



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

Carolina de Freitas Bonfada

DIGITALIZAÇÃO 3D DE PEÇAS EM BRONZE DO PATRIMÔNIO CULTURAL DE PORTO ALEGRE
PARA CONFEÇÃO DE RÉPLICAS EM CASO DE DESAPARECIMENTO

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre

2019

CAROLINA DE FREITAS BONFADA

**DIGITALIZAÇÃO 3D DE PEÇAS EM BRONZE DO PATRIMÔNIO CULTURAL DE PORTO ALEGRE
PARA CONFECCÃO DE RÉPLICAS EM CASO DE DESAPARECIMENTO**

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

Orientador: Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva

Porto Alegre

2019

CIP - Catalogação na Publicação

Bonfada, Carolina de Freitas
DIGITALIZAÇÃO 3D DE PEÇAS EM BRONZE DO PATRIMÔNIO
CULTURAL DE PORTO ALEGRE PARA CONFECCÃO DE RÉPLICAS EM
CASO DE DESAPARECIMENTO / Carolina de Freitas Bonfada.
-- 2019.
126 f.
Orientador: Fábio Pinto da Silva.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Digitalização 3D. 2. Usinagem CNC. 3. Réplicas.
4. Patrimônio Cultural. 5. Bronze. I. Pinto da Silva,
Fábio, orient. II. Título.

Carolina de Freitas Bonfada

**DIGITALIZAÇÃO 3D DE PEÇAS EM BRONZE DO PATRIMÔNIO CULTURAL DE PORTO ALEGRE
PARA CONFEÇÃO DE RÉPLICAS EM CASO DE DESAPARECIMENTO**

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

Porto Alegre, 29 de março de 2019.

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva**

Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS – PGDESIGN/UFRGS
Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG)

Prof. Dr. Luiz Antônio Bolcato Custódio

Universidad Pablo de Olavo de Olavide
Programa de Pós graduação em Arquitetura e Urbanismo (UNIRITTER) – Examinador Externo

Prof. Dra. Mariana Pohlmann de Oliveira

Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG) – Examinador Externo

Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior

Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS – PGDESIGN/UFRGS
Departamento de Materiais – DEMAT/UFRGS – Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à minha família, que sempre respeitou as minhas decisões ao redor do mundo, onde conviveram com a arquitetura e urbanismo, juntamente com as artes, o design e a engenharia.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva, pela motivação e auxílio nos experimentos para a realização deste trabalho, pela paciência e pelos ensinamentos e oportunidades que enriqueceram meu aprendizado.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Design e em especial ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais, e todos os colegas pela aprendizagem e parcerias e especialmente aos professores Prof.^a Dr.^a Liane Roldo, Prof. Dr. Luís Henrique Alves Cândido e o Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior.

Agradeço ao João Pedro, pela parceria para realizar as caminhadas, para realizar o levantamento dos monumentos da cidade.

Agradeço Aline Reis que entrou na trajetória do trabalho para o auxílio de um experimento, e contribuiu além das impressões tridimensionais, me motivando para prosseguir com os estudos e ensaios.

Agradeço Felix Bressan que contribuiu com a sua experiência com as artes plásticas, ajudando a definir os ensaios para os testes acabamento superficial da peça.

À CAPES, pela bolsa concedida para realização deste Mestrado.

RESUMO

BONFADA, C. **Digitalização 3D de peças em bronze do patrimônio cultural de Porto Alegre para confecção de réplicas em caso de desaparecimento.** Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

O bronze é empregado em monumentos, esculturas, bustos, e placas, expostos em locais públicos. Por ser um material com alto valor comercial e possuir durabilidade em ambientes diversos vem sendo alvo de furtos no Brasil. Neste contexto, as emergentes tecnologias 3D podem ajudar nas práticas da preservação patrimonial. O objetivo deste trabalho é criar alternativas para obtenção de réplicas de precisão oriundas de peças em bronze do patrimônio histórico de Porto Alegre, aplicando as tecnologias 3D. Para tanto, utilizou-se como estudo de caso o Monumento a Bento Gonçalves, o qual teve suas placas em bronze furtadas durante o desenvolvimento deste trabalho. Através da digitalização 3D, realizada antes do furto, foi gerado um modelo fidedigno para viabilizar o processo. Para a fabricação de réplicas em materiais alternativos, foram estudados os processos de impressão 3D e de usinagem CNC, além do processo de moldagem a partir dessas técnicas. Após análise dimensional de peças moldadas em diferentes resinas, optou-se pelo uso do poliéster cristal. Para acabamento, foram estudadas técnicas de pigmentação, bem como de pintura e pátina na superfície das peças obtidas. Concluiu-se que a peça usinada fornece um melhor acabamento superficial para geração de um molde e que, com a aplicação de pigmentação e pintura na resina de poliéster moldada, é possível produzir uma peça de precisão, capaz de reproduzir a aparência do monumento original.

Palavras chave: Digitalização 3D; Usinagem CNC; Réplicas; Patrimônio Cultural; Bronze.

ABSTRACT

BONFADA, C. **USING 3D SCANS BRONZE PIECES OF THE CULTURAL HERITAGE FROM PORTO ALEGRE TO FABRICATE REPLICAS IN CASE OF DISAPPEARANCE.** Master Thesis (Master's degree in Design) - School of Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

Bronze is used in monuments, sculptures, busts, and plaques, which are displayed in public places. Being a material with a high commercial value and has a durability different environments making it a target for thefts in Brazil. At this context, emerging 3D technologies it might help practices of heritage preservation. The objective of this work is create alternatives to obtain precision replicas from bronze pieces of the historical heritage of Porto Alegre, applying 3D technologies. Therefore, the Bento Gonçalves Monument was used as a case study, which had plaques in bronze stuccoed during the development of this work. Through 3D scanning, performed before theft, a reliable model was generated to make the process viable. To manufacturing replicas in alternative materials, 3D printing and CNC machining processes were studied, as well the molding process from these techniques. After dimensional analysis of the molded pieces in different resins, was opted use the polyester crystal. For finishing, pigmentation techniques were studied, as well paint and patina on the surface in the pieces obtained. It was concluded that the machined piece provides a better finish surface to generate a mold, and that applying pigmentation and painting on the molded polyester resin it is possible to produce a precision piece capable to simulate the appearance of the original monument.

Keywords: 3D scanning; CNC machining; Replica in resin; Cultural Heritage, Bronze.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Monumento a Bento Gonçalves.....	22
Figura 2 – Modelo renderizado, através de digitalização 3D.....	23
Figura 3 – Processo de impressão FDM.	27
Figura 4 – Parâmetros de usinagem.....	29
Figura 5 – Processo de fabricação da réplica.	32
Figura 6 – Detalhe da assinatura de Caringi e ano de criação da obra.	33
Figura 7 – Caverna de Chauvet.....	35
Figura 8 – Reprodução da peça em arenito.	36
Figura 9 – Página repositório online LdSM, arquivos disponíveis em 3D para visualização.	37
Figura 10 – Comparação entre a impressão em alta qualidade e a impressão rápida.	38
Figura 11 – O busto de Francesco II Gonzaga.	39
Figura 12 – Análise dimensional dos modelos obtidos pelos processos de fabricação.....	39
Figura 13 – Escultura em bronze obtida a partir do molde de uma peça impressa em 3D.....	42
Figura 14 – Análise dimensional da peça usinada em poliuretano.....	44
Figura 15 – Erros dimensionais ocorridos em função dos processos de fabricação.....	45
Figura 16 – Trabalhos realizados pelo artista Luiz Henrique Mayer.	46
Figura 17 – Etapas da pesquisa.	48
Figura 18 – Busto do Barão de Santo Ângelo.	50
Figura 19 – Antônio Caringi Esculpindo o Monumento Bento Gonçalves.	51
Figura 20 – Exposição do centenário da revolução farroupilha.....	52
Figura 21 – Monumento à Bento Gonçalves após a inauguração.	52
Figura 22 – Estátua de Bento Gonçalves após o traslado, em 1941.	53
Figura 23 – Localização atual do Monumento a Bento Gonçalves.	53
Figura 24 – Monumento a Bento Gonçalves, em 16 de novembro de 2016.	54
Figura 25 – Placa furtada, lateral direita com a frente voltada para a Avenida Azenha.....	55
Figura 26 – Placa furtada, lateral esquerda com a frente voltada para a Avenida Piratini.	55
Figura 27 – Resquícios da moldura da segunda placa furtada.....	56
Figura 28 – Digitalização das placas do monumento a Bento Gonçalves.	57
Figura 29 – Processamento dos dados da digitalização 3D (Placa lateral direita).	58
Figura 30 – Destaque da parte selecionada, 210 x 330 mm (Placa lateral direita).....	58
Figura 31 – Ferramentas de usinagem utilizadas.....	59
Figura 32 – Simulação da usinagem CNC da peça ensaiada, no <i>software</i> Edgcam.....	60
Figura 33 – Testes de impressão 3D das placas em escala 1:100.	61
Figura 34 – Materiais utilizados para o molde de silicone.....	61
Figura 35 – Fabricação do molde de silicone.	62
Figura 36 – Materiais utilizados para o processo de moldagem.....	62
Figura 37 – Ensaios de moldagem das resinas.	63
Figura 38 – Digitalização da peça em resina do ensaio 2.....	63
Figura 39 – Moldagem de uma das peças, com pigmentação com pasta metálica.....	65
Figura 40 – Quantidades utilizadas nos ensaios com pasta de poliéster.....	66
Figura 41 – Quantidades utilizadas nos ensaios com tinta acrílica.....	66
Figura 42 – Quantidades utilizadas nos ensaios com pasta metálica.	67
Figura 43 – Quantidades utilizadas nos ensaios com pó metálico.....	67
Figura 44 – Ensaios pintura acrílica.....	68
Figura 45 – Tipologias encontradas nos monumentos de Porto Alegre.	70
Figura 46 – Monumentos com intervenções.	71
Figura 47 – Placa sem identificação.	71
Figura 48 – Modelos 3D das placas do Monumento a Bento Gonçalves.....	72
Figura 49 – Modelos 3D das placas, após o tratamento.	73

Figura 50 – Etapa de desbaste da peça.	74
Figura 51 – Peça usinada finalizada, já com aplicação de selador.	74
Figura 52 – Impressões na escala 1:100, dimensões 137 x 105 x 10 mm.	75
Figura 53 – Impressão do protótipo da peça, dimensões 310 x 210 x 51 mm.	76
Figura 54 – Peça impressa finalizada.	76
Figura 55 – Molde de silicone.	77
Figura 56 – Peças desmoldadas.	77
Figura 57 – Ensaio 2, exemplo de contração das peças, ampliação de 2x.	78
Figura 58 – Peça do ensaio 2, com ampliação de 2x.	79
Figura 59 – Peça do ensaio 3, com ampliação de 2x.	79
Figura 60 – Peça do ensaio 5, com ampliação de 2x.	80
Figura 61 – Análise das peças produzidas por fabricação digital.	81
Figura 62 – Detalhe das superfícies das peças produzidas por fabricação digital.	82
Figura 63 – Erro dimensional do molde, em milímetros.	83
Figura 64 – Erros dimensionais das peças ensaiadas, em milímetros.	84
Figura 65 – Médias dos erros dimensionais dos processos de produção (em milímetros)	85
Figura 66 – Peças moldadas com pasta de poliéster.	86
Figura 67 – Peças moldadas com tinta acrílica.	87
Figura 68 – Peças moldadas com pasta metálica.	88
Figura 69 – Peças moldadas com pó metálico.	89
Figura 70 – Peças selecionadas de cada material testado para pigmentação.	89
Figura 71 – Peças com técnica de acabamento superficial com tinta acrílica.	90
Figura 72 – Peça com pintura de pasta metálica e com aplicação de reagente para pátina.	91
Figura 73 – Peça final para avaliação do processo proposto.	92
Figura 74 – Análise dimensional da peça final (unidades em mm).	93

LISTA DE ABREVIATURAS

3D	Tridimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior
CNC	Comando Numérico Computadorizado
dpi	Pontos por polegada (do inglês, <i>Dots per Inch</i>)
FDM	Modelagem por fusão e deposição (do inglês, <i>Fused Deposition Modeling</i>)
ICOMOS	Conselho Internacional de Monumentos e Sítios
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
JPG	Join Photographic Experts Group – Extensão de arquivo
m	Metros – Unidade de medida
MB	Megabytes – Unidade de medida
MDF	Chapa de fibras de madeira de média densidade (do inglês, <i>Medium Density Fiberboard</i>)
mm	Milímetros – Unidade de medida
LdSM	Laboratório de Design e Seleção de Materiais
OBJ	Arquivo de objeto 3D (do inglês, <i>Object File Wavefront 3D</i>)
PDF	Portable Document File – Extensão de arquivo
PNG	Portable Network Graphic – Extensão de arquivo
rpm	Rotações por minuto
SLA	Estereolitografia (do inglês, <i>Stereolithography</i>)
STL	Stereolithography – Extensão de arquivo
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UV	Ultra violeta
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA	12
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivos específicos	13
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	PATRIMÔNIO CULTURAL	15
2.1.1	Preservação Patrimonial	17
2.1.2	Preservação e monumentos de Porto Alegre	19
2.2	TECNOLOGIAS 3D	23
2.2.1	Digitalização 3D	24
2.2.2	Impressão 3D	26
2.2.3	Usinagem CNC	28
2.2.4	Estado da arte	30
2.3	MATERIAIS E PROCESSOS DE MOLDAGEM	42
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1	LEVANTAMENTO DOS MONUMENTOS DE PORTO ALEGRE	49
3.2	MONUMENTO A BENTO GONÇALVES	50
3.2.1	Breve histórico	51
3.2.2	O monumento nos dias atuais	53
3.3	DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL	56
3.4	FABRICAÇÃO DIGITAL	58
3.4.1	Usinagem CNC	59
3.4.2	Impressão 3D	60
3.5	OBTENÇÃO DE MOLDE DE SILICONE	61
3.6	MOLDAGEM EM RESINAS	62
3.7	DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL A LASER	63
3.8	MOLDAGEM EM RESINAS COM PIGMENTAÇÃO	64
3.8.1	Ensaio de moldagem com pasta de poliéster	65
3.8.2	Ensaio moldagem com tinta acrílica	66
3.8.3	Ensaio moldagem com pasta metálica	67
3.8.4	Ensaio moldagem com pó metálico	67
3.9	ACABAMENTO SUPERFICIAL	68
3.9.1	Pintura acrílica	68
3.9.2	Pasta metálica e reagente para pátina	69
3.10	EXECUÇÃO PEÇA FINAL	69
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1	ENSAIOS PARA REPRODUÇÃO DA PEÇA	72
4.1.1	Digitalização das peças	72
4.1.2	Usinagem da placa lateral direita	73
4.1.3	Impressão 3D das peças	75
4.1.4	Moldagem	76
4.1.5	Avaliação das peças ensaiadas	80
4.2	ENSAIOS PARA COLORAÇÃO DA PEÇA	86
4.2.1	Moldagem em resinas com materiais para pigmentação	86
4.2.2	Acabamento superficial	89
4.3	EXECUÇÃO PEÇA FINAL	91

5. CONCLUSÃO	94
5.1 Sugestão para trabalhos futuros	96
REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICE A	106

1. INTRODUÇÃO

Dentro do contexto brasileiro, qualificar e preservar os monumentos das cidades é uma tarefa difícil, devido à velocidade das transformações urbanas que impactam na conservação patrimonial. Porto Alegre é uma capital que possui mais de trezentos monumentos, comportando peças de diversas partes do mundo, com diversos materiais e técnicas de reprodução (CUSTÓDIO, 2016). Dentre elas, há em torno de 100 peças de bronze, objetos de interesse do presente trabalho.

Devido ao bronze possuir um alto valor comercial, há um maior risco de furtos de obras, o que, de fato, já vem ocorrendo em cidades brasileiras, como Porto Alegre (TILL, 2002; ALVES 2004; MEIRA, 2004; REYS et al., 2008; MÜLLER, 2017). Outro fator que necessita de atenção são as depredações, as quais podem ocorrer por ação de vândalos (AIDAR, 2016; DORNELLES, 2016; ESTRÁSULAS, 2017). Além disso, as condições ambientais específicas de cada local, como o dano causado por intempéries e a perda de material devido ao desgaste, possuem um impacto significativo na estética das peças em bronze.

Depois de furtadas, algumas peças são recriadas, normalmente, com o uso de materiais alternativos ao bronze, para evitar novas ações de furto (BENEDETTI, 2016). Visto que na preservação patrimonial enfrentam-se dificuldades e carências para a proteção de bens, para a perpetuação dos monumentos é possível repensar um método de como facilitar a reconstrução das peças. Atualmente, o método utilizado para reprodução de obras desaparecidas é manual, o qual gera peças com características similares (BENEDETTI, 2016), porém, nem sempre seguem a linguagem e a forma do objeto original, culminando em releituras das obras. Com o auxílio da digitalização tridimensional (3D), é possível produzir réplicas fidedignas, viabilizando análises digitais, facilitando a reprodução e o restauro das peças (ANDRADE et al., 2012; GOMES et al., 2014; CALIN et al., 2015; LEONOV et al., 2015; KRZNAR et al., 2016; XU et al., 2017). A contribuição deste trabalho se baseia em uma proposta de documentar e viabilizar futuras análises, restaurações, reproduções e/ou substituições de peças em bronze do patrimônio histórico de Porto Alegre, por meio da inserção da tecnologia tridimensional em ações de preservação.

Com a obtenção de modelos 3D das peças do patrimônio histórico, ainda pode ser gerado um acervo de modelos virtuais para as entidades de preservação. Nesse sentido, um acervo digital facilitaria a manutenção e o controle das obras, bem como atividades de valorização do patrimônio, como a educação patrimonial, servindo de suporte para a difusão da identidade cultural.

1.1 PROBLEMA

A problemática deste trabalho diz respeito ao desaparecimento (por furto ou não) e depredação de bens patrimoniais públicos em bronze, bem como a necessidade de assegurar a proteção da forma dessas obras. Mesmo depois das obras passarem por um processo de reprodução ou restauro, são rapidamente atacadas, devido ao valor comercial do bronze. A maioria delas está localizada ao alcance das pessoas, facilitando o ato de depredação, o que é agravado pela falta de educação patrimonial. Outro fator é o tamanho das peças, que costumam ter dimensões pequenas, facilitando o transporte. Assim, identifica-se a necessidade de uma técnica para obtenção de réplicas fidedignas, com a utilização de materiais que substituam o bronze.

Nesse contexto, a tecnologia requer especialização para dominar as técnicas de reprodução e restauro, pois há distintas necessidades. Este trabalho demanda diversas expertises, tais como a digitalização 3D do objeto para captura da forma; o processamento dos modelos virtuais e a sua manipulação em *softwares*; e a fabricação digital de réplicas. A partir desses fatores, é possível pensar e criar uma estratégia para elaborar processos para replicar e restaurar um objeto patrimonial, considerando as particularidades em relação a escalas e formas.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é criar alternativas de processo para obtenção de réplicas de precisão oriundas de peças em bronze do patrimônio histórico, aplicando as tecnologias 3D. Busca-se possibilitar a replicação dos monumentos para a sociedade, criando soluções de como substituir peças furtadas ou vulneráveis, utilizando materiais alternativos sem menosprezar as formas de representação do original.

1.2.1 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral foram traçados alguns objetivos específicos:

- a. Investigar os monumentos em bronze de Porto Alegre, gerando um panorama da situação física e de risco das obras;
- b. Estudar as técnicas atualmente utilizadas para reposição de peças desaparecidas (furtadas), bem como o uso de materiais alternativos ao bronze;
- c. Avaliar a fidelidade de peças obtidas por digitalização 3D e reproduzidas a partir da fabricação digital;
- d. Avaliar o acabamento superficial em relação ao aspecto visual, considerando a reprodução da aparência do bronze em diferentes materiais.

1.3 JUSTIFICATIVA

Infelizmente, muitas cidades brasileiras, incluindo Porto Alegre, estão sofrendo ataques a monumentos públicos. Muitos passam por vandalismo e até mesmo possuem partes furtadas, na maioria das vezes são peças em bronze, que são arrancadas brutalmente (DORNELLES, 2016; ESTRÁSULAS, 2017).

Diante da realidade encontrada em termos de patrimônio histórico, este trabalho busca testar métodos para confeccionar réplicas das peças vulneráveis ao furto, localizadas em praças, parques e outros locais públicos, contribuindo para minimizar o impacto de um problema da cidade, pois é possível “devolver” para a população uma peça com importância cultural que foi furtada. Nesse contexto, o trabalho torna-se essencial em termos de patrimônio cultural, pois a reposição da réplica no local do monumento perdido é uma contribuição direta para a sociedade.

A aquisição de dados por digitalização tridimensional é uma técnica já consagrada, porém, no Brasil ainda não é comum utilizar essa tecnologia para auxiliar o patrimônio histórico. Isso pode ser resolvido com o desenvolvimento em conjunto com outras tecnologias, como a fabricação digital, para a confecção de réplicas. Neste sentido, a nova peça portará características visuais mais similares à peça original, sendo capaz de promover a sensação de reviver a obra que foi perdida.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação foi estruturada em cinco capítulos. Nesse primeiro capítulo foram apresentados o problema de pesquisa, os objetivos do trabalho e a justificativa.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o assunto, a qual aborda o patrimônio cultural e sua preservação, bem como o histórico de alguns monumentos de Porto Alegre. Também versa sobre as tecnologias 3D, com foco nos processos que foram aplicados nos ensaios e nos materiais utilizados.

No terceiro capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados nos procedimentos da pesquisa, os quais foram baseados no levantamento dos monumentos de Porto Alegre e na digitalização tridimensional do monumento à Bento Gonçalves, o qual é o estudo de caso do presente trabalho.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos e as respectivas discussões realizadas. O quinto capítulo apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados temas relativos ao patrimônio cultural, preservação, educação patrimonial e monumentos de Porto Alegre, bem como o uso de tecnologias e processos a fim de obter um registro digital de monumentos e um mecanismo para reproduzi-los fidedignamente em relação à obra original.

2.1 PATRIMÔNIO CULTURAL

De acordo com a Constituição Federal (BRASIL, 2008), na seção sobre cultura, o artigo 215 afirma que o Estado deve garantir o pleno exercício dos direitos culturais e o acesso à cultura nacional, também garante apoio e incentivo à valorização e à difusão das manifestações culturais. O artigo 216 define:

Constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira. Nos quais se incluem:

I – as formas de expressão;

II – os modos de criar, fazer e viver;

III – as criações científicas, artísticas e tecnológicas;

IV – as obras, objetos, documentos, edificações e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais;

V – e os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico (BRASIL, 2008, p. 124).

As constituições brasileiras de 1937 e 1988, legislações de diversos países e tratados internacionais consagram o termo patrimônio, ora chamado de artístico, histórico ou paisagístico. A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 2008) renovou e ampliou o conceito de patrimônio que estava estabelecido desde 30 de novembro de 1937, substituindo a denominação Patrimônio Histórico e Artístico, por Patrimônio Cultural Brasileiro.

Quanto a sua titularidade, Meira (2004) descreve que o patrimônio pode ser propriedade pública ou privada. Funari (2006) afirma que o patrimônio possui duas determinações, a de bem material concreto (como um edifício ou um monumento) e a

de valor simbólico. Ressalta o patrimônio cultural, como os antigos que legaram uma cultura material que serve de suporte para as memórias e da identidade cultural de um grupo social.

Os bens preservados assumem importância como permanências que representam o material e o simbólico, gerando o fato de serem significativos para a sociedade (MEIRA, 2004). A preservação destas evidências alimenta as memórias e a história da cidade e dos seus habitantes, relacionando um projeto de cidade e não uma mera contemplação do passado.

Meira (2004) define a cidade como um “complexo fenômeno em contínuo processo de transformação no espaço e no tempo”, delimitado em espaços que são reconhecidos e vivenciados pelos seus habitantes. A autora ainda destaca que o espaço urbano é o local onde se manifestam as permanências, as rupturas, as continuidades, as relações do antigo com o novo. O patrimônio cultural se encaixa e conecta o passado e o futuro, que lembra que a cidade é fruto de uma construção histórica.

Entretanto, a preservação do patrimônio cultural está impregnada pelo senso comum e pela sociedade, pois quando se fala em patrimônio, a imagem reducionista comumente lembrada é de uma edificação monumental consagrada. Por muitos é visto como uma concretização romântica, capaz de reviver o passado e para outros uma entrave na busca do progresso. Outro conflito no campo da preservação surge quando os monumentos passam a ser tratados como objetos privilegiados de ação por parte das políticas oficiais. Pois as permanências e referências não devem ser estáticas e imutáveis, nem restritas a cada monumento, com a mudança da sociedade, vêm a mudança de valores, o que é considerado patrimônio cultural (MEIRA, 2004). Esse tema envolve fatores complexos, no âmbito físico e abstrato, e reflete nos interesses da sociedade.

Meira (2004) alega que depende dos valores da sociedade, presentes em cada momento da trajetória, a definição do que vai se construir, logo, o que deve se preservar. Neste contexto, torna-se importante um aprofundamento nos conceitos que cercam a preservação patrimonial.

2.1.1 Preservação Patrimonial

Meira (2001) considera que a preservação é um conceito abrangente, que englobaria: as ações de conservação, como manutenção, restauração, consolidação, entre outras; as ações de identificação, como os inventários, levantamentos, documentações e registros; as ações de proteção, como tombamento entre outras formas de precaução definidas por lei; e as ações de promoção, como comunicação e difusão do patrimônio cultural e a valorização patrimonial.

No Brasil, a política federal de preservação foi institucionalizada em 1930, através da criação do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN (MEIRA, 2004). Essa é uma entidade vinculada ao Ministério da Cidadania (anteriormente Ministério da Cultura) que responde pela preservação do Patrimônio Cultural Brasileiro e dos bens reconhecidos pela UNESCO como o patrimônio da humanidade (IPHAN, 2019). O instituto é responsável por proteger e promover os bens culturais do País, assegurando sua permanência e usufruto para as gerações presentes e futuras. Visando facilitar o conhecimento dos bens nacionais, a gestão do patrimônio é efetivada segundo características de cada grupo: Patrimônio Material, Patrimônio Imaterial, Patrimônio Arqueológico e Patrimônio da Humanidade.

Conforme o Conselho Internacional dos Museus e Comitê de Conservação (ICOM-CC, 2017), define-se a conservação preventiva como "todas as medidas e ações são destinadas para evitar e minimizar a futura deterioração ou perda". Meira (2004) destaca que não adianta restaurar ou salvaguardar o patrimônio cultural, se não tem importância para quem as detêm, pois novamente sofrerá com o processo de deterioração. Nesse sentido, deve-se trabalhar a recuperação física juntamente com as ações de valorização, como a educação patrimonial. Custódio (2014) afirma que é necessário conhecer para preservar, reafirmando as palavras de Aloísio Magalhães:

[...] a própria comunidade é a melhor guardiã de seu patrimônio. Só se protege o que se ama, só se ama o que se conhece (MAGALHÃES, 1985, p. 184).

Conforme o IPHAN (2014), a educação patrimonial é definida como os processos educativos formais e não formais que têm como foco o patrimônio cultural apropriado

socialmente como recurso para a compreensão sócio histórica das referências culturais em todas as suas manifestações, a fim de colaborar para seu reconhecimento, sua valorização e preservação. Considera-se, ainda, que os processos educativos devem primar pela construção coletiva e democrática do conhecimento, por meio de diálogo entre os agentes culturais e sociais e principalmente pela participação das comunidades produtoras das referências culturais.

A política de educação patrimonial do IPHAN está estruturada em três eixos de atuação: Inserção do tema Patrimônio Cultural na educação formal; Gestão compartilhada das ações educativas; Instituição de marcos programático no campo da Educação Patrimonial (IPHAN, 2014).

Conforme Sessegolo (2016, pág. 5), “faz-se necessário a instauração de programas de educação permanente que propiciem a conscientização das novas gerações para relevância do tema”, ressaltando o aspecto das práticas de educação patrimonial.

Segundo o IPHAN (2014), as experiências educativas são efetivas quando integradas às vidas das pessoas, inseridas e percebidas nas práticas cotidianas. Ao invés de preservar lugares, como as edificações e objetos apenas pelo seu valor, cria-se um processo de retificação, associando continuamente os bens culturais e a vida cotidiana, como a criação de símbolos, para fortalecer os vínculos das comunidades com o seu Patrimônio Cultural, incentivando a participação social em todas as etapas da preservação dos bens. Ainda segundo o IPHAN (2014), cabe ao poder público exercer o papel de mediador da sociedade civil, contribuindo para a criação de canais de interlocução.

A Constituição estabelece a parceria entre o poder público e as comunidades para a promoção, preservação e proteção do Patrimônio Cultural Brasileiro. No entanto, mantém a responsabilidade de gestão do patrimônio e da documentação relativa aos bens à administração pública. As parcerias entre o poder público e o privado são ações de interesse da população, e devem ser incentivadas para uma comprovação de impulso pelo bem comum (CUSTÓDIO, 2016).

Especificamente, na cidade de Porto Alegre, é possível identificar a intenção de educação patrimonial a partir de alguns programas, projetos e atividades. Neste

contexto, faz-se necessária uma breve revisão de como a cidade de Porto Alegre preserva os seus monumentos.

2.1.2 Preservação e monumentos de Porto Alegre

Segundo Meira (2004), as políticas públicas de preservação em Porto Alegre passaram a ser institucionalizadas na década de 1970, e compreendem aquelas relacionadas ao planejamento urbano e às ações específicas de proteção e conservação dos bens patrimoniais. Em 1979, foi criado o Museu de Porto Alegre, definido como o arquivo oficializado como instituição. Em seguida, no ano de 1981, foi criado um setor responsável pela preservação do patrimônio, implantando a Equipe do Patrimônio Histórico e Cultural - EPAHC.

Segundo Custódio (2016), a responsabilidade de conservação e preservação do patrimônio histórico de Porto Alegre é dever da Secretaria Municipal da Cultura, com parcerias de outras secretarias municipais. Foram inventariadas mais de três centenas de monumentos, que constituem um acervo acumulado, a partir de meados do século XIX, que resulta na caracterização da identidade de Porto Alegre. Independente da época, estilo e materiais do monumento, o conjunto integra o patrimônio paisagístico e cultural da cidade, distribuído por espaços públicos, como parques, largos, praças e vias públicas. É possível identificar uma conexão de épocas e linguagens, entre as obras em diversas localizações da cidade, como por exemplo, o centro histórico.

O Programa Monumenta é uma iniciativa cultural realizada pelo IPHAN, que ocorreu em 26 cidades brasileiras, incluindo Porto Alegre. O objetivo do programa é melhorar as condições dos sítios históricos urbanos, incluindo a restauração de monumentos, edificações, praças e ruas (IPHAN, 2010).

Segundo Custódio (2014), um dos maiores projetos de promoção cultural que Porto Alegre teve, foi o Viva o Centro, que está conjugado com outros programas de projetos públicos e privados de recuperação física de bens culturais. O programa é uma atividade dinâmica de ocupação de espaços, seguindo a linha da revitalização.

Klein (2014) destaca as caminhadas orientadas do Programa Viva o Centro, o qual teve início em 2006, criado pela administração municipal visando a recuperação do centro histórico da cidade. As atividades do programa apresentam os valores da

cidade ao público, que até então os desconhecia ou os renegava. A primeira caminhada contou com 30 participantes, e teve uma resposta imediata do público, demonstrando que o interesse e afeto pelo local não havia acabado. Nas sessões seguintes o número saltou para 80 participantes e, em 3 meses de projeto, contava com a presença de 150 pessoas em cada edição. O projeto contou com a cobertura e o apoio da mídia, por ser uma atividade de valorização do orgulho e vontade de pertencimento com a cultura. Em 2008, os registros apontavam números superiores a 200 pessoas por edição, com orientações de especialistas de diversas áreas e com roteiros diversificados. Em 2014, foram somadas 117 edições, registrando um total de 10 mil participantes, e as atividades incorporaram audiodescrição permitindo acessibilidade às pessoas com deficiência visual. Atualmente, em 2019, a Secretaria Municipal de Cultura organiza o evento Viva o Centro à Pé, por meio do Centro de Pesquisa Histórica de Porto Alegre (<https://cphpoa.wordpress.com>).

Porto Alegre possui o Projeto Construção Cultural, promovido pelo Sindicato das Indústrias da Construção Civil no Estado do Rio Grande do Sul (Sinduscon). Em 2014, o projeto visou o resgate do patrimônio histórico, com o caráter de recuperar a leitura visual do Parque Farroupilha como um conjunto. A reconstrução do parque oportuniza uma melhor compreensão do espaço público, que é um cenário de fatos históricos e artísticos. Para o sucesso do projeto, a restauração dos monumentos foi necessária, foi feito o resguardo de algumas das peças originais pela Secretaria do Meio Ambiente, para salvaguardar o acervo contra furtos. Os monumentos que foram guardados foram utilizados para criação de moldes em gesso para serem reproduzidos em resina, com acabamento superficial com intenção de simular o bronze. Os objetos que não estavam mais presentes, por furto, foram reproduzidos através de documentações, e moldados pelo escultor Luiz Henrique Mayer. As novas peças em resina possuem o mesmo conceito das obras originais, e possibilitaram a recuperação dos monumentos, acreditando reviver um museu aberto, qualificando a cidade (BENEDETTI, 2016).

Em Porto Alegre, a escultura pública mais antiga é a “Estátua do Conde de Porto Alegre”, feita em mármore vindo da Itália, inaugurada em 2 de fevereiro de 1885, em um ponto importante da capital, a Praça da Matriz. Em 1910 o monumento foi realocado, para a Praça Conde de Porto Alegre, próximo ao Viaduto Loureiro da Silva,

onde se encontra atualmente (TILL, 2002, pág. 31).

Segundo Till (2002), os deslocamentos dos monumentos são algo constante nas cidades, pois estão em construção e evolução, para acompanhar o ritmo da cidade. Outro exemplo é a fonte “A Samaritana” que estava situada desde 25 de setembro de 1916 na Praça Montevideu, e foi transportada, em 1935, para a Praça da Alfândega. Segundo Custódio (2016), foi fabricada uma réplica durante o programa Monumenta e a peça original foi restaurada após ataques de vandalismo, e está exposta no Paço dos Açorianos.

No que tange a monumentos de bronze, podem-se citar: o monumento ao Laçador (localizado no sítio do Laçador); o monumento a Bento Gonçalves (na Praça Piratini); o monumento a General Osório, o monumento ao Barão do Rio Branco, as esculturas de Mário Quintana e Carlos Drummond de Andrade (localizados na Praça da Alfândega); o monumento a Júlio de Castilhos (na Praça da Matriz); o monumento a José Loureiro da Silva (Câmara Municipal de Porto Alegre); e a estátua do Gaúcho Oriental (localizada no Parque Farroupilha).

Também, na Praça da Alfândega e no Parque Farroupilha, bem como em diversos pontos espalhados pela cidade, há bustos de muitas personalidades da história gaúcha. Ainda, cabe destacar que muitos monumentos, independentemente do seu material principal, possuem placas feitas em bronze.

O principal objeto de estudo deste trabalho foi o monumento a Bento Gonçalves (Figura 1), de autoria do escultor gaúcho Antônio Caringi. Localizado na Avenida João Pessoa, uma das principais da cidade, ele contém uma estátua equestre em tamanho real no topo e continha dois relevos na base, todos em bronze. Os relevos foram furtados no decorrer desta dissertação de mestrado. O monumento e seu histórico é abordado com maior profundidade no item 3.2.

Figura 1 – Monumento a Bento Gonçalves.



A estátua “O Laçador”, também obra do artista Antônio Carangi, é um dos principais monumentos da cidade. A escolha da proposta foi por meio de concurso público em 1954, para buscar a representação a figura do gaúcho, no pavilhão do Rio Grande do Sul, na Feira Internacional do IV Centenário da cidade de São Paulo, no Parque Ibirapuera. A estátua de bronze chegou a Porto Alegre em quatro partes, foi realizada através do processo de fundição a cera perdida. Inaugurado em 20 de setembro de 1958, na Praça do Bombeador, a cerimônia começou no Monumento a Bento Gonçalves, integrando as celebrações da semana farroupilha (FLORES, 2012).

Em 1992, a Câmara Municipal de Porto Alegre aprovou a Lei Complementar nº 279, instituindo, oficialmente, o Monumento do Laçador como símbolo oficial da cidade. Em 2008, a Lei Estadual nº 12.992, declara a Estátua do Laçador integrante do patrimônio histórico e cultural e escultura-símbolo do Estado do Rio Grande do Sul (LDSM, 2017). A estátua está situada em seu próprio largo, nas proximidades da entrada da cidade de Porto Alegre e do Aeroporto Internacional Salgado Filho. O monumento foi digitalizado em 3D pela equipe do LdSM (Figura 2), em 2011. Esse e outros casos de digitalização 3D são abordados no item 2.2.4.

Figura 2 – Modelo renderizado, através de digitalização 3D.



Fonte: Equipe Laboratório de Design e Seleção de Materiais, UFRGS.

Nas últimas décadas, diversos trabalhos e projetos ilustraram e com sucesso demonstraram um enorme potencial das tecnologias 3D aplicadas ao campo do patrimônio cultural. (PIERACCINI, GUIDI, ATZENI, 2001). A seguir, são fundamentadas as tecnologias utilizadas neste trabalho, bem como é apresentado o estado da arte.

2.2 TECNOLOGIAS 3D

As tecnologias 3D são ferramentas que facilitam o armazenamento de dados e possibilitam a reprodução dos elementos digitalmente, também viabilizam a manipulação de modelos virtuais tridimensionais. Essas tecnologias podem promover análises digitais de modelos 3D para facilitar a manipulação da forma, isso viabiliza substituições e recriações de objetos (SCHAICH, 2007.; WACHOWIAK e KARAS, 2009.; ABATE et al., 2010.; BALLETI, et al., 2017.; SEGRETO et al., 2017). O uso de modelos virtuais em três dimensões pode ser considerado uma ferramenta eficaz, para validar as hipóteses formais históricas e científicas (MUZZUPAPPA et al. 2012).

No contexto do patrimônio cultural, o Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) vem desenvolvendo trabalhos com diversas tecnologias 3D. Dentre elas, destaca-se o uso da digitalização tridimensional (SILVA et al. 2010; SILVA, 2011; FLORES, 2012; FLORES et al., 2012; POHLMANN et. al., 2012; SILVA, KINDLEIN, 2013; ROSSI, SILVA, KINDLEIN, 2014; CARDOSO et al. 2014; MUNIZ, 2015; BARBIERI, 2016; DANTAS et al. 2016; POHLMANN et. al., 2016), da usinagem CNC (SILVA, FALLER, KINDLEIN, 2006; POHLMANN, 2012; PEREIRA, 2015) e da impressão em 3D (SILVA et al. 2009; SILVA, CALDOVINO, 2015).

2.2.1 Digitalização 3D

Na literatura, há vários exemplos de digitalização em duas dimensões, tais como as pinturas, e também de objetos tridimensionais de diferentes materiais, incluindo madeira, pedra, mármore, cerâmica e metais (BERALDIN, 1999; MUZZUPAPPA et al., 2012). A digitalização tridimensional está assumindo um lugar importante na documentação e em técnicas de análises utilizadas para monitorar objetos do patrimônio cultural (ZHENG e ZHONG, 1999; BEAUBIEN et al., 2007; SCHAICH, 2007).

Desde o surgimento das tecnologias de visualização 3D, a digitalização tridimensional vem sendo utilizada e se tornou uma ferramenta essencial para o estudo de inúmeras frentes de pesquisa. Neste contexto, a digitalização é uma ferramenta de desenvolvimento, que possibilita a confecção de réplicas, que auxiliam a preservação do patrimônio (BRANCAGLION et al., 2009).

Silva (2006) afirma que a digitalização tridimensional consiste em adquirir dados, com auxílio de ferramentas computacionais, que permitem obter com grande precisão detalhes de superfícies, texturas e até objetos inteiros. A aquisição de dados da digitalização a laser, normalmente, é realizada através de uma varredura completa da superfície do objeto digitalizado, gerando um arquivo de texto com os respectivos pontos descritos em coordenadas (x,y,z). Esses arquivos de coordenadas são denominado como nuvens de pontos. O autor ainda define como importante o controle da resolução, ou seja, o espaçamento entre os pontos adotado para a captura.

Os equipamentos de digitalização tridimensional possuem diferentes tecnologias de aquisição, tais como: laser, luz branca ou estruturada, infravermelho,

sensores de contato, fotografia ou mesmo raios-X (SILVA, 2011).

A obtenção de modelos 3D do patrimônio cultural representa um processo complexo que pode ser feito utilizando a digitalização tridimensional e o método depende do monumento a ser digitalizado (CALIN et al., 2015). Os autores também afirmam que as pesquisas na área do patrimônio estão em constante desenvolvimento nos sistemas de aquisição, possibilitando a alta fidelidade dos modelos 3D.

Segundo Pieraccini, Guidi e Atzeni (2001), o campo do patrimônio cultural pode obter benefícios com o uso da imagem digital 3D de alta precisão, para aplicar na conservação, estudo e restauração de obras. Ainda segundo os autores, laboratórios de diferentes países desenvolveram sistemas e testaram as aplicações, realizando projetos pioneiros sobre a digitalização de patrimônio.

A representação digital 3D de monumentos demonstra ser um método confiável, para fins de preservação de patrimônio histórico (FERNÁNDEZ-PALACIOS, MORABITO, REMONDINO, 2017). O desenvolvimento de tecnologias 3D aplicadas no campo do patrimônio cultural resulta efeitos de extrema importância do ponto de vista da preservação, valorização e comunicação. Atualmente, as instituições desenvolvem projetos interdisciplinares, contando com a cooperação de diferentes campos de pesquisa, assim é possível gerar resultados relevantes. A colaboração tecnológica como o uso da computação gráfica para documentação auxilia os trabalhos de preservação e também facilita o acesso ao patrimônio histórico (PIERACCINI, GUIDI, ATZENI, 2001; BALLETTI et al., 2017).

Atualmente, a digitalização 3D alcançou um papel relevante no campo do patrimônio cultural (SEGRETO et al., 2017). A disponibilidade dos modelos digitais 3D de artefatos abre uma porta para uma nova era de herança cultural: criação de museus virtuais, catalogação de artefatos, conservação, planejamento e simulação de restauração, monitoramento de artefatos submetidos à degradação ambiental, reconstrução virtual de peças danificadas ou faltantes e reprodução de réplicas.

Neste contexto, o processo de digitalização 3D está se tornando uma ferramenta importante para a conservação e fabricação de artefatos do patrimônio cultural. A reprodução de um componente ornamental de construção histórica é tradicionalmente um trabalho intenso e caro para construir, porém, a confecção de

réplicas com o uso da digitalização 3D dos componentes e impressão 3D facilitam a construção desses elementos (SEGRETO et al., 2017; XU et al. 2017).

Segundo Segreto et al. (2017), o processo metodológico aplicado na conservação e valorização do patrimônio cultural consiste em três etapas: aquisição da geometria do artefato, com o uso de tecnologias 3D; visualização e melhoria do modelo digital adquirido; possível uso da manufatura aditiva para reproduzir o modelo físico do artefato.

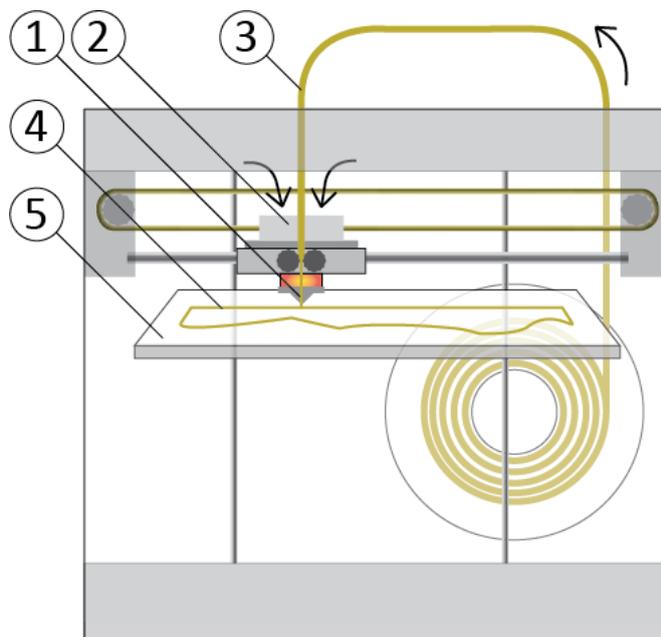
2.2.2 Impressão 3D

A tecnologia de impressão 3D vem sendo utilizada atualmente no mundo todo, mas seu início pode ser considerado na década de 1980, no momento em que foi chamada de prototipagem rápida (GAUBATZ, 1996). Em seguida, a nomenclatura manufatura aditiva foi adotada, por ser definida como um processo para unir materiais para fazer peças a partir de dados de modelo 3D, geralmente realizado como o processo de deposição de camada em camada (LEE et al., 2017).

Um dos processos mais utilizados, inclusive com alternativas de baixo custo ou do tipo faça-você-mesmo, é a modelagem por deposição de material fundido (FDM). A técnica de impressão 3D por FDM é baseada na tecnologia de manufatura aditiva, por camadas, permitindo a fabricação de objetos físicos, por meio de dados gerados no sistema CAD (SILVA e CALDOVINO, 2015).

Nascimento (2013) explica o processo de fabricação da peça por FDM (Figura 3), que é construída por camadas de um material termoplástico extrudado. O cabeçote extrusor possui um bico que recebe continuamente o material que se deposita na forma de fio e tem sua temperatura controlada por um sensor. O cabeçote se movimenta nos eixos x e y posicionados sobre uma mesa, depositando o material em uma camada com determinada altura. Após finalizada uma camada, a mesa recebe movimento no eixo z, para depositar a próxima camada com altura diferente.

Figura 3 – Processo de impressão FDM.



Legenda: 1) Bico extrusor; 2) Cabeçote de extrusão com movimentos nos eixos x e y; 3) Filamento termoplástico; 4) Filamento extrudado; 5) Mesa com movimento no eixo z.

As vantagens da impressão 3D permitem a criação de moldes em um curto período de tempo, porém, a impressão pode apresentar erros dimensionais, como, por exemplo, os efeitos de temperatura adequada do bico de extrusão, as propriedades do material utilizado, o posicionamento adequado da extrusora, entre outros (ROY e DICKENS, 2017).

Mesmo que essa tecnologia ainda apresente restrições, devido a materiais ou precisão instrumental, a reprodução de peças está gradualmente melhorando o nível de qualidade (SEGRETO et al., 2017). Além disso, a pesquisa de polímeros está evoluindo rápido, e as reproduções logo se aproximarão mais do original, não apenas do ponto de vista morfológico, mas também do físico, o que resolveria o problema da compatibilidade de materiais utilizados nas impressões.

Segundo Balletti et al. (2017), mesmo que as tecnologias possibilitem o processo de impressão em 3D, elas possuem diferentes níveis de precisão, que hoje em dia podem ser considerados satisfatórios. Isso é mais evidente no campo industrial, mas também nota-se em outros campos, como o patrimônio cultural, que se beneficia de novos Instrumentos para a restauração e preservação de bens culturais. As

características métricas de precisão e exatidão de modelos impressos, com o uso da tecnologia 3D devem estar relacionadas com as mesmas características do modelo digital obtido através de técnicas analíticas. Assim, no campo do patrimônio existe a possibilidade de novos sistemas de catalogação, acesso e estudo, na qual os modelos, tanto virtuais como tangíveis, representem a visualização da forma de cada artefato, de interesse artístico e histórico.

Balletti et al. (2017) afirmam que as impressoras 3D demonstraram eficácia em muitos campos de aplicação, em particular no patrimônio cultural. Graças às inovações das tecnologias em multimídia, agora é possível desenvolver novas formas de análise e fruição do patrimônio cultural, que já vem sendo utilizadas em conjunto com os métodos tradicionais. Ainda segundo os autores, destaca-se que recentes experiências de modelagem e impressão em 3D mostraram uma necessidade de introduzir novos profissionais para apoiar os arqueólogos, arquitetos, engenheiros, restauradores e conservadores, pois esses profissionais exigem o uso de tecnologias digitais relacionadas à pesquisa instrumental, modelagem e impressão 3D.

A fabricação digital de réplicas 3D pode substituir obras que tenham que ser removidas da sua posição original, por exemplo, em um museu, se o objeto original necessita ser restaurado ou emprestado para uma exposição temporária (BALLETTI et al. 2017). A substituição de monumentos pode ser permanente, as obras podem ser protegidas em locais adequados, para evitar uma maior degradação (BASILICA DI SAN PETRONIO PROJECT, 2017). Ainda no âmbito da fabricação digital, outro processo que merece destaque é a usinagem CNC.

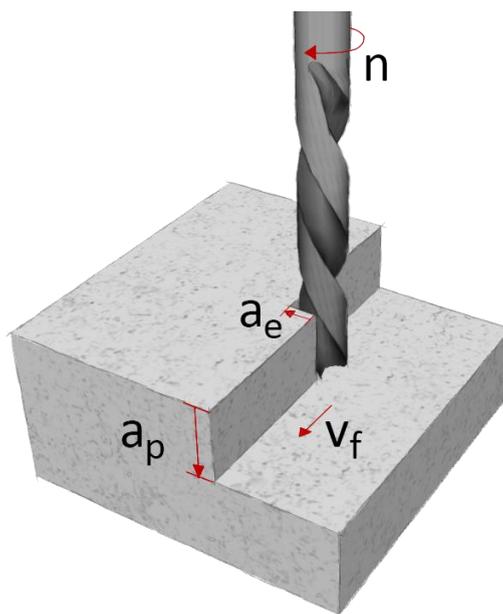
2.2.3 Usinagem CNC

Morris (2010, p.134) destaca que as técnicas e tecnologias estão em evolução, e descreve a usinagem como um processo de fabricação que retira lascas de uma massa sólida, datada da criação dos primeiros produtos humanos, como machados e facas. Hoje em dia a remoção de material é realizada por meio de tornos, fresadoras, brocas e esmeris. Ainda segundo o autor, esses processos são precisos e produzem formas complexas, principalmente quando combinados com controle numérico computadorizado (CNC).

Neste caso, os equipamentos são controlados por computadores e recebem a informação do modelo 3D, normalmente realizado através de softwares CAD (*Computer-Aided Design*) para a produção do objeto (KOC et al., 2017). A ligação entre o modelo 3D e a máquina de usinagem é realizada através de *softwares* CAM (*Computer-Aided Manufacturing*), que transformam o modelo digital do objeto em uma série de comandos, possíveis de transmitir para a máquina (BALLETTI et al., 2017).

No âmbito da usinagem CNC, o fresamento é um dos processos mais utilizados. No fresamento, o movimento de corte é gerado pela rotação da ferramenta e sua translação em relação à peça. Devem ser observados os parâmetros de corte: rotação, penetração de trabalho, profundidade de corte, velocidade de avanço, conforme a Figura 4 (SILVA, 2011).

Figura 4 – Parâmetros de usinagem.



Legenda: velocidade de rotação (n), velocidade de avanço (V_f), profundidade de corte (a_p), e penetração de trabalho (a_e).

KOC et al. (2017) estudaram os efeitos da usinagem CNC, analisando os parâmetros em relação à qualidade superficial da peça. Variando a velocidade de rotação e a velocidade avanço da fresa, foram ensaiadas peças em MDF. O estudo concluiu que a maioria dos problemas nas peças que passam pelo processo de fresamento ocorre em função de não usar os parâmetros adequados, na máquina em relação ao material utilizado.

Segundo Wachowiak e Karas (2009), a usinagem é uma possibilidade de criação de réplicas. A usinagem conta com uma ampla gama de materiais que podem ser usados para as reproduções, a qual é uma vantagem dessa técnica. O fresamento pode ser feito em metais ferrosos e não ferrosos, madeira, gesso e muitos tipos de plásticos. Os autores afirmam que o nível de resolução e escolha do material determina o custo final da réplica.

Balletti et al. (2017) destacam os tipos de reproduções que surgiram para auxílio do patrimônio cultural: figuras arqueológicas, esculturas, elementos arquitetônicos, pinturas e obras de arte. Os autores descrevem que as réplicas podem ser utilizadas de várias maneiras e com diversos materiais, como, por exemplo, para estudo e pesquisa, para oportunizar a recriação de partes faltantes de um objeto, aprimoramento em oficinas de escolas, *merchandising* de museus e a criação de exposições alternativas de museus, tais como exposições com peças táteis para deficientes visuais e cegos.

2.2.4 Estado da arte

Os tópicos anteriores abordaram as tecnologias 3D utilizadas neste trabalho: digitalização 3D, impressão 3D e usinagem CNC. Neste tópico são apresentadas, em ordem cronológica, pesquisas realizadas em cada uma dessas áreas, individualmente ou de forma integrada.

No que tange à digitalização 3D, projetos robustos envolvendo o patrimônio cultural começaram a despontar no final dos anos 1990 (BREUCKMANN, 2014). Em 1997, o Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá e a Universidade de Padova, na Itália, realizaram imagens digitais tridimensionais da escultura *Madonna col Bambino*, obra de Giovanni Pisano. Também foi feita a digitalização de dois relevos em bronze, obras de Donatello, localizadas na *Cappella degli Scrovegni*, em Padova. O trabalho utilizou um escâner com luz estruturada em conjunto com a fotogrametria (BERALDIN et al., 1999).

Em 1999, um pesquisador do Centro de Pesquisa da IBM, Thomas Watson e equipe, realizaram uma digitalização tridimensional que gerou o modelo 3D da escultura fiorentina *Pietà*, do artista Michelangelo. Para o trabalho foram utilizadas as técnicas estereográficas. A equipe planejou usar as tecnologias de fotografia digital 3D, para facilitar o gerenciamento do banco de dados e melhor visualizar detalhes, para

habilitar o exame e análise, que não é permitido realizar na escultura original (ABOUAF, 1999).

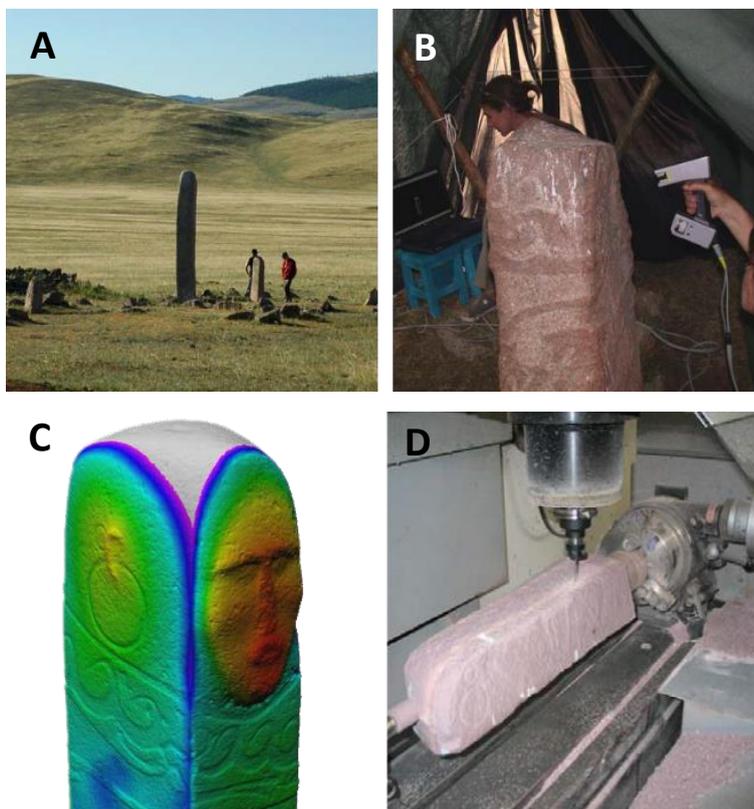
Um projeto de destaque neste campo foi o Projeto Michelangelo (LEVOY et al., 2000), realizado por um grupo de pesquisadores da Universidade de Stanford, desenvolvido em Florença, na Itália. A equipe criou um sistema de *hardware* e *software* para digitalizar monumentos, a fim de capturar a forma e a cor. A equipe digitalizou 10 estátuas realizadas por Michelangelo, incluindo David, localizado na *Galleria dell'Accademia*, para desenvolver o sistema. O objetivo da pesquisa era capturar a geometria das marcas de cinzel, a qual demanda uma resolução de $\frac{1}{4}$ mm, porém a estátua era grande demais para gerar um modelo 3D. A estátua possui 5 metros de altura, sem o pedestal, a digitalização resultou um modelo de 2 bilhões de polígonos, com uma precisão de 0,5 milímetros. Neste sentido, GODIN et al. (1999) indicam que a resolução da digitalização revelou vestígios do trabalho do cinzel e da granularidade do material. Levoy et al. (2000) acreditavam que observado as marcas do cinzel, poderiam ver como o artista trabalhou e quais ferramentas foram utilizadas.

O Departamento de Eletrônica e Telecomunicações, da Universidade de Florença, em 2000, realizou aquisições tridimensionais, utilizando duas técnicas. A primeira foi a digitalização de luz estruturada, que digitalizou o detalhe da *Porta del Paradiso*, localizado no Batistério do *Duomo de Santa Maria del Fiori*, e a segunda utilizou um sistema de triangulação a laser, que é um equipamento portátil montado em um tripé. Foi digitalizado um busto de uma obra de arte do artista Andrea della Robbia (PIERACCINI, GUIDI e ATZENI, 2001).

Os estudos de Beaubien et al. (2007) utilizaram a digitalização como um teste piloto para determinar a aplicabilidade e utilidade da digitalização 3D para aplicações patrimoniais. A pesquisa foi realizada com parceria do Instituto Smithsonian, em Washington. O trabalho foi realizado na Mongólia, no sítio arqueológico Ulaan Tolgoi, datado de 3.000 anos a.C. (Figura 5a). Os autores realizaram a comparação de duas técnicas de digitalização 3D, a primeira utiliza o laser portátil (Figura 5b) e outra usa o sistema de luz estruturada. Os autores testaram técnicas de fabricação digital, utilizando modelos 3D em arquivos STL (Figura 5c). A equipe utilizou a usinagem CNC (Figura 5d) para criar uma réplica. Os autores afirmam que peças fabricadas podem ser

utilizadas como substitutas no local original. Uma vez que sofrem ameaças severas, as obras originais podem ser removidas para um ambiente adequado, protegido e seguro.

Figura 5 – Processo de fabricação da réplica.



A) Sítio arqueológico Ulaan Tolgoi, B) Digitalização, C) Modelo 3D, D) Usinagem CNC.

Fonte: Adaptado de Beaubien et al. (2007).

Wachowiak e Karas (2009) utilizam a digitalização e a fabricação 3D, para recriar objetos inteiros ou partes faltantes, como, por exemplo, a fabricação de uma réplica através da usinagem de um crânio humano do século 17, do Museu Nacional de História Natural, do Instituto Smithsonian, em Washington.

Armesto et al. (2010) apresenta uma metodologia combinando a tecnologia do escâner laser terrestre com as técnicas de processamento digitais, para estudar danos aos materiais que constituem edifícios históricos. O trabalho testou três escâneres com diferentes especificações técnicas, para comparar o mais adequado deles.

Na Universidade Federal do Paraná, um grupo de pesquisa investigou métodos de como reproduzir e armazenar informações do patrimônio cultural, para auxiliar as

técnicas de conservação. Foram gerados modelos 3D de objetos artesanais feitos por comunidades indígenas, obtendo modelos ricos em cor e textura, com a utilização do escâner a laser Konica Minolta Vivid 910 e a câmera de alta resolução Canon EOS 5D em conjunto. A equipe demonstra um método simples de executar, realizando o mapeamento 2D-3D e seu resultado pode ser utilizado remotamente para aplicações, simulações e monitoramento do patrimônio (ANDRADE et al., 2012).

A digitalização da estátua “O Laçador” foi realizada pela equipe do Laboratório de Seleção de Materiais da UFRGS e contou com o apoio da Coordenação da Memória Cultural, da Secretaria Municipal de Cultura de Porto Alegre. A digitalização ocorreu em agosto de 2011 e foi necessária a utilização de um caminhão-cesto para alcançar a estátua que fica em uma coxilha. Utilizando o scanner 3D Konica Minolta Vivid 9i, o processo de digitalização durou 12 horas (FLORES, 2012). O nível de detalhes do modelo tridimensional permite ver a assinatura de Caringi e o ano da elaboração da obra (1954), na base da escultura (Figura 6). Um modelo simplificado para visualização online está disponível em <http://www.ufrgs.br/ldsm/lacador>.

Figura 6 – Detalhe da assinatura de Caringi e ano de criação da obra.



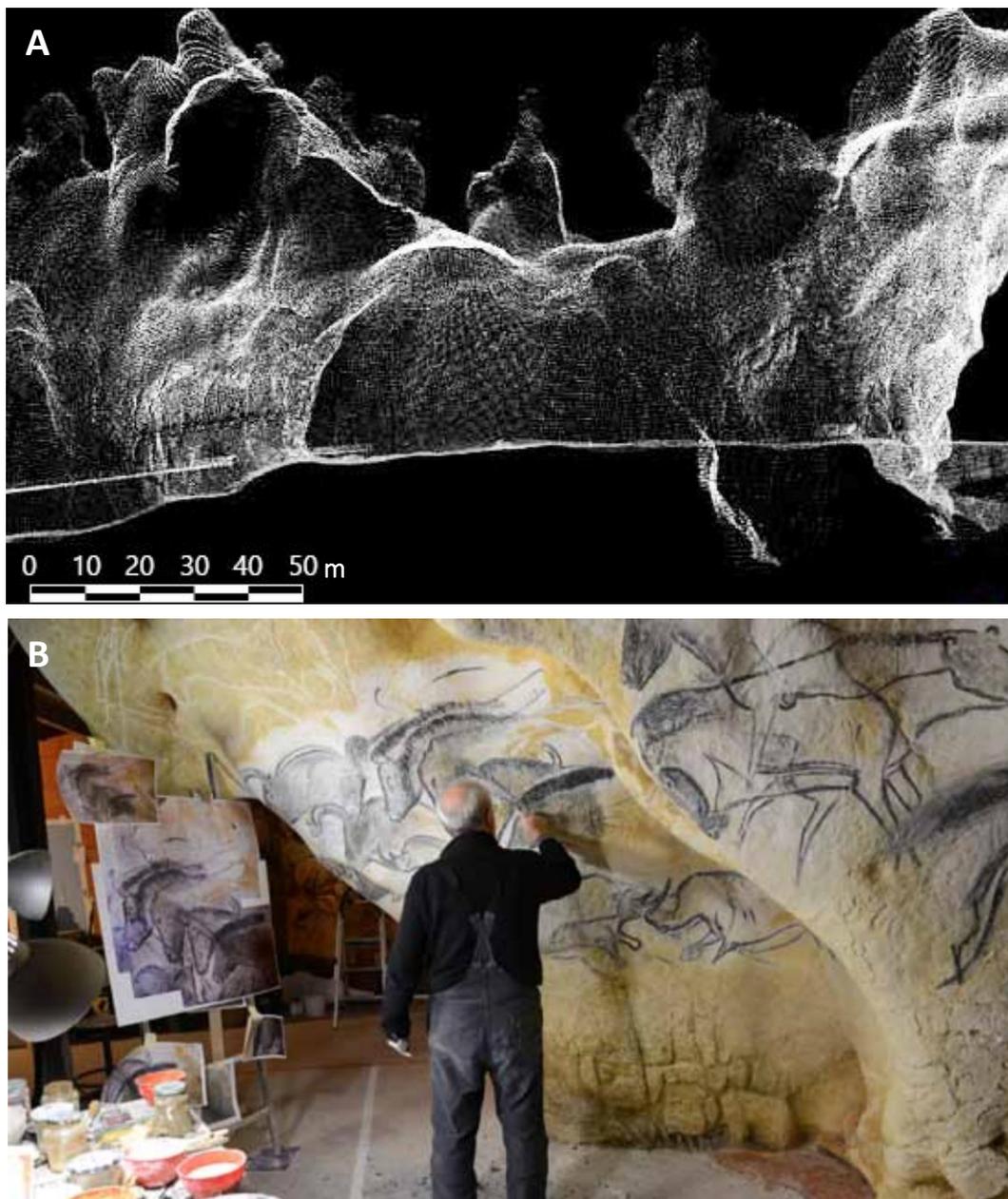
Fonte: Equipe Laboratório de Design e Seleção de Materiais, UFRGS.

Na Austrália, Zlot et al. (2014) buscaram uma solução eficiente para capturar um complexo local patrimonial, utilizando um dispositivo portátil de digitalização 3D a laser. Normalmente, os locais que são considerados patrimônios históricos, são organizados por múltiplas estruturas distribuídas espacialmente em uma grande área. A equipe utilizou o Zebedee, que é um sistema de mapeamento, e digitalizou um conjunto culturalmente significativo, resultando uma nuvem de 520 milhões de pontos, tendo um modelo realístico como resultado.

A difusão e aproximação de acervos de museus pode ser amplificada com as tecnologias, contribuindo com a utilização de modelos tridimensionais. O LdSM realizou uma pesquisa para obter modelos 3D fidedignos de peças do museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo, contribuindo com a preservação e divulgação de peças do patrimônio cultural. No trabalho de Rossi et al. (2014), foram digitalizadas duas peças, uma escarradeira e um urinol, ambas obtidas através da digitalização a laser, com o Scanner Digimill 3D. A equipe concluiu que a digitalização é uma técnica que contribui significativamente com os museus, possibilitando o acesso de peças virtuais, tornando-as acessíveis a qualquer lugar do mundo (ROSSI et al. 2014).

O patrimônio mundial vem sendo auxiliado pelas tecnologias 3D, utilizadas para replicar e resguardar peças e até mesmo recriar ambientes, como, por exemplo, a *La Grotte Chauvet-Pont-d'Arc*, que é uma réplica da Caverna de Chauvet, a qual é famosa por suas pinturas pré-históricas. Após o reconhecimento e autenticidade em 1994, feita por Jean Clottes, inspetor geral de arqueologia e especialista em arte rupestre internacional da UNESCO e ICOMOS, o acesso à caverna foi restringido, sendo autorizado apenas para pesquisadores. Assim, surgiu a ideia de transmitir as representações que existem no interior da caverna, para entender o cenário, a flora, a fauna e o ambiente que as pessoas viveram na região há 36.000 anos. A caverna original possui 8.500 m², porém, foram reconstruídos 3.000 m² em um edifício museu, com a colaboração da equipe de investigação científica, tornando-se a maior réplica feita em escala real do mundo. As pinturas e gravuras, paleontológicas e geológicas, foram reproduzidas com o uso da digitalização tridimensional, a qual gerou uma nuvem de pontos (Figura 7a). Posteriormente, a construção da réplica (Figura 7b) foi feita com resina e concreto (CLOTES, 2015, pág. 3).

Figura 7 – Caverna de Chauvet.

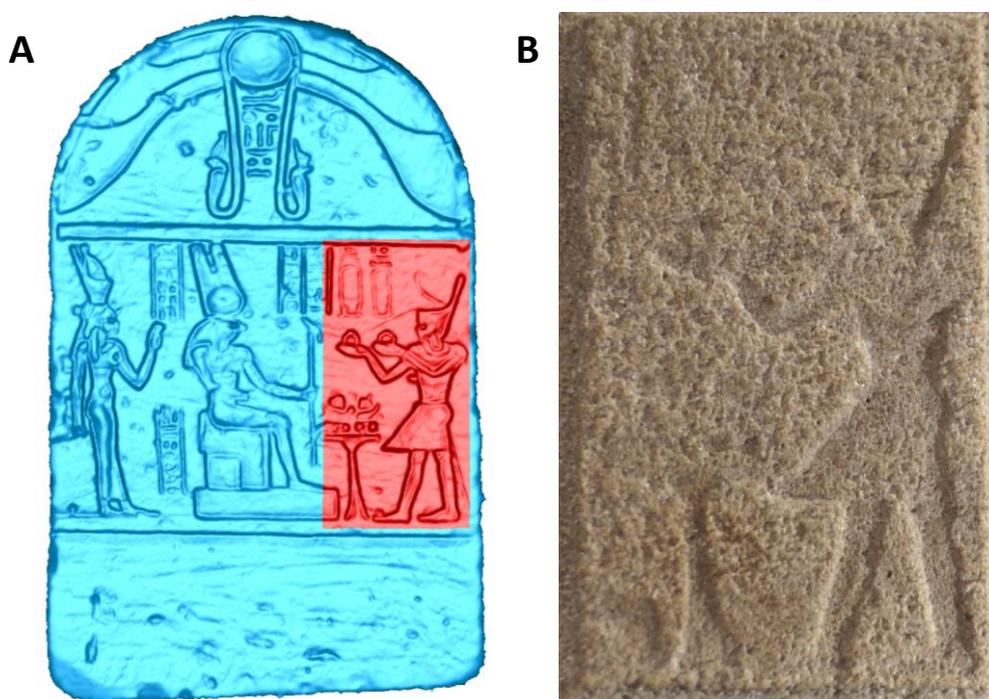


A) Nuvem de pontos, B) Construção da réplica.
Fonte: Adaptado de Cabinet Pérezio (CLOTTE, 2015).

Um grupo de pesquisadores russos realizou um trabalho buscando a preservação de informação digital de estruturas leves metálicas, utilizando um estudo de caso. A equipe digitalizou uma estrutura hiperbolóide, a qual é a mais famosa das torres de Moscou. Os documentos das torres estavam quase completamente perdidos, pois os desenhos de todos os elementos haviam sido feitos em 1947. O objetivo do projeto foi criar um modelo 3D preciso, para documentar as medidas e as informações das torres, utilizando a digitalização a laser e as documentações existentes (LEONOV et al., 2015).

No Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM), foi realizado um estudo para a produção de uma réplica de parte de uma Estela Egípcia em arenito. Foi utilizada a digitalização 3D (Figura 8a) e em seguida a usinagem CNC (Figura 8b), mostrando ser uma opção de produção de objetos no material original, no caso em arenito. Os autores concluíram que a produção de réplicas com auxílio das tecnologias 3D contribui com a preservação e a integridade da peça, pois possibilita produzir peças no material mais próximo possível do original e sem contato físico com a obra (PEREIRA et al. 2015).

Figura 8 – Reprodução da peça em arenito.



A) Marcação da parte reproduzida, B) Peça usinada em arenito.

Fonte: Adaptado de Pereira et al. 2015.

Muniz (2015) relaciona a digitalização 3D e o patrimônio cultural, com aquisição de dados dos elementos de fachada dos prédios históricos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tais elementos foram disponibilizados online, através do Repositório 3D do Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS (<http://www.ufrgs.br/ldsm/3d>). A coleção abrange alguns dos modelos 3D que foram digitalizados pela equipe ao longo do tempo (Figura 9).

Figura 9 – Página repositório online LdSM, arquivos disponíveis em 3D para visualização.

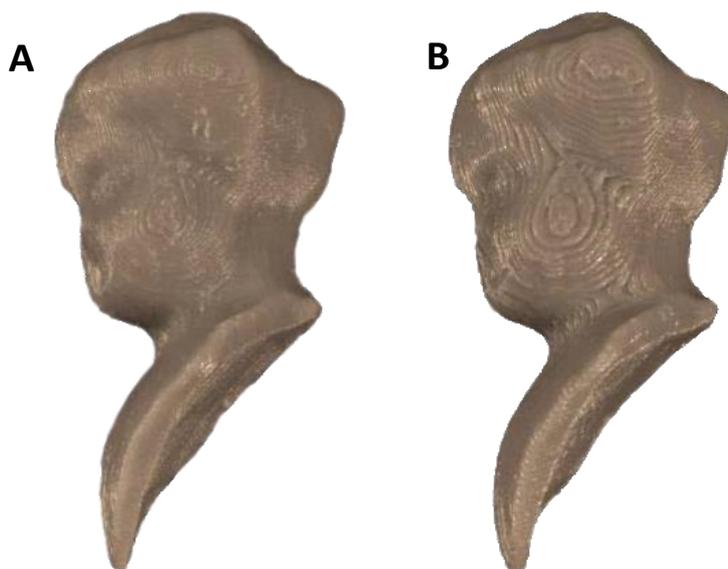


Fonte: Site do Laboratório de Seleção de Materiais (LDSM, 2019).

Silva e Caldovino (2015) estudaram a produção de réplicas acessíveis de peças museológicas via impressão 3D por filamento termoplástico. Foram avaliadas as melhores orientações das peças, considerando o uso de suporte e a necessidade de cortes e posterior acabamento. Os autores também compararam impressões de alta qualidade e de modo rápido em um equipamento de baixo custo. A Figura 10a

demonstra a peça de alta qualidade, a que apresenta uma superfície homogênea. Já na impressão rápida (Figura 10b), as camadas são mais visíveis e resultam em uma aparência superficial com degraus maiores.

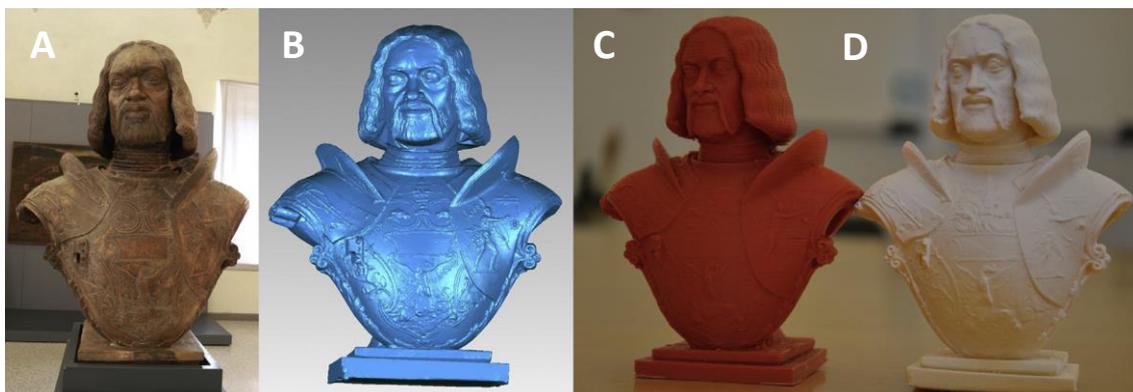
Figura 10 – Comparação entre a impressão em alta qualidade e a impressão rápida.



Fonte: Adaptado de SILVA e CALDOVINO (2015).

Adami et al. (2015) descrevem a digitalização 3D e a confecção de réplicas da estátua do Profeta Francesco II Gonzaga (Figura 11a), localizada no Museu Palazzo San Sebastiano, na cidade de Mântua, na Itália. Foram confeccionados dois protótipos da estátua realizados através de um modelo tridimensional resultado da digitalização 3D (Figura 11b). A primeira réplica (Figura 11c) foi feita em uma impressora de baixo custo (Solidoodle) e a segunda (Figura 11d) em uma impressora de uso profissional (Envisiontech Ultra 2). Os autores constataram que as impressoras atingem diferentes níveis de detalhe superficial e consideraram ambas suficientes para promoção do patrimônio cultural. No entanto, destacam que em uma análise mais profunda, na primeira são visíveis as camadas de filamento, enquanto que na segunda a superfície é mais homogênea. Por fim, os autores ainda afirmam que é possível realizar acabamentos para simular o material original ou para mostrar detalhes mais finos.

Figura 11 – O busto de Francesco II Gonzaga.

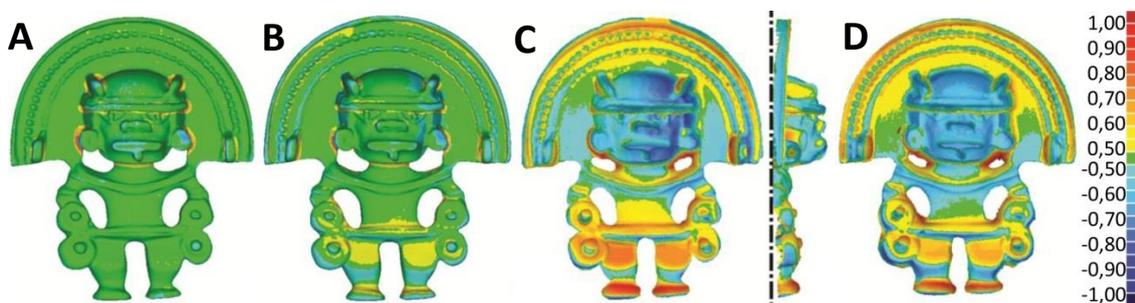


A) Busto original, B) Reprodução digital, C) Impressão na Solidoodle, D) Impressão na Ultra 2.

Fonte: Adaptado de Adami et al., 2015.

Pohlmann et al. (2016) realizaram um estudo com o objetivo de mapear os erros dimensionais gerados durante os processos de fabricação de réplicas por cera perdida (Figura 12). No trabalho foi realizado um estudo de caso com uma réplica do *Hombre Murciélago*, cujo original que está no Museu do Ouro, na Colômbia. Foi possível observar a usinagem CNC de diferentes tipos de cera, que serviram de matriz para gerar os moldes até chegar à peça final por fundição. A digitalização tridimensional foi utilizada para análise, para comparar o modelo inicial com as peças posteriormente fabricadas. O processo de fabricação da usinagem indica erros dimensionais não significativos (Figura 12a) quando comparados com o modelo inicial, porém, as outras etapas do processo demonstraram mais deformidades. Em especial, a etapa do processo que se mostrou mais crítica foi a moldagem em silicone e injeção de cera (Figura 12c).

Figura 12 – Análise dimensional dos modelos obtidos pelos processos de fabricação.



Resultados da comparação entre o modelo inicial: A) usinagem CNC; B) Microfusão da cera; C) Peças de cera injetada; D) Peças finais. Unidades em mm.

Fonte: Adaptado de Pohlmann et al., 2016.

Chianese e Piccialli (2016), em conjunto com o Departamento de Engenharia Elétrica e Tecnologia da Informação da Universidade de Nápoles, na Itália, buscaram desenvolver um sistema inteligente para gerenciar o domínio do patrimônio cultural. Os autores acreditam que o domínio de dados do patrimônio cultural pode ser explorado oportunamente por um conjunto de aplicações e serviços transformando o espaço estático em ambientes inteligentes. Esses ambientes são dinâmicos e possuem dados capturados e produzidos, por exemplo, com aplicação da realidade virtual, que necessita um estudo de contexto e informação para ser viável. Neste sentido, os pesquisadores apresentam um sistema inteligente, que é capaz de gerenciar a evolução do contexto através de seus interesses. Para avaliar a proposta, foi desenvolvido um estudo de caso aplicado ao patrimônio cultural, foi realizada uma exposição de arte temporária. Após o evento, foram aplicadas pesquisas de satisfação dos usuários. Os resultados mostraram que a abordagem foi considerada promissora e incentiva pesquisas direcionadas à conexão de tecnologia com o patrimônio.

A reconstrução virtual também vem sendo aplicada nas áreas arqueológicas. A Universidade de Granada, na Espanha, desenvolveu um *software*, chamado “Agata”, para gerenciamento do patrimônio cultural. O *software* possibilita a interação simultânea com o modelo virtual, que é uma malha poligonal. Os autores afirmam que o *software* organiza as informações no espaço tridimensionalmente, com um sistema de camadas, permitindo um *link* tridimensional da realidade com o virtual, conectando as informações com o uso do modelo 3D (SOLER, MELERO e LUZÓN, 2017).

Fernández-Palacios, Morabito e Remondino (2017) afirmam que as técnicas de levantamento tridimensional baseadas na realidade, como a digitalização 3D e a fotogrametria, podem produzir modelos digitais precisos, detalhados e realistas. Os autores destacam que os modelos 3D são úteis para documentar, visualizar e divulgar o ambiente existente, como, por exemplo, o uso para fins educacionais, análises arqueológicas, exposições de museus ou turismo virtual. O trabalho foi desenvolvido para a visualização interativa e imersiva para o acesso ao modelo 3D. Baseados no mundo real, utilizaram técnicas de realidade virtual e equipe mesclaram diferentes dispositivos, para resultar uma interface fácil e intuitiva para ao usuário.

Na área da arquitetura e engenharia, na Universidade de Florença, na Itália, BIAGINI et al. (2017) propuseram implementar o gerenciamento das intervenções de restauração de edifícios históricos com o uso de tecnologias 3D. A equipe acredita que a tecnologia BIM (Building Information Modeling) é uma solução para os métodos de restauração tradicionais, pois atualmente são utilizados papéis com duas dimensões, para organizar as informações. A tecnologia BIM permite os usuários modelarem tridimensionalmente componentes do edifício, criando um *link* do modelo 3D, com diversas informações.

Segreto et al. (2017) testaram algumas das técnicas de digitalização na Itália, realizaram uma digitalização com escâner portátil a laser e a outra através da fotogrametria. Os dados foram adquiridos das duas maneiras e utilizou-se o mesmo artefato que consiste em uma grande e complexa coluna esculpida do século VI. Os processamentos digitais das geometrias adquiridas foram comparados para avaliar o desempenho de ambos os sistemas em termos de: aquisição dos dados, pós-processamento do modelo, comparação das nuvens de pontos, qualidade das malhas poligonais geradas e precisão. Após a análise das digitalizações, as peças foram impressas, com o intuito de comprovar que é possível fabricar uma réplica através das técnicas de digitalização e impressão 3D. A fase final da pesquisa consistiu na fabricação de réplicas em escala reduzida, utilizando uma impressora que funciona com método de deposição de material por camada.

As tecnologias de impressão 3D também podem contribuir para a arte contemporânea: por exemplo, Marc Quinn realizou algumas de suas esculturas com base de formas de conchas reais. Um arquivo STL foi obtido através da digitalização 3D por varredura a laser. O artista ampliou o modelo e fabricou uma réplica usando uma impressora 3D e em seguida moldou em alumínio, concreto, aço inoxidável e bronze (QUINN, 2017).

Moldagens como essa podem ser utilizadas para a obtenção de réplicas do patrimônio cultural. A técnica de moldagem também é abordada no presente trabalho, como meio para obtenção de peças com aparência superficial imitando o bronze.

Figura 13 – Escultura em bronze obtida a partir do molde de uma peça impressa em 3D.



Fonte: Adaptado de Quinn, 2017.

2.3 MATERIAIS E PROCESSOS DE MOLDAGEM

Ashby e Johnson (2011, p.3) afirmam que os materiais que dão substância a tudo que vemos e tocamos, e que os seres humanos tem a capacidade de ver mais em um objeto do que apenas a sua aparência física. Os objetos podem despertar associações ou serem signos de ideias abstratas, nos dando a mais antiga evidência de uma sociedade cultural e do raciocínio simbólico.

Conforme exposto, a digitalização 3D, aliada aos processos de fabricação digital, permite reproduzir a forma com fidelidade, porém, a reprodução do material ainda é um desafio. Assim, para obter réplicas em materiais como o bronze ou resinas que o imitam, podem ser utilizados os modelos 3D como moldes.

Para a confecção de uma réplica deve ser feito um negativo da superfície, reproduzindo todas as características como a textura, aspereza e ondulação (JAMES e THUM, 1982). Uma das principais preocupações ao trabalhar com réplicas é a

fidelidade e a precisão da própria técnica de replicação. Os parâmetros da superfície tridimensional das réplicas podem ser comparados em relação à superfície da peça original (NILSSON e OHLSSON, 2001).

Durante o processo de cura das resinas, o material contrai e os níveis de encolhimento são influenciados pelo tamanho e pela forma das partículas e a viscosidade da mistura. A diversidade do ambiente e a variação da mistura do material podem causar variações nas réplicas e no nível de contração durante o processo de cura da peça (JAMES e THUM, 1982). Os diferentes tipos de resina apresentam distintas contrações na peça. A contração só aparece durante ou imediatamente depois de curar e não muda depois disso, uma característica que reflete a estabilidade em longo prazo do sistema.

Na área dentária, um estudo foi realizado para avaliar o estresse de contração de polimerização de três resinas compósitas (em geral, matriz de metacrilato com preenchimento de sílica). A contração durante a cura é um efeito colateral que ocorre com materiais com base de resina. Tendências no desenvolvimento de novos compostos levaram os fabricantes a sintetizar materiais com novos preenchimentos e matrizes aperfeiçoadas. Os fabricantes afirmam que esses materiais têm maiores propriedades mecânicas e contraem menos que as resinas tradicionais. A pesquisa mediu a tensão de contração desses materiais. Foi possível detectar uma resina comercial (Aelite LS) que apresentou uma menor contração, no entanto, os materiais testados não mostraram valores de contração insignificantes (CADENARO et al., 2008).

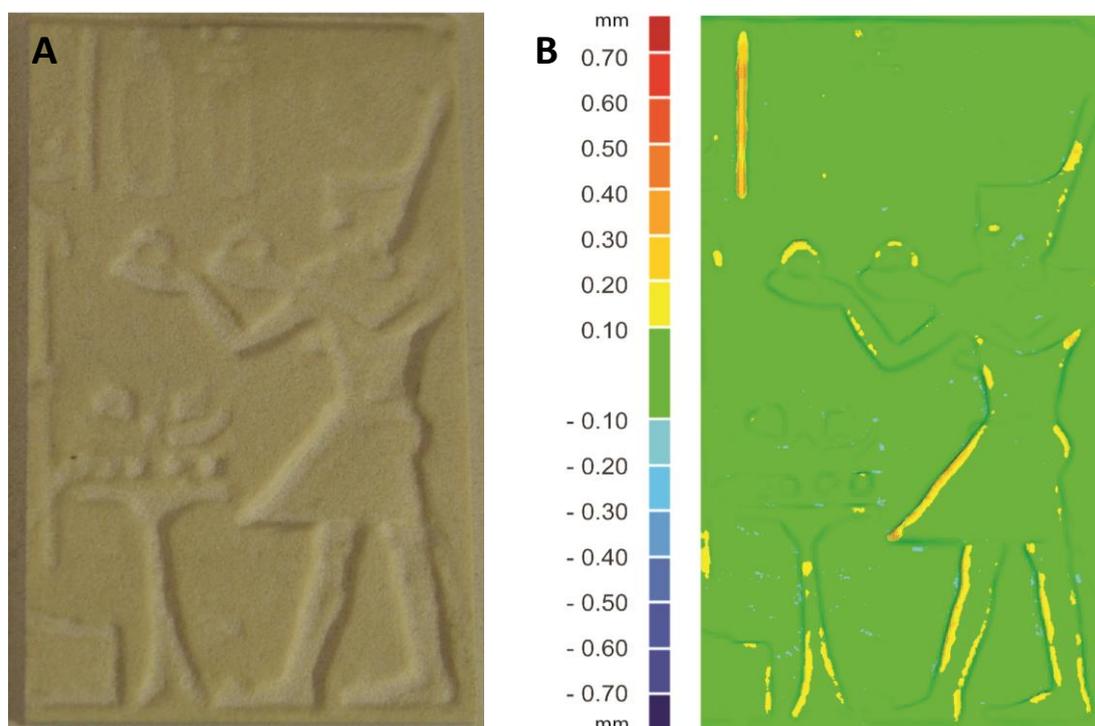
Para a fabricação de moldes, com a utilização de impressão 3D, segundo Roy e Dickens (2017), foram encontrados erros nos eixos X, Y e Z da impressora 3D FDM MakerBot, bem como a contração do material, durante a sua fabricação. O estudo verificou que a impressora testada era capaz de alcançar impressões dentro de uma tolerância de erro médio de $\pm 0,5$ mm, os autores concluíram que a impressora não era capaz de produzir peças precisas. Neste sentido, a avaliação dos erros dimensionais envolvidas na produção de réplicas por fabricação digital torna-se de fundamental importância.

Ainda neste contexto de análise dimensional, dois trabalhos realizados no LdSM e já citados na explanação sobre o estado da arte são revisitados: um sobre a usinagem

da estela egípcia em arenito (PEREIRA et al. , 2015) e outro sobre o mapeamento dos erros dimensionais do processo de fabricação de réplicas por cera perdida (POHLMANN et al., 2016).

Pereira et al. (2015), antes de produzir sua peça em arenito, usinaram uma peça em uma resina de poliuretano para avaliar o processo (Figura 14a). Posteriormente, os autores realizaram uma análise dimensional (Figura 14b), comparando o modelo obtido com o modelo 3D original. Esse método é importante para o presente trabalho, visto que nele é utilizado o mesmo tipo de material e a mesma técnica de análise em 3D.

Figura 14 – Análise dimensional da peça usinada em poliuretano.

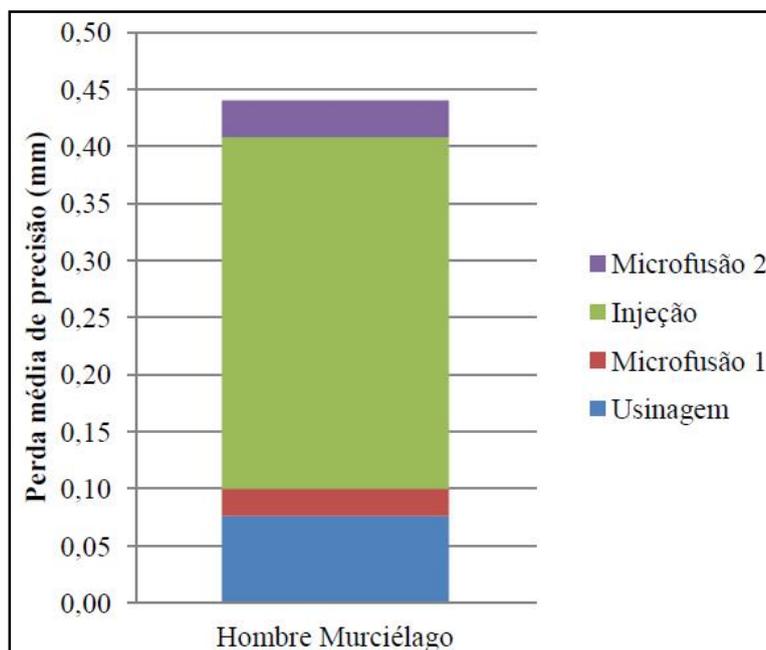


A) Análise dimensional da peça fabricada com o modelo original, B) Peça usinada em poliuretano.

Fonte: Adaptado de Pereira et al. 2015.

A mesma técnica de análise dimensional foi utilizada por Pohlmann et al. (2016) e Pohlmann (2012). Além disso, o referido trabalho tem importância por indicar que o principal ponto de perda dimensional ocorreu durante a etapa da produção de moldes de borracha de silicone. No presente trabalho, moldes de silicone são utilizados para obtenção de réplicas em resinas. Também será utilizado o mesmo método de avaliação gráfica dos erros dimensionais empregado pelos autores (Figura 15).

Figura 15 – Erros dimensionais ocorridos em função dos processos de fabricação.



Fonte: Adaptado de Pohlmann, 2012.

Atualmente, em Porto Alegre, um dos artistas que vem trabalhando na confecção de réplicas e restaurações de monumentos é o escultor Luiz Henrique Mayer (Figura 16a). Em 2016, ele foi responsável pela execução de peças escultóricas nas restaurações no Parque Farroupilha. Durante os trabalhos realizados no parque, diversas técnicas foram utilizadas sendo alternadas conforme o monumento. Entre os principais métodos utilizados estão a moldagem sobre a obra original, quando o monumento estava no local, e a modelagem através da visualização de fotografias (Figura 16b), quando a peça original havia sido furtada. Após a construção dos moldes (Figura 16c), as peças foram fundidas em resina plástica com pó de bronze (Figura 16d). A restauração do Monumento a Francisco de Assis Brasil (Figura 16e), por exemplo, foi realizada através de um conjunto de técnicas. O busto de bronze foi recolhido pela Prefeitura quando o monumento foi vandalizado e seus baixos relevos furtados (Figura 16f). Para o busto foi realizada uma cópia em resina, e os baixos relevos foram remodelados com base em fotografias dos originais (Figura 16g e Figura 16h), surgindo releituras. A reflexão dos procedimentos, realizados através de pesquisa da iconografia e modelagem, com uma nova visão artística, no campo da discussão teórica na arte pública, se apresenta com uma boa aceitação (BENEDETTI, 2016).

Figura 16 – Trabalhos realizados pelo artista Luiz Henrique Mayer.



A) Escultor Luiz Henrique Mayer, B) Modelagem através de fotos, C) Construção do molde, D) Peça em resina de pó de bronze, E) Monumento antes de ser restaurado, F) Monumento a Francisco de Assis Brasil restaurado G) Remodelagem com base em fotografias, H) Remodelagem em terracota.

Fonte: Adaptado de Benedetti, 2016.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Após a revisão bibliográfica, bem como a compreensão dos fundamentos do patrimônio cultural e das tecnologias 3D abordadas no presente trabalho, foi realizado um levantamento dos monumentos de Porto Alegre a partir de visita aos locais e registros fotográficos. Com base na realidade encontrada, elegeu-se como objeto de estudo a confecção de réplicas de uma das placas de bronze pertencentes ao monumento a Bento Golçalves.

A Figura 17 mostra, de forma esquemática, as etapas da pesquisa realizada, sendo esta dividida em 4 fases: (i) identificação; (ii) reprodução da forma; (iii) reprodução da aparência; (iv) proposta de processo.

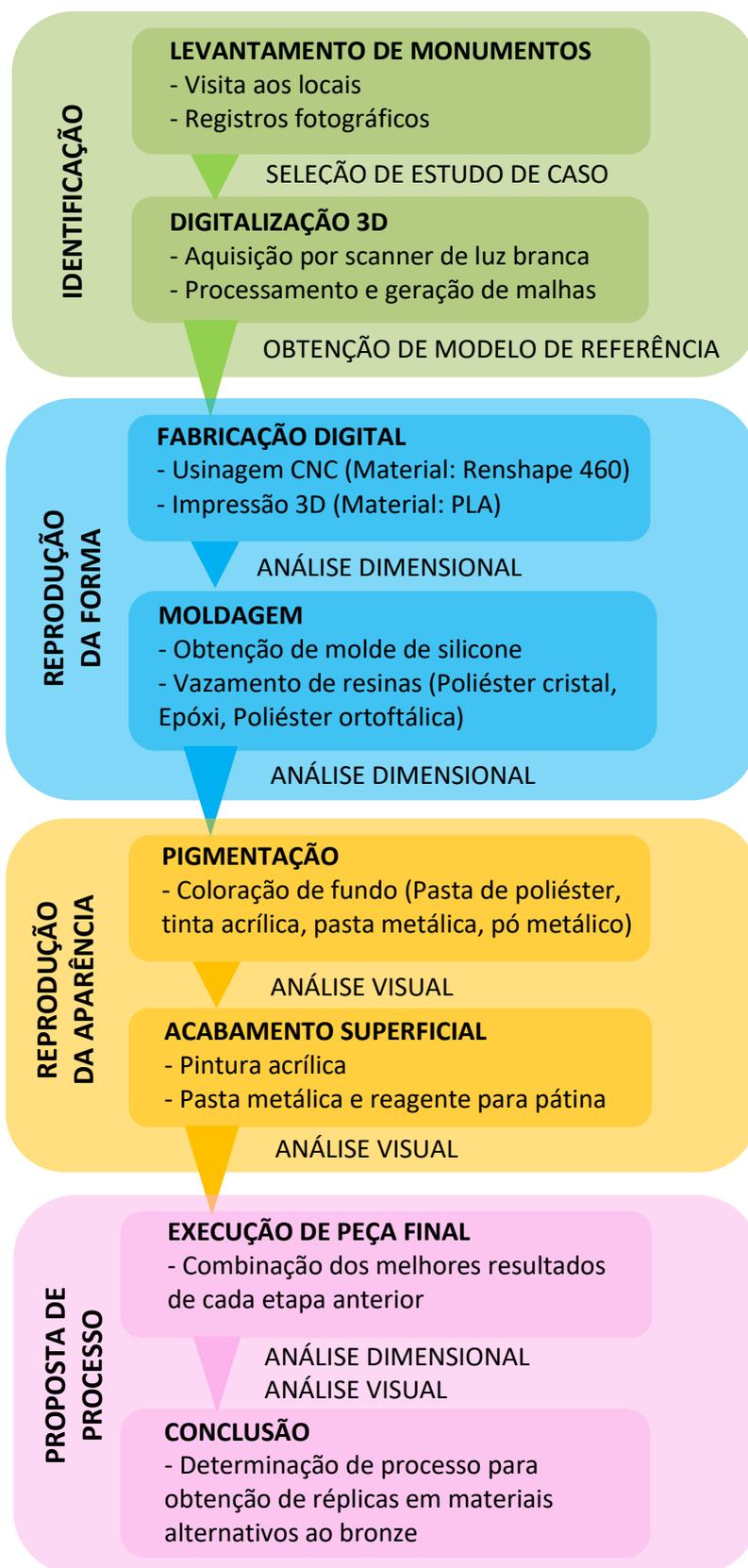
Na primeira fase, além do levantamento de monumentos, foi realizada a obtenção dos dados 3D dos monumentos através da digitalização com luz branca, em função do tamanho da obra. Após o processamento dos dados adquiridos, foi obtido um modelo digital de referência para as etapas seguintes.

A segunda fase iniciou com a fabricação digital da peça. Foram realizados dois processos, a usinagem CNC, em Renshape 460, e a impressão em 3D, com filamento de PLA. A etapa seguinte foi a fabricação do molde de silicone, para viabilizar a moldagem das peças em diferentes tipos de resina. Foram realizadas réplicas em 3 tipos de resina, através de moldagem, buscando a mais adequada, com a intenção de obter um objeto com a maior precisão da forma. Assim, as peças ensaiadas foram digitalizadas em 3D para realizar uma análise dimensional.

Após avaliação dos ensaios supracitados, a terceira fase consistiu em um estudo para coloração das peças, visando obter uma aparência mais semelhante à peça original. Para tanto, foram realizados ensaios de pigmentação, para ajustar a coloração de fundo, e ensaios de acabamento superficial, para ajustar a aparência final da peça. Os resultados dessa fase foram avaliados por análise visual.

A última fase foi a execução de uma peça final, utilizando a combinação dos melhores resultados de cada uma das etapas anteriores. Essa peça foi avaliada dimensionalmente e visualmente. A partir das análises, foi determinado o processo para obtenção de réplicas em materiais alternativos ao bronze (Figura 17).

Figura 17 – Etapas da pesquisa.



3.1 LEVANTAMENTO DOS MONUMENTOS DE PORTO ALEGRE

O levantamento dos monumentos partiu de uma lista de catalogação encontrada na literatura (TILL, 2002), contendo informações básicas, como nome, localização e tipologia. O presente trabalho busca utilizá-la como ferramenta para reconhecimento da quantidade e das formas utilizadas e, também, para verificação da situação em que as peças se encontram.

Foi gerada uma tabela no programa Microsoft Excel (Apêndice A), na qual, posteriormente, foram inseridas fotografias, para documentar e comprovar as informações adquiridas. Através dessa tabela, foi possível criar rotas a serem traçadas, para mapear os monumentos e organizá-los a partir das localizações por bairros de Porto Alegre, para facilitar a realização de visitas.

O levantamento fotográfico demandou a visita em cada objeto catalogado, conforme a tabela utilizada como base. As visitas aos monumentos, seguiram a ordem de localização, para comprovar as informações das obras e também verificar a situação de cada peça. As fotografias foram realizadas durante o período da manhã e tarde, por motivos de segurança e iluminação, entre setembro de 2016 e julho de 2017.

Na Figura 18 é apresentado o padrão das fotografias, como exemplo, o busto do Barão de Santo Ângelo, localizado na Praça da Alfândega. Em função da geometria dos monumentos, foram determinadas 4 fotografias para o entendimento geral do objeto. Os ângulos determinados foram: vista frontal; vista lateral direita; vista lateral esquerda; e vista posterior.

Ainda durante o levantamento, foi possível visualizar que a lista já estava sofrendo alterações, como depredações e furtos de peças. Optou-se por não revisitar os locais, mantendo o panorama do período analisado, pois o trabalho tornaria-se infundável.

Nesse contexto, o monumento a Bento Gonçalves, já identificado pela Coordenação da Memória Cultural de Porto Alegre como em situação de vulnerabilidade, foi definido como objeto de estudo deste trabalho.

Figura 18 – Busto do Barão de Santo Ângelo.



A) Vista Frontal; B) Vista Lateral direita; C) Vista Lateral esquerda; D) Vista Posterior.

3.2 MONUMENTO A BENTO GONÇALVES

Nesta pesquisa, foi adotada como estudo de caso uma das placas de bronze do Monumento a Bento Gonçalves. O monumento foi abordado de acordo com a definição mais abrangente de preservação do patrimônio cultural, de Meira (2004), apresentada no item 2.1.1 (pág. 17) do presente trabalho. Assim, inicialmente, buscou-se uma identificação da obra, com base na literatura e em visitas ao local. Posteriormente, partiu-se para uma etapa de documentação, com registros fotográficos e de digitalização 3D. O modelo virtual obtido foi utilizado para ensaios de

fabricação digital e pode auxiliar tanto uma etapa de restauração quanto de valorização patrimonial. Neste sentido, enquanto identificação da obra, uma prévia contextualização do monumento faz-se de suma importância.

3.2.1 Breve histórico

Em 1934, os governos estadual e municipal decidiram erguer um monumento para representar um ícone da Revolução Farroupilha. Foi escolhido homenagear o líder da Revolução Farroupilha, o General Bento Gonçalves (SPALDING, 1967).

Segundo Alves (2004), o escultor pelotense Antônio Caringi, havia retornado de seus estudos na Alemanha e foi contratado em janeiro de 1935 para realizar a obra. A escultura foi modelada (Figura 19) e fundida na Alemanha, representada como as clássicas estátuas equestres europeias, em tamanho natural (ALVES, 2004).

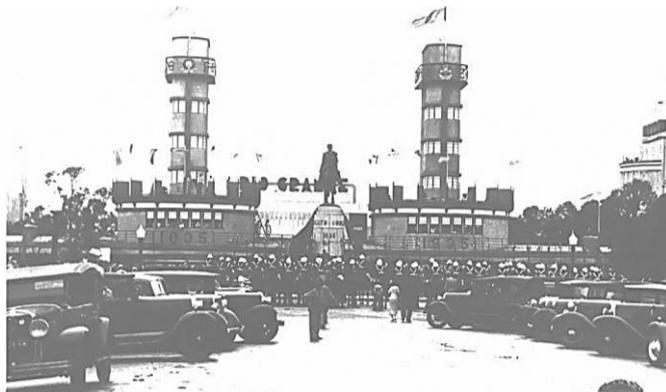
Figura 19 – Antônio Caringi Esculpindo o Monumento Bento Gonçalves.



Fonte: ALVES, 2004.

A estátua foi inaugurada em 15 janeiro de 1936, no encerramento da exposição do centenário da revolução farroupilha (Figura 20), localizada no largo entre o Parque Paulo Gama e o Parque Farroupilha (SPALDING, 1967). A obra foi descoberta através do puxar das cordas do Prefeito Alberto Bins e dos generais Flores da Cunha e Parga Rodrigues. A cavalaria da Brigada Militar formou um círculo ao redor do monumento e prestou continência ao som do hino do Rio Grande do Sul (ALVES, 2004).

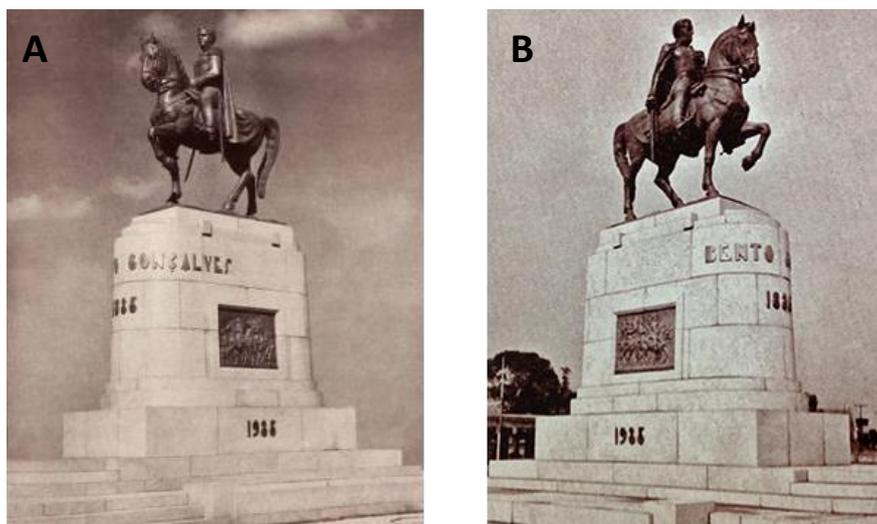
Figura 20 – Exposição do centenário da revolução farroupilha.



Fonte: Adapado de AXT e SCLiar (2004).

A Figura 21 apresenta o monumento após a inauguração. Nela é possível observar duas placas de bronze existentes em cada uma das laterais do pedestal.

Figura 21 – Monumento à Bento Gonçalves após a inauguração.



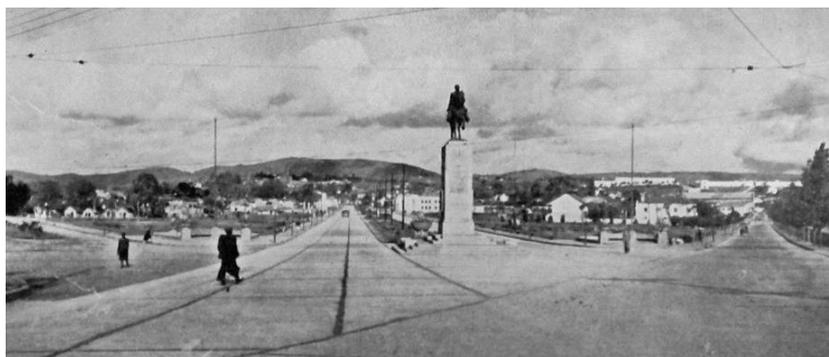
A) Foto da Lateral esquerda; B) Foto da Lateral direita.

Fonte: A) Adaptado de Alves (2004); B) Adaptado de D'Oliveira (1944).

Em 1941, quando o então prefeito da cidade, Loureiro da Silva, remodelava a capital, decidiu realocar a estátua para a Praça Piratini, na junção das avenidas João Pessoa e Azenha, um local importante da história da revolução, pois tropas rebeldes que tomaram Porto Alegre haviam passado pelo local. Na Praça Piratini (Figura 22), próximo ao monumento foram contruídos dois espelhos d'água com chafarizes idênticos, um a cada lado do monumento, cujos jatos eram iluminados durante a noite

(ALVES, 2004). Após o deslocamento, a estátua foi instalada em um novo pedestal, mais alto, e foram instalados novos adornos em bronze como a frase na frente do pedestal: “Compatriotas! o nome da pátria nunca soou em vão aos meus ouvidos”.

Figura 22 – Estátua de Bento Gonçalves após o traslado, em 1941.

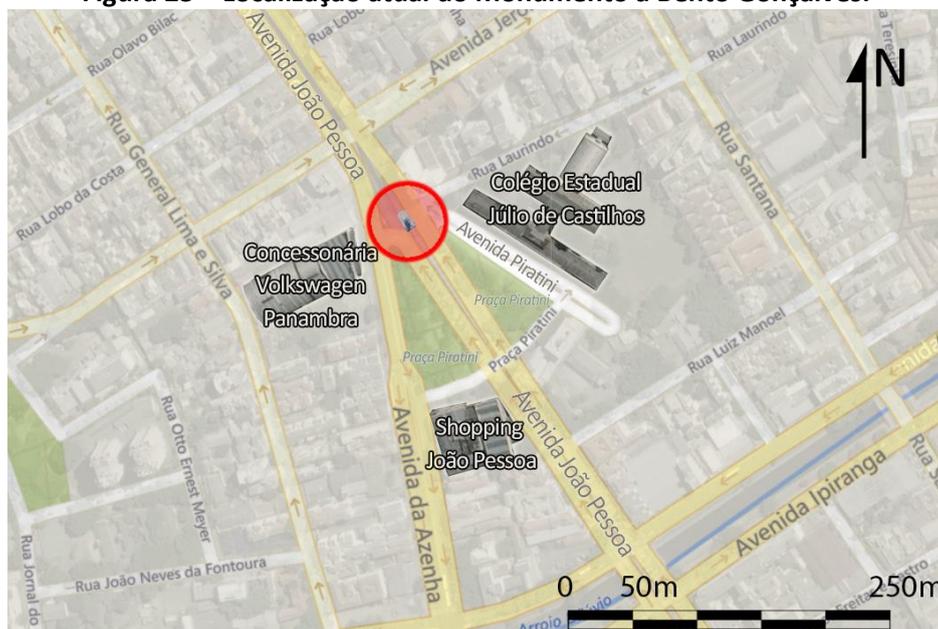


Fonte: Adaptado de Prati (2017).

3.2.2 O monumento nos dias atuais

Atualmente, o monumento continua situado na Praça Piratini (Figura 23). Com a urbanização da cidade ele localiza-se na ponta de um tridente que tem em seus lados o Colégio Estadual Júlio de Castilhos, o Shopping João Pessoa e o antigo prédio da concessionária Volkswagen Panambra (em processo de demolição).

Figura 23 – Localização atual do Monumento a Bento Gonçalves.



Fonte: Adaptado do Google Maps, 2018.

Till (2002) destaca que o monumento é um conjunto contendo duas placas de alto relevo em bronze, representando os combatentes da Revolução Farroupilha. Composição de partes do monumento: a estrutura é um pedestal de concreto revestido por granito, com 9 metros de altura; a escultura equestre no topo; e as duas placas fixas nas laterais da base, com dimensões 1,37 x 1,05 m e suspensas a 1,73 m do solo.

A escultura está fixada no topo, logo, não está acessível para intervenção humana, entretanto, as placas possuem fácil alcance e sofreram pichações, espirros de tinta e outras ações de depredação. Durante a realização do levantamento foi possível verificar que a moldura de um dos lados já não existia mais. A Figura 24 apresenta as fotos realizadas em novembro de 2016, durante a realização do levantamento dos monumentos de Porto Alegre.

Figura 24 – Monumento a Bento Gonçalves, em 16 de novembro de 2016.

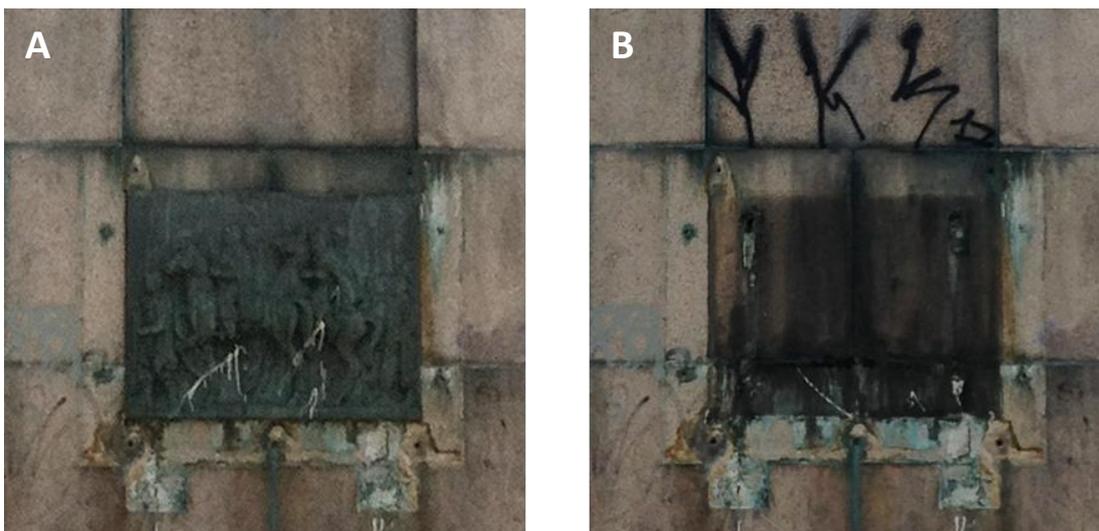


A) Foto Lateral esquerda, Avenida Azenha; B) Foto Lateral direita, Avenida Piratini.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, no período de 3 meses, as duas placas laterais foram furtadas. A primeira a ser furtada foi a placa com a face voltada

para a Avenida Azenha (BANDEIRANTES, 2017), a qual já não tinha a moldura de granito. A Figura 25a mostra a foto realizada durante o levantamento (Novembro 2016), em março de 2017 ela foi furtada, e em seguida foi realizada uma nova foto (Figura 25b).

Figura 25 – Placa furtada, lateral direita com a frente voltada para a Avenida Azenha.



A) Foto realizada em 14 de novembro de 2016; B) Foto realizada 14 de março de 2017;

Não bastasse o furto da primeira placa em março, mês do aniversário da cidade de Porto Alegre, a segunda placa foi furtada em maio de 2017 (GAUCHAZH, 2017). A Figura 26 apresenta fotos da placa durante o levantamento e após o furto.

Figura 26 – Placa furtada, lateral esquerda com a frente voltada para a Avenida Piratini.



A) Foto realizada em 14 de novembro de 2016; B) Foto realizada 10 de setembro de 2017;

A Figura 27 evidencia o que restou da moldura em granito, localizada na base do monumento. Felizmente, antes dos furtos, as placas haviam sido digitalizadas em 3D pela equipe do LdSM.

Figura 27 – Resquícios da moldura da segunda placa furtada.



Fonte: GAUHAZH, 2017.

3.3 DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL

No escopo do presente trabalho, as placas do monumento que foi escolhido como estudo de caso foram digitalizadas. Para realizar a digitalização, foram analisadas as características físicas das peças e foi selecionado o método de digitalização com luz branca. Foi utilizado o escâner 3D Artec EVA (Figura 28), por possuir um sistema de obtenção portátil e eficiente. A digitalização portátil vem sendo utilizada como ferramenta de trabalho e de pesquisa na indústria, na medicina e também na preservação patrimonial, por exemplo, em bustos humanos e até em complexos sistemas automotivos (ARTEC3D, 2016).

Figura 28 – Digitalização das placas do monumento a Bento Gonçalves.



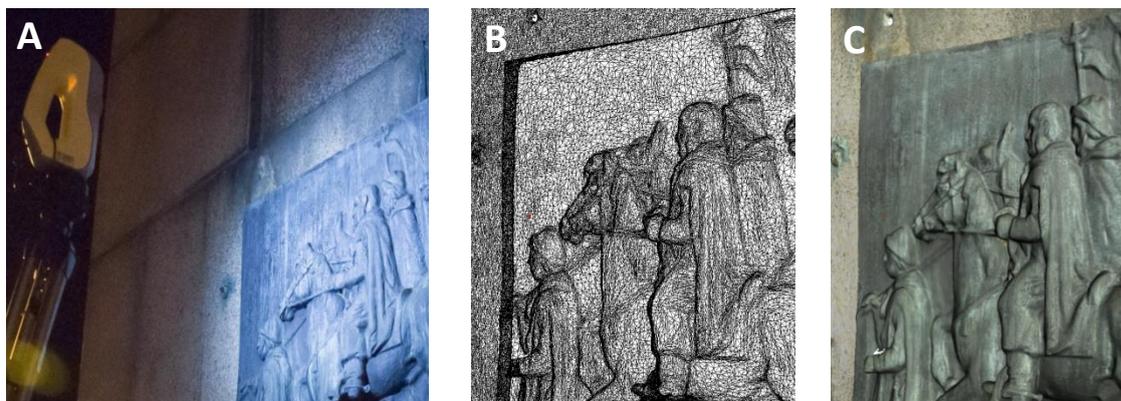
Digitalização das placas. A) Placa lateral esquerda; B) Placa da lateral direita.

Fonte: Equipe LdSM 2016.

As digitalizações das duas placas do monumento a Bento Gonçalves foram realizadas pela equipe do LdSM em 21 de setembro de 2016, à noite, para evitar influência da luz. O procedimento ocorreu por solicitação da Coordenação da Memória Cultural da Prefeitura de Porto Alegre, contando com o apoio da Guarda Municipal, para garantir a segurança do trabalho de digitalização.

Para concluir a etapa da digitalização (Figura 29a), foi necessário o processamento dos dados até a fusão de uma única malha de triângulos (Figura 29b). A manipulação do modelo 3D, primeiramente, foi realizada com o programa Artec Studio, que é o *software* próprio do escâner que realizou a digitalização, e em seguida o modelo foi levado para o programa Geomagic Studio®. Após o tratamento, foi exportado o modelo 3D da peça, no formato STL, que possibilitou a etapa da fabricação digital. Ainda para fins de visualização, foi realizado um mapeamento de texturas (Figura 29c), o qual foi salvo no formato OBJ.

Figura 29 – Processamento dos dados da digitalização 3D (Placa lateral direita).



A) Digitalização do objeto; B) Fusão de malha do modelo; C) Texturização.

3.4 FABRICAÇÃO DIGITAL

Como a placa de bronze possuía uma medida grande para a realização dos ensaios em relação à infraestrutura disponível, foi escolhido um trecho significativo da obra, com dimensões de 330 x 210 mm, o qual representa 5,33% da superfície total da peça (Figura 30). O trecho selecionado possui detalhes importantes, como, por exemplo, dois cavaleiros com profundidades distintas e os relevos das bandeiras.

Figura 30 – Destaque da parte selecionada, 210 x 330 mm (Placa lateral direita).



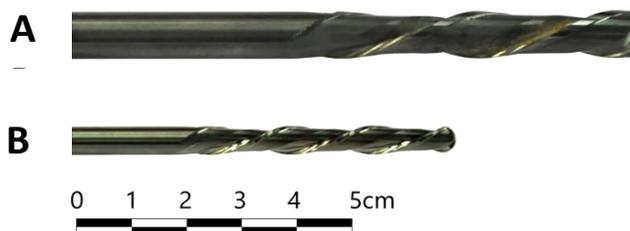
Para fabricação digital das peças, foram avaliados os processos de usinagem CNC e de impressão 3D. Em seguida, é dada a descrição detalhada de cada técnica e dos materiais utilizados.

3.4.1 Usinagem CNC

O equipamento utilizado para a usinagem foi o Digimill 3D, localizado no LdSM, na UFRGS. O material utilizado para a fabricação foi à base de resina de poliuretano *Ren shape 460*, a qual é recomendada para fabricar protótipos e moldes.

Foram utilizadas duas ferramentas para a usinagem da peça. A primeira (Figura 31a) foi uma fresa reta com diâmetro de 10 mm, utilizada para realizar o faceamento nos dois lados do bloco e o desbaste. A segunda ferramenta (Figura 31b) foi uma fresa esférica de diâmetro 6 mm, para realizar o acabamento superficial.

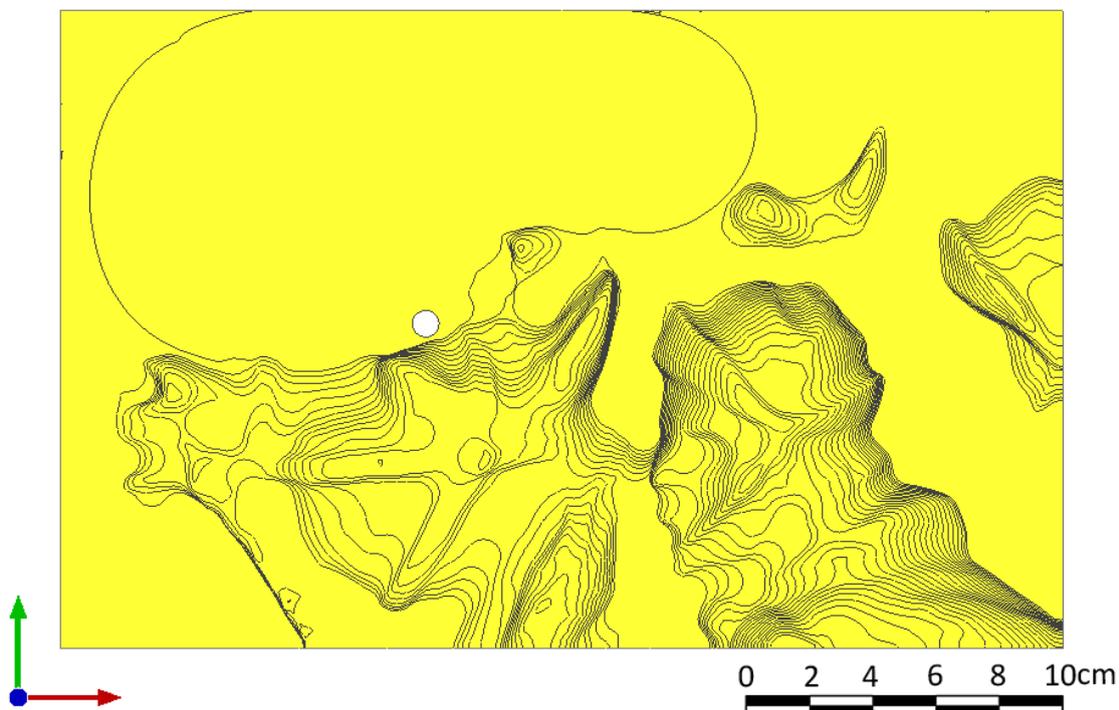
Figura 31 – Ferramentas de usinagem utilizadas.



A) Fresa reta, diâmetro de 10 mm; B) Fresa esférica, diâmetro de 6 mm.

A programação foi realizada no *software* Edgecam, possibilitando simular a usinagem, observando os percursos das ferramentas e acompanhar a forma da peça (Figura 32), bem como estimar o tempo necessário para o processo. Os parâmetros adotados foram: rotação de 12.000 rpm; penetração de trabalho de 50% para desbaste e de 10% para o acabamento (em relação ao diâmetro da ferramenta); profundidade de corte de 2 mm; e velocidade de avanço de 4.000 mm/min.

Figura 32 – Simulação da usinagem CNC da peça ensaiada, no *software* Edgecam.

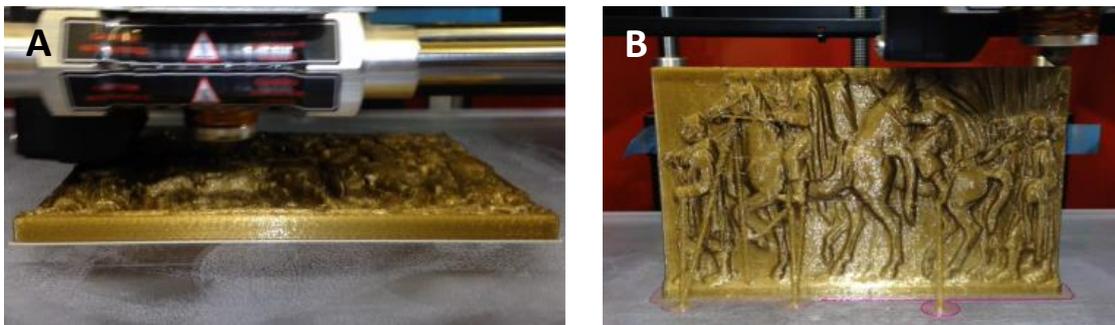


3.4.2 Impressão 3D

Para o processo de impressão foi utilizada a impressora 3DCloner DH da Oficina de Modelos e Protótipos da Faculdade de Arquitetura da UFRGS. Conforme descrito anteriormente, o arquivo que possibilitou a impressão foi o modelo 3D, no formato STL. Para gerar o código de impressão foi utilizado o *software* ClonerGen3D, que é o programa próprio da impressora utilizada.

As impressões foram feitas com o material PLA na cor bronze, inicialmente em escala reduzida (1:100) e com duas orientações, buscando a melhor resolução de superfície da peça, seguindo as indicações da literatura (ADAMI et al. 2015; SILVA e CALDOVINO, 2015). A primeira impressão (Figura 33a) foi realizada com a peça na posição horizontal (deitada na mesa). A segunda impressão (Figura 33b) foi realizada com a peça na vertical (em pé na mesa), a qual necessitou a geração de suporte para viabilizar a impressão da peça. O suporte foi modelado em 3D no *software* Meshmixer da Autodesk. Os parâmetros adotados foram altura de camada de 0,25 mm e 5% de preenchimento. Posteriormente, verificado o melhor resultado, a região de interesse previamente definida foi impressa em tamanho real.

Figura 33 – Testes de impressão 3D das placas em escala 1:100.



A) Impressão na posição horizontal; B) Impressão na posição vertical.

3.5 OBTENÇÃO DE MOLDE DE SILICONE

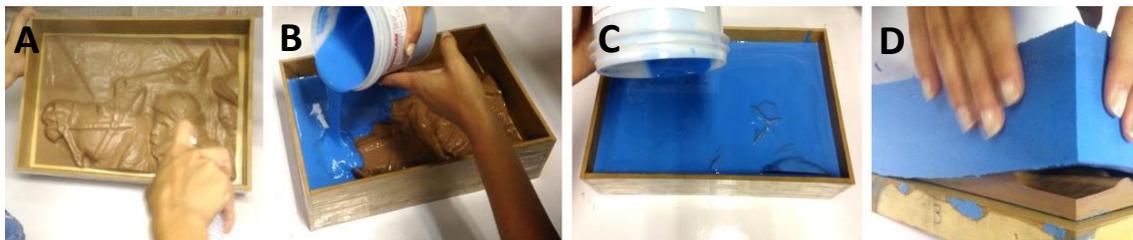
Conforme será abordado com maior profundidade no item 4.1.5, com base na qualidade superficial das peças geradas, a peça usinada foi selecionada para seguir com os ensaios de moldagem. Nesta pesquisa foram utilizados 5 kg de silicone de média resistência e 450 g de catalisador, marca Fiberglass (Figura 34).

Figura 34 – Materiais utilizados para o molde de silicone.



Para moldagem (Figura 35), a peça usinada foi protegida com a aplicação de uma fina camada de selador para madeira Suvinil. Para fabricar o molde de silicone, foi necessária a construção de uma caixa em MDF, com 350 x 230 x 60 mm, dimensionada a partir de uma folga de 10 mm nas laterais da peça. A peça foi fixada no fundo da caixa, em seguida aplicado desmoldante (figura 34a), conforme as recomendações do fabricante. As figuras 34b e 34c mostram o processo de fabricação do molde em silicone, e a Figura 35d mostra a desmoldagem.

Figura 35 – Fabricação do molde de silicone.



A) Aplicação do desmoldante na caixa e na peça; B) Aplicação do silicone na caixa; C) Preenchimento com silicone; D) Desmoldagem.

3.6 MOLDAGEM EM RESINAS

Com a intenção de criar réplicas da peça fabricada, foi realizado o processo de vazamento de resinas, utilizando o molde em silicone previamente obtido. As réplicas foram feitas com três resinas diferentes, da marca Fiberglass. São elas: A) 1,5 kg de resina poliéster cristal e 50 g de catalisador de butanox (Figura 36a); B) 1 kg de resina de epóxi e 500 g de endurecedor (Figura 36b); C) 1,5 kg de resina de poliéster e 50 g de catalisador de butanox (Figura 36c).

Figura 36 – Materiais utilizados para o processo de moldagem.



A Figura 37 mostra a realização dos ensaios. O primeiro ensaio foi realizado conforme as especificações do fabricante, com 1,5 kg de resina poliéster cristal e 15 g de catalisador butanox. Foi observado que houve uma contração da peça. O segundo ensaio foi, então, realizado com menos catalisador, com a intenção de desacelerar o processo de cura e reduzir a contração. Assim, foi utilizado 1,5 kg resina poliéster cristal e 12 g de catalisador butanox. O terceiro e o quarto ensaios foram realizados com 1 kg de resina epóxi e 500 g de endurecedor. O quinto ensaