplicas**, a manufatura dos ornatos por estereolitografia mascarada por tela de cristal líquido produziu peças com pouca necessidade de pós-processamento. Apesar da necessidade de retirada do suporte, seu posicionamento, principalmente, nas áreas que seriam fixadas nas paredes dos imóveis, caso as peças fossem usadas efetivamente em alguma atividade de restauro, não afetou significativamente as áreas visíveis.

Poucos detalhes precisaram ser lixados, mantendo a integridade da peça impressa. O acabamento com primer, como mencionado anteriormente, só foi realizado para uniformizar o conjunto de impressões para avaliação, não sendo uma necessidade para a posterior moldagem da peça. Tal vantagem frente às peças obtidas por extrusão de material poderia justificar o investimento no seu uso na produção de réplicas. Entretanto, o resultado das peças impressas em PLA, com menor custo, após o acabamento superficial com lixamento, preenchimento de cavidades com massa e aplicação de primer foi uma alternativa que, apesar de dispendar mais tempo, foi mais econômica, levando-se em consideração somente o material usado.

Visivelmente, as peças do MALG digitalizadas por fotogrametria e por luz estruturada, quando impressas por extrusão de material, não apresentaram diferenças significativas em relação à peça de referência, tanto em seu contorno quanto em sua textura e seus detalhes superficiais, como as nervuras das folhas.

A textura listrada, característica deste tipo de impressão, pode ser amenizada pelo acabamento superficial com aplicação de *primer* (Figura 143). Outra característica, a existência de “degraus” na superfície da parte superior da impressão, possivelmente decorrente de fluxo de extrusão insuficiente, ou de altura de camada incompatível com os detalhes finos da peça, que poderia ter sido amenizada ainda no fatiamento, foi passível de melhoria com o uso de preenchimento e *primer* (Figura 144). Algumas características da “composição” das malhas poligonais ficaram mais evidentes nos modelos obtidos por fotogrametria.

Eles foram minimizados pelo acabamento superficial, mas poderiam ter sido ajustados ainda nos modelos digitais.

Figura 143 – Detalhe da textura produzida pela impressão por extrusão de material (à esquerda) e sua suavização com acabamento superficial (à direita)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

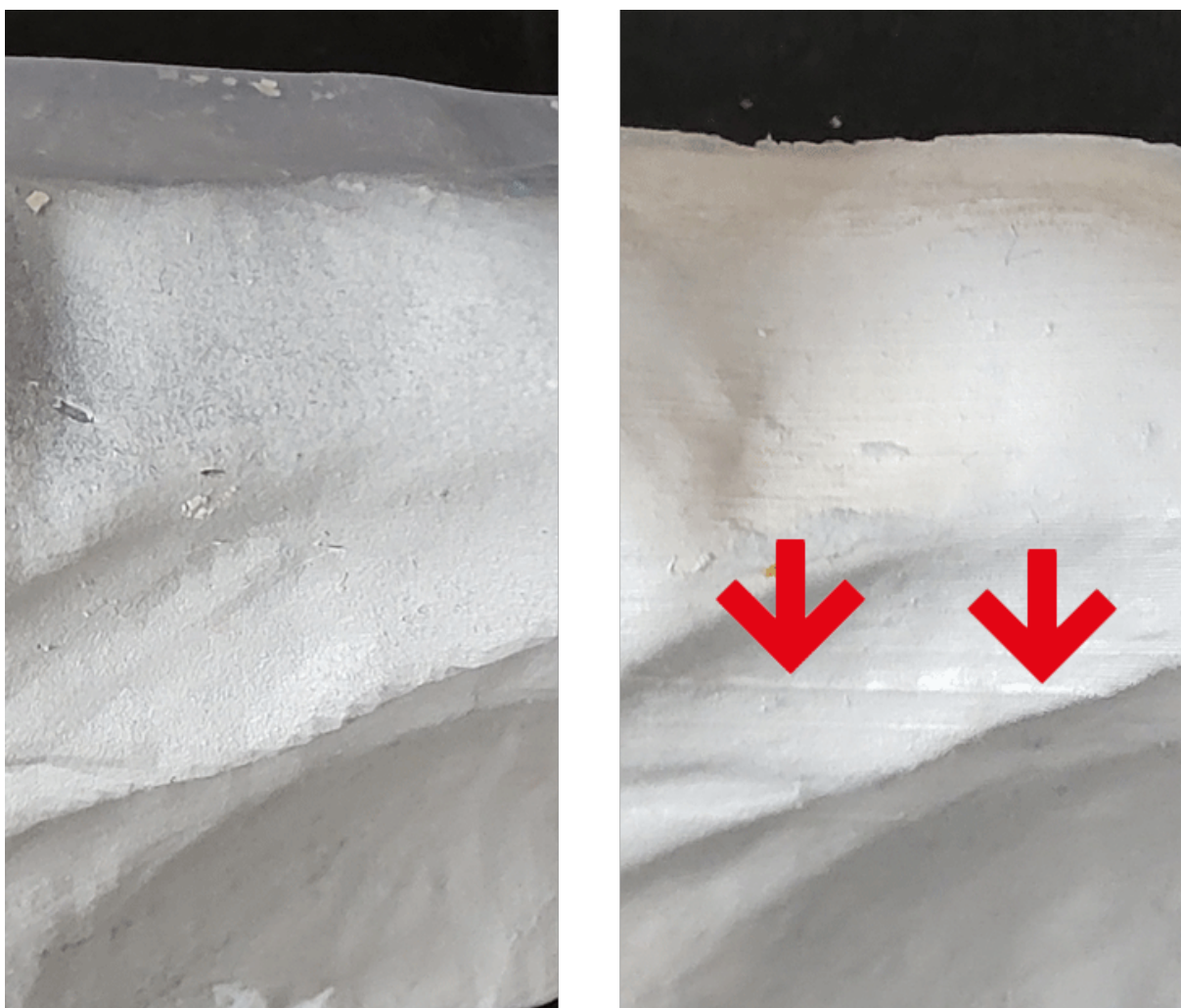
Figura 144 – Detalhe dos “degraus” produzidos pela impressão por extrusão de material (à esquerda) e sua suavização com acabamento superficial (à direita)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

A réplica do ornato do **Museu do Doce** obteve resultados piores porque a textura rugosa original da peça foi afetada por problemas de impressão como as “patas de elefante” e pela solução usada para mitigá-la, o lixamento. Por se prolongarem por toda a extensão da peça, estes defeitos de impressão acabaram por serem os maiores desafios para obtenção de um bom acabamento (Figura 145).

Figura 145 – Detalhe da impressão do ornato do Museu do Doce por estereolitografia, à esquerda, e o mesmo detalhe com o efeito “pata de elefante” produzido pela interrupção da impressão por extrusão de material, à direita



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

As réplicas do Museu do Doce digitalizadas por ambas as tecnologias (luz estrutura e fotogrametria), apresentaram perda de textura em relação à peça referência. Sua superfície com mais ondulações sofreu mais com o acabamento superficial característico da impressão por extrusão de material e, conseqüentemente, com as tentativas de mitigação destas características por

preenchimento com massa, lixamento e aplicação de primer. As técnicas de acabamento superficial foram mais efetivas na mitigação das características intrínsecas à impressão por extrusão de material na peça do MALG. O seu contorno também foi afetado, mas como mencionado anteriormente, isto se deu muito mais em virtude das limitações do modelo tridimensional digital.

Voltando à textura das peças, uma funcionalidade presente na impressora teve papel significativo: a possibilidade de pausar a impressão e retomá-la depois. Tal recurso diminui as chances de perda de material e tempo, mas contribuiu para impressão de peças com deslocamento entre camadas e com o efeito “pata de elefante”, prejudicial ao acabamento superficial das peças. A altura maior do segmento do ornato do Museu do Doce escolhido para impressão em relação ao ornato do MALG tornou-o, também, mais propenso a apresentar problemas de impressão em virtude do maior tempo de impressão. Assim, foram somados estes dois fatores, textura e maior ocorrência de “patas de elefante” para obtenção de um resultado menos satisfatório.

Os **custos** das tecnologias 3D utilizadas neste trabalho foram denominadas de **baixo custo** por, em relação as tecnologias 3D usadas como referência para avaliação, demandarem menores valores para aquisição. Em relação aos custos envolvidos na aquisição dos equipamentos usados, não foi considerada a compra dos notebooks. Pelo processo estabelecido para o trabalho, não se considerou a possibilidade de uso das ferramentas dos aplicativos para edição dos modelos tridimensionais digitais obtidos, tornado o seu uso necessário para a realização do trabalho tanto quando usados os programas quanto quando usados os aplicativos.

O custo dos aplicativos não pode ser comparado ao dos programas, em virtude da gratuidade deles. Entretanto, pode ser comparado ao de programas comerciais usados para fotogrametria. Ferramentas como Agisoft Metashape, 3D Zephyr e PhotoModeler oferecem a compra de licenças permanentes que vão de R\$ 11.000 a R\$ 23.000, aproximadamente, e subscrições mensais que vão de R\$ 600 a R\$ 1.375, também aproximadamente.

Em se tratando dos outros equipamentos e materiais utilizados, o custo entre os de baixo custo frente aos de referência, é de, aproximadamente:

- a) para a digitalização, 20 a 50 vezes menor (smartphone Motorola Edge 20 em relação ao scanner Eva);

- b) para a manufatura digital, cerca de metade do valor (impressora Sovol SV01 Pro em relação a impressora Elegoo Saturn 2);
- c) para o material usado na manufatura, cerca de três vezes menor (resina similar a ABS em relação ao filamento PLA).

Estas tecnologias de baixo custo acabam por demandar mais acabamento superficial, mas o custo dos materiais nele usado, frente aos valores acima descritos, acaba por ser irrelevante. Resta saber se tal custo não é aumentado pelo tempo de trabalho com o acabamento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tecnologias 3D têm contribuído, desde seu surgimento há pouco mais de 30 anos, com atividades relativas à manutenção do patrimônio cultural, mas sua ampla utilização nesta área ainda esbarra nos custos usualmente envolvidos. Entretanto, as evoluções destas tecnologias as têm barateado e, conseqüentemente, tornado-as mais acessíveis ao público em geral.

Assim, a partir da hipótese que tais tecnologias podem produzir réplicas de ornatos arquitetônicos com qualidade equivalente à obtida com o uso tecnologias 3D de mais alto custo, se desenvolveu o presente trabalho e, para o seu cumprimento, foram estabelecidos os objetivos específicos a seguir comentados.

Em relação ao objetivo específico de (a) **investigar as possibilidades de digitalização tridimensional de baixo custo para produção de réplicas de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque**, afirma-se que ele foi alcançado com a utilização de um instrumento para captura de imagens, o *smartphone* Motorola Ege 20, de baixo custo frente ao equipamento de digitalização por luz estruturada usado como referencial de qualidade, e com a experimentação de programas gratuitos e aplicativos fotogramétricos de baixo custo para a obtenção de modelos tridimensionais digitais.

Quanto ao objetivo específico de (b) **investigar as possibilidades de manufatura digital de baixo custo para produção de réplicas de ornatos arquitetônicos produzidos em estuque**, se pode afirmar que ele foi parcialmente cumprido, tendo em vista que a produção de moldes com material flexível não foi realizada. Apesar deste revés, foi possível imprimir peças a baixo custo para moldagem com borracha de silicone e produção de réplicas dos ornatos.

O objetivo específico de (c) **avaliar a qualidade dos resultados da digitalização tridimensional por fotogrametria de baixo custo frente aos obtidos por digitalização por luz estruturada** foi atingido, pois a comparação entre os modelos de referência e os obtidos por fotogrametria por meio do parâmetro do desvio quadrático médio (RMS) mostrou que a digitalização por fotogrametria pode alcançar resultados comparáveis aos desta tecnologia de maior precisão dimensional. Sendo este, a acurácia dimensional, um dos principais limites da fotogrametria, o atingimento deste objetivo mostra que, para além do uso dos modelos obtidos para fins que exigem menor precisão dimensional, como reproduções em escalas menores (visando

a confecção de *souvenirs* ou de modelos táteis) ou para visualização em ambientes virtuais, eles podem ser usados para produção de réplicas em escala 1:1.

Em relação ao objetivo específico de (d) **avaliar a qualidade de réplicas produzidas a partir da impressão de modelos obtidos por fotogrametria em manufatura aditiva (extrusão de material) frente a de réplicas obtidas por digitalização por luz estruturada e impressas por estereolitografia mascarada por tela de cristal líquido**, se afirma que ele foi parcialmente atingido, pois o método usado para aferição carrega um grau de subjetividade, impossibilitando uma afirmação categórica sobre a qualidade de parte das réplicas produzidas.

6.1. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Dentre as limitações apresentadas por este trabalho está a pequena amostra de ornatos utilizados para replicação. Ornatos de diferentes formas, texturas e localização nas fachadas dos imóveis poderiam levantar outros aspectos não considerados aqui. Neste sentido, o uso de outros segmentos dos ornatos, para além dos escolhidos, também poderia ter efeito semelhante.

A produção das réplicas foi afetada, também, pela disponibilidade da peça obtida por luz estruturada e impressa por estereolitografia para comparação, algo que não aconteceria em um projeto no qual se aplicasse somente as tecnologias de baixo custo.

Enquanto parte dos resultados pode derivar das limitações da técnica fotogramétrica de baixo custo em si, outra parte pode caber às suas condições de uso, como o número de imagens obtidas, por exemplo. Os resultados podem ter variado, ainda, em função do grau de expertise do autor na produção das réplicas, assim como pelas ferramentas usadas para o pós-processamento da superfície das réplicas. A última, e talvez a mais relevante das limitações, está o grau subjetividade que a avaliação das réplicas impressas e moldadas apresenta.

Entretanto, apesar das limitações aqui apresentadas, a parcela dos resultados que foram atingidos permite afirmar que, ao final deste trabalho, se conclui que as tecnologias 3D de baixo custo podem ser usadas na produção de réplicas de ornatos em estuque com resultados comparáveis aos produzidos com as tecnologias de mais alto custo usadas como referência.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando superar as limitações deste trabalho, além de expandir seus resultados, como futuros desdobramentos possíveis, sugere-se:

- a) a comparação por RMS dos modelos tridimensionais digitais obtidos com modelos a serem digitalizados por *scanners* de menor custo;
- b) a comparação por RMS dos modelos tridimensionais digitais obtidos com modelos a serem digitalizados por diferentes *smartphones* com diferentes configurações de câmera;
- c) estudos envolvendo a produção direta de moldes por manufatura aditiva com o uso de filamentos flexíveis a partir dos ornatos digitalizados, aumentando a gama de marcas e tipos de filamentos usados, bem como o número de impressoras, verificando, concomitantemente, as possibilidades de produção automática de moldes a partir dos modelos tridimensionais digitais, eliminando eventuais necessidades de modelagem de tais moldes;
- d) ampliação dos critérios de avaliação das réplicas, incluindo a sensação tátil como parâmetro;
- e) o envolvimento de profissionais restauradores/conservadores visando à avaliação dos resultados obtidos e à obtenção de contribuições para a melhoria do processo de produção e avaliação das réplicas.

REFERÊNCIAS

3DINSIDER. **The 9 Different Types of 3D Printers**. [20-?]. Disponível em: <https://3dinsider.com/3d-printer-types/>. Acesso em: 2 dez. 2021.

3D-ICONS. **Guidelines & Case Studies**. Dublin: Paceprint, 2014, 116 p.

3D FORENSICS. 5 Common Mistakes when Photographing for Photogrammetry | CLICK 3D EP 1 | 3D Forensics CSI. YouTube, 27 de dezembro de 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=SzobKDDghGo&ab_channel=3DForensics. Acesso em: 15 jun. 2022.

ABER, J. S.; MARZOLFF, I.; RIES, J. B. **Small-Format Aerial Photography Principles, Techniques and Geoscience Applications**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2010. 268 p.

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.

ALICEVISION. **Meshroom**. 201? a. Disponível em: <https://alicevision.org/#meshroom>. Acesso em: 2 dez. 2021.

ALICEVISION. **AliceVision Association**. 201? b. Disponível em: <https://alicevision.org/association>. Acesso em: 2 dez. 2021.

ALICEVISION. **Supported image formats**. 2019. Disponível em: <https://github.com/alicevision/meshroom-manual/blob/develop/source/faq/supported-image-formats/supported-image-formats.rst>. Acesso em: 2 dez. 2021.

ARBACE, L.; SONNINO, E.; CALLIERI, M.; DELLEPIANE, M.; FABBRI, M.; IDELSON, A. I.; SCOPIGNO, R. Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue. **Journal of Cultural Heritage**, v. 14, n. 4, p. 332-345, 2013. DOI: 10.1016/j.culher.2012.06.008.

ASADPOUR, A. Mobile Photogrammetry for Architectural Documentation: Tips from a Case Study. **Academia Letters**, 2021. DOI: 10.20935/AL2085.

AUTODESK. **Degenerate Faces**. 2023. Disponível em: https://help.autodesk.com/view/MAXDEV/2023/ENU/?guid=degenerate_faces. Acesso em: 6 dez. 2023.

BALLETTI, C.; BALLARIN, M. An application of integrated 3D technologies for replicas in cultural heritage. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 6, p. 1-29, 2019. DOI: 10.3390/ijgi8060285.

BORGES, L. D. F.; SILVA, A. B. A.; PIRES, J. D. F.; VECCHIA, L. F. D.; VEIGA, M. A Representação de Gradis Metálicos como Atividade Didática: uma Conexão entre Patrimônio, Geometria e Tecnologias de Fabricação Digital. *In: III APROGED'S INTERNATIONAL CONFERENCE & XI INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN. Proceedings [...]* Lisboa: Universidade Lusíada de Lisboa, 2015. p. 319-327. Disponível em: <http://www.repositorio.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/3938/1/proceedings2%20-%20representa%c3%a7%c3%a3o%20de%20gradis.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2021.

CAMILOTTO, S.; DUARTE, D. C.; SONDA, M. P.; RUDZEWICZ, L. A importância da antiga Escola de Agronomia Eliseu Maciel como patrimônio cultural e sua atratividade turística. *In: XXII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas. Anais [...]* Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2013. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/SA_02901.pdf. Acesso em: 9 fev. 2023.

CARVALHO, J.; VOLPATO, N. *In: VOLPATO, N. Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. 1. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2017. cap. 1.

CASTAN, F. Never ending computing: lista de discussão sobre o programa Meshroom baseado no *framework* AliceVision no Google Groups. 09 dez. 2020. Disponível em: https://groups.google.com/g/alicevision/c/VkB8n_sYST0. Acesso em: 15 ago. 2023.

CELANI, G.; CANCHERINI, L. Digitalização tridimensional de objetos: um estudo de caso. *In: 13th CONGRESS OF THE IBEROAMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS*, 2009, São Paulo. **Proceedings [...]** CumInCAD, 2009. p. 309-311. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2009_1012.content.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

CERQUEIRA, F. V. *In: RUBIRA, L. (Org.). Almanaque do Bicentenário de Pelotas*. 1. ed. Santa Maria: Gráfica e Editora Pallotti, 2014. cad. 6.

CHEVALIER, C. **Vida e Obra de José Isella**: Arquitetura em Pelotas na segunda metade do século XIX. Pelotas: Ed. Livraria Mundial, 2002.

CORONA, E.; LEMOS, C. A. C. **Dicionário da Arquitetura Brasileira**. São Paulo: Edart – São Paulo Livraria Editora Ltda, 1972.

COSTA, I.; HEIDEN, R. **A Arte Decorativa da Casa do Conselheiro**. 201?. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/museudoce/a-arte-decorativa-da-sede-do-museu-do-doce/>. Acesso em: 2 jul. 2021.

COSTA, J. M. A. P. D. **Estudos cromáticos nas intervenções de conservação em centros históricos**: bases para a sua aplicação à realidade portuguesa. 1999. 754

p. Tese (Doutorado em Conservação do Patrimônio Arquitetônico) – Universidade de Évora, Évora, 1999.

DABOVE, P.; GRASSO, N.; PIRAS, M. Smartphone-Based Photogrammetry for the 3D Modeling of a Geomorphological Structure. **Applied Sciences**, v. 9, n. 18, 2019. DOI: 10.3390/app9183884. Acesso em: 19 dez. 2022.

DANTAS, P. V. D. F.; RIBEIRO, T. R. R.; SILVA, F. P. D.; BRUSCATO, U. M. Protótipo de dispositivo facilitador para digitalização 3D por fotogrametria com smartphones. *In: XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, 2016, Buenos Aires. **Proceedings** [...]. Blucher: SIGraDi, 2016. p. 297-305. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/151238/001008860.pdf?sequence=1>. Acesso em: 2 dez. 2021.

DE247 DIGITAL ENGINEERING. **DE Glossary: Subtractive Manufacturing**. [20-?]. Disponível em: <https://www.digitalengineering247.com/glossary/subtractive-manufacturing>. Acesso em: 2 dez. 2021.

DELANOY, S. S.; ZAMBRANO, L. G. Recuperação do centro histórico de Pelotas/RS: Programa Monumenta. **Seminário em Patrimônio Cultural. Pós-Graduação em Artes: Especialização em Patrimônio Cultural (PGA), Universidade Federal de Pelotas. Pelotas**, 2010.

DELL. **O prompt de comando: O que é e como usá-lo em um sistema Dell**. 2021. Disponível em: <https://www.dell.com/support/kbdoc/pt-br/000130703/o-prompt-what-it-is-and-how-to-use-it-on-a-dell-system>. Acesso em: 9 mar. 2023.

DPREVIEW. **5dmk2 ISO 100**. 2010. Disponível em: <https://www.dpreview.com/forums/post/35166390>. Acesso em: 28 mar. 2023.

ECHAVARRIA, K. R.; SONG, R.; FEW, D.; MEDEIROS E SÁ, A. Restoration of architectural ornament for historic buildings. *In: Eurographics Workshop on Graphics for Digital Fabrication*, 2016, Lisboa. **Proceedings** [...]. Goslar: Eurographics Association, 2016. p. 39-48. DOI: 10.2312/gdf.20161077.

ERICKSON, M. S.; BAUER, J. J.; HAYES, W. C. The Accuracy of Photo-Based Three-Dimensional Scanning for Collision Reconstruction Using 123D Catch. **SAE Technical Papers**, 2013. DOI: 10.4271/2013-01-0784.

EQUIPE TÉCNICA PROGRAMA MONUMENTA. **Cadernos de Encargos: Cadernos Técnicos**. v. 2. Brasília: Ministério da Cultura, IPHAN/Programa Monumenta, 2005.

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>.

FAWZY, H. E. D. The accuracy of mobile phone camera instead of high resolution camera in digital close range photogrammetry. **International Journal of Civil Engineering & Technology (IJCIET)**, v. 6, n. 1, p. 76-85, 2015. Disponível em: <https://picture.iczhiku.com/resource/paper/WHkDjrrJRFweAVvb.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

FOGGIATTO, J. A.; SILVA, J. V. L.. *In*: VOLPATO, N. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. 1. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2017. cap. 4.

FORMLABS. **Additive vs. Subtractive Manufacturing**. [20-?]. Disponível em: <https://formlabs.com/blog/additive-manufacturing-vs-subtractive-manufacturing/>. Acesso em: 2 dez. 2021.

FRADE, M. A importância do ensino dos moldes na reabilitação, conservação e restauro de estuques decorativos em gesso: técnicas tradicionais e modernas. **Revista Matéria-Prima**, v. 4, n. 2, p. 72-82, 2016. Disponível em: https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26211/2/ULFBA_MatPrima_V4_2_p72-82.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

FUHRMANN, S. **How to use UMVE in detail?** 16 mar. 2019. Disponível em: <https://github.com/simonfuhrmann/mve/issues/470>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FUHRMANN, S. **Welcome to the MVE wiki!** 2022. Disponível em: <https://github.com/simonfuhrmann/mve/wiki>. Acesso em: 2 dez. 2021.

FUHRMANN, S.; LANGGUTH, F.; GOESELE, M. Mve-a multi-view reconstruction environment. *In*: Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage. **Proceedings** [...] Darmstadt: 2014. p. 11-18. Disponível em: <https://diglib.org/bitstream/handle/10.2312/gch.20141299.011-018/011018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

FÜLLER, J. **Manual do Formador e Educador**. Lisboa: Livrarias Aillaud e Bertrand/Biblioteca de Instrução Profissional, 192?.

GENECHTEN, B. V.; QUINTERO, M. S.; SEIF, A.; GHATTAS, G. Laser Scanning the Past for the Future: Baalbek Temple. **Change Over Time**, v. 1, n. 2, p. 252-267, 2011. Disponível em: <https://muse.jhu.edu/article/463084/pdf>. Acesso em: 26 jan. 2021.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120 p.

GÓMEZ, F. D.; PEIRÓ, J. J.; BENAVENT, A. B.; RECUENCO, B. A.; JUAN, J. H. Modelado 3D para la generación de patrimonio virtual. **Virtual Archaeology Review**, v. 6, n. 12, p. 29-37, 2015. DOI: 10.4995/var.2015.4150.

GONÇALVES, A. L. D. **Os melhores celulares intermediários de 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/produto/231143-melhores-celulares-intermediarios-2021.htm>. Acesso em: 20 jun. 2022.

GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos BIM a partir de" nuvens de pontos"**: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015. 372 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Bahia, 2015.

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

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, Ó.; SÁNCHEZ-ORTIZ, A. Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII. **Conservar Património**, v. 30, p. 59-72, 2019. DOI: 10.14568/cp2018003.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, Ó.; SÁNCHEZ-ORTIZ, A.; MARTÍN, P. M. Anatomía animal. Técnicas digitales para la reconstrucción escultórica de la apariencia original de un modelo de cera del siglo XIX. **Intervención (México DF)**, v. 10, n. 19, p. 64-76, 2019. DOI: 10.30763/Intervencion.2019.19.209.

HOPKINSON, N.; HAGUE, R. J. M.; DICKENS, P. M. **Rapid manufacturing**: an industrial revolution for the digital age. Chichester: John Wiley & Sons, 2006, 304 p.

HORSWELL, J. *In*: SIEGEL, J. A.; SAUKKO, P. J.; HOUCK, M. M. **Encyclopedia of Forensic Sciences**. 2. ed. Elsevier, 2013. p. 368–371. DOI: 10.1016/B978-0-12-382165-2.00207-5.

HUBS. **CNC machining**: The complete engineering guide. [20-?]. Disponível em: https://www.hubs.com/guides/cnc-machining/?utm_campaign=Buffer%20-%20Social%20Media%20August&utm_content=76179871&utm_medium=social&utm_source=facebook#basics. Acesso em: 2 dez. 2021.

IPHAE. **Bem tombado**: Antiga Escola de Agronomia Eliseu Maciel. 2013. Disponível em: <http://www.iphae.rs.gov.br/Main.php?do=BensTombadosDetalhesAc&item=49100>. Acesso em: 26 abr. 2023.

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

IPHAN. **Pelotas (RS)**. 2014. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/281>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ISO/ASTM INTERNATIONAL. **ISO/ASTM 52910:2017(E)**: Standard guidelines for design for additive manufacturing. ISO/ASTM International: 2017. 14 p.

KLEIN, L.; LI, N.; BECERIK-GERBER, B. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. **Automation in Construction**, v. 21, p. 161–171, 2012. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.05.023.

KRAUS, K. **Photogrammetry - Geometry from Images and Laser Scans**. Berlim, Nova York: Walter de Gruyter, 2008.

LEAL, N. M. P. M. **A trajetória de uma Construção Patrimonial: A tradição doceira de Pelotas e Antiga Pelotas na Constituição do Museu do Doce da Universidade Federal de Pelotas**. 2019. Tese (Programa de Pós-Graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019. Disponível em: http://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/5484/1/NORIS%20MARA%20PACHECO%20MARTINS%20LEAL_Tese.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

LIZOTT, J. S.; ALVES, F. G. Desvendando o Lyceu Riograndense: apontamentos sobre a nova sede do MALG. **Revista Seminário de História da Arte - UFPel**, v. 2, n. 8, p. 1-13, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/Arte/article/view/17956/10912>. Acesso em: 8 fev. 2023.

LONER, B. A. Reconstrução da memória da UFPel. **História em Revista**, v. 1, p. 7-20, 1994. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/HistRev/article/view/13272/8325>. Acesso em: 9 fev. 2023.

LOPES, M. I. V. Pesquisa de comunicação: questões epistemológicas, teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de Ciências da Comunicação**, v. 27, n.1, p. 13-39, 2004. Disponível em: <http://www3.eca.usp.br/sites/default/files/form/biblioteca/acervo/producao-academica/001399190.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

MAGALHÃES, C. R. **A Escola de Belas Artes de Pelotas: da fundação à federalização (1949-1972) uma contribuição para a história da educação em Pelotas**. 2008. 110 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008. Disponível em: http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/bitstream/123456789/1712/1/Clarice_Rego_Magalhaes_Dissertacao.pdf. Acesso em: 27 abr. 2023.

MAGALHÃES, M. O. **Opulência e cultura na Província de São Pedro do Rio Grande do Sul: um estudo sobre a história de Pelotas (1860-1890)**. 1993. 257 p. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em História) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/112105/91434.pdf?sequence=1>. Acesso em: 9 fev. 2023.

MASCARENHAS, A. F.; FRANQUEIRA, M. Estuque ornamental: história e restauro. **Revista Brasileira de Arqueometria, Restauro e Conservação**, v. 1, n. 2, p. 1-6, 2007. Disponível em: <https://docplayer.com.br/4686590-Revista-brasileira->

de-arqueometria-restauracao-e-conservacao-vol-1-no-3-pp-100-105.html. Acesso em: 28 out. 2021.

MENDES, L. T.; GRIZ, C.; SEDREZ, M. O uso de Digitalização 3D em experiências de documentação digital de patrimônio histórico: o caso da Sede Social do Metropolitano de Lisboa. *In: XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital*, 2015, Florianópolis. **Proceedings** [...].Blucher: SIGraDi, 2015. p. 776-779. DOI: 10.5151/despro-sigradi2015-sp40275.

MUNIZ, G. R.; SILVA, F. P.; KINDLEIN JÚNIOR, W. K. Design, tecnologia e patrimônio: digitalização tridimensional como ferramenta de preservação de elementos de prédios históricos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 2, p. 53-66, 2018. DOI: 10.11606/gtp.v13i2.138358.

NETO, D. P.; SERRES, J. C. P. Programas federais de preservação ao patrimônio histórico em Pelotas/RS. **Mouseion**, n. 34, p. 11-26, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18316/mouseion.v0i34.5900>.

NEUTZLING, S. R. **Os Saberes e os Fazeres**: estuque em Jaguarão. Porto Alegre: Imagina Conteúdo Criativo, 2020. 64 p.

NUNES, C. D. S.; SILVA, A. B. A. D.; GOULART, S. C.; SILVA, B. H. Produção e Disponibilização de Modelos Táteis da Arquitetura Pelotense: Uma Ação Extensionista. **Expressa Extensão**, v. 23, n. 3, p. 94-106, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/expressaextensao/article/view/13930/8688>. Acesso em: 2 jul. 2021.

O'CONNOR, J. **Impact of image quality on SfM Photogrammetry**: colour, compression and noise. 2018. 166 p. Tese (Faculty of Science, Engineering and Computing) – Kingston University. 2018. Disponível em: <https://eprints.kingston.ac.uk/id/eprint/44221/1/O%27Connor-J-44221.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2022.

PATETTA, L. Considerações sobre o Ecletismo na Europa. *In: FABRIS, A. T. (Org). Ecletismo na arquitetura brasileira*. São Paulo: Nobel Edusp, 1987. p. 8-27.

PERRONE, F. R.; GOMES, H. M.; HEIDRICH, F. E.; SILVA, A. B. A. D. Desenvolvimento de Aplicativo para Visualização de Patrimônio Histórico-Arquitetônico em Realidade Aumentada. *In: 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics*, 2012, Fortaleza. **Proceedings** [...] CumInCAD, 2012, p. 366-368. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2012_239.content.pdf. Acesso em: 2 jul. 2021.

POLIDORI, E. D.; BANDEIRA, A. D. R. **Casarão nº 08**: Catálogo da restauração do Museu do Doce - UFPel. Pelotas: Ed. UFPel, 2020. 120 p.

PROTOLABS NETWORK. **What's the ideal filament for FDM 3D printing? 3D printing materials compared.** [202-]. Disponível em: <https://www.hubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>. Acesso em: 2 dez. 2023.

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

REESE, C. **MicMac GUI**. 2022. Disponível em: <http://clintons3d.com/plugins/other/micmacgui/index.html>. Acesso em: 22 set. 2022.

REILLY, C. **Basic Vs. Advanced Workflows In Metashape**. [S. l.: s. n.], 2020. 1 vídeo (3 min). Publicado por LinkedIn Learning. Disponível em: <https://www.linkedin.com/learning/photogrammetry-for-product-design-and-aec/basic-vs-advanced-workflows-in-metashape>. Acesso em: 23 set. 2021.

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.

RODRIGUES, V. P.; ZANCUL, E. S.; MANÇANARES, C. G.; GIORDANO, C. M.; SALERNO, M. S. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, Bauru, v. 12, n. 3, p. 1-34, 2017. DOI: 10.15675/gepros.v12i3.1657.

ROSENTHAL, M. D.; SANTOS, C. A. Á. Os Jardins dos Casarões Ecléticos Pelotenses. **Seminário de História da Arte-UFPeI**, Pelotas, n. 4, 2014. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.15210/SHA.V014.4935](https://doi.org/10.15210/SHA.V014.4935).

ROTHER, E. T. Revisão sistemática X revisão narrativa. **Acta paulista de enfermagem**, v. 20, n. 2, p. v-vi, 2007. DOI: 10.1590/S0103-21002007000200001.

ROZISKY, C. J. **Arte decorativa**: forros de estuques em relevo Pelotas, 1876/1911. 2014. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/5385>. 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.

SANDVIK COROMANT. **Centros de usinagem**. [20-?]. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/machine-tooling-solutions/machines/pages/machining-centres.aspx>. Acesso em: 28 out. 2021.

SANTOS, C. A. A. (Org.). **Ecletismo em Pelotas: 1870-1931**. Pelotas: Editora UFPel, 2014.

SATCHET, M. S. Feasibility study of using mobile phone camera in digital close range photogrammetry. **Journal of Thi-Qar University**, v. 7, n. 1, p. 61-70, 2011. Disponível em: <https://www.iasj.net/iasj/download/28b4b201cd8e2c74>. Acesso em: 15 jun. 2021.

SANTOS, C. A. Á.; ROZISKY, C. J.; GALLI, F. A Arte Decorativa de Estuques de Interiores em Pelotas. **Seminário de História da Arte-UFPel**, Pelotas, n. 2, 2012. DOI: <https://doi.org/10.15210/sha.v0i2.1845>.

SCHLEE, A. R. **O ecletismo na arquitetura pelotense até as décadas de 30 e 40**. 1993. 215 p. Dissertação (Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1752/000218117.pdf?sequence=1&isAll owed=y>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SCHNEID, G.; ESCOBAR, A.; SILVA, A. B. A. Realidade Aumentada e Turismo Ubíquo: Aplicação no Caso das Charqueadas Pelotenses. *In: 17th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 2013, Valparaíso. Proceedings [...]* CumInCAD, 2013. p. 190-194. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2013_358.content.pdf. Acesso em: 2 jul. 2021.

SCHOENBERGER, J. L. **Colmap**. 201?. Disponível em: <https://colmap.github.io/index.html>. Acesso em: 12 dez. 2022.

SCHURMAN, K. **What Is a Megapixel?** 2021. Disponível em: <https://www.lifewire.com/what-is-a-megapixel-493313>. Acesso em: 28 dez. 2021.

SCOPIGNO, R.; CIGNONI, P.; PIETRONI, N.; CALLIERI, M.; DELLEPIANE, M. Digital Fabrication Technologies for Cultural Heritage (STAR). *In: Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage. Proceedings [...]* Darmstadt: 2014. p. 75-85. DOI: <http://dx.doi.org/10.2312/gch.20141306>.

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

SILVA, A. B. A.; FÉLIX, N.; BARROS, L.; PIRES, J. D. F.; COSTA, E.; AGUIRRE, N. D. M. Dinâmica entre atividades de ensino, pesquisa e extensão para a produção de modelos digitais de interesse histórico e arquitetônico. *In: XIV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. Proceedings [...]* Havana: CUJAE, 2008. p. 1-7. Disponível em: https://eres.scix.net/pdfs/sigradi2008_141.content.pdf. Acesso em: 2 jul. 2021.

SILVA, A. B. A.; PIRES, J. D. F.; GOMES, H. M.; ESCOBAR, A.; FÉLIX, N. R. Sistematização e disponibilização da produção de modelos tridimensionais digitais de patrimônio arquitetônico. *In: 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics,*

2012, Fortaleza. **Proceedings** [...] CumInCAD, 2012B, p. 321-324. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2012_68.content.pdf. Acesso em: 2 jul. 2021.

STRATASYS. **3D Printer Materials**. [202-]. Disponível em: https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/?filter=Rigid+MT_FDM. Acesso em: 2 dez. 2023.

TOLENTINO, M. M. A.; GROETELAARS, N. Levantamento da Igreja de Nossa Senhora da Conceição do Boqueirão através das técnicas Fotogrametria Digital (*stricto sensu*) e *Dense Stereo Matching* (DSM). In: 1º Simpósio Científico ICOMOS, 2017, Belo Horizonte. **Proceedings** [...] ICOMOS BRASIL, 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/40652342/LEVANTAMENTO_DA_IGREJA_DE_NOSSA_SENHORA_DA_CONCEI%C3%87%C3%83O_DO_BOQUEIR%C3%83O_ATRAV%C3%89S_DAS_T%C3%89CNICAS_FOTOGRAMETRIA_DIGITAL_STRICTO_SENSENSE_E_DENSE_STEREO_MATCHING_DSM_TOLENTINO_M%C3%94NICA_1_GROETELAARS_NATALIE_2?auto=citations&from=cover_page. Acesso em: 23 nov. 2022.

TUDOCELULAR. **Melhor celular premium para comprar por menos de R\$ 2.200**. 2022. Disponível em: <https://www.tudocelular.com/especiais/noticias/n59895/guia-compras-entre-1600-e-1800.html>. Acesso em: 20 jun. 2022.

UFPEL. **45 anos UFPel: Prédios contam a história**. [201-]. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/45anos/predioscontamhistoria>. Acesso em: 28 abr. 2023.

UFPEL. **Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel: Histórico**. [202-]. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/faem/historico>. Acesso em: 28 abr. 2023.

UPCRAFT, S.; FLETCHER, R. The rapid prototyping technologies. **Assembly Automation**, v. 23, n. 4, p. 318-330, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1108/01445150310698634>.

VARGAS, J. M. Negócios, família e riqueza entre os Barões do charque (Pelotas-RS, c. 1850-c. 1900). **História e Economia**, v. 14, n. 1, p. 87-106, 2015. Disponível em: <https://www.historiaeeconomia.pt/index.php/he/article/view/122/109>. Acesso em: 12 ago. 2021.

VAZ, L. C. D. S. **Releitura da memória da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel através de seu arquivo fotográfico**. 2009. 102p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/ppgmp/files/2016/11/Luiz-Vaz.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2023.

VIEIRA, E. **Técnicas tradicionais de stuccos em revestimentos de interior portugueses**: história e tecnologia: aplicação à conservação e restauro. 2008. Tese (Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales) – Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400>.

14/30262. Acesso em: 15 jun. 2021.

VOLPATO, N. *In*: VOLPATO, N. **Manufatura aditiva**: tecnologias e aplicações da impressão 3D. 1. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2017. cap. 7.

VOLPATO, N.; SILVA, J. V. L.. *In*: VOLPATO, N. **Manufatura aditiva**: tecnologias e aplicações da impressão 3D. 1. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2017. cap. 5.

SAIF, W.; ALSHIBANI, A. Smartphone-Based Photogrammetry Assessment in Comparison with a Compact Camera for Construction Management Applications. **Applied Sciences**, v. 12, n. 3, p. 1-29, 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.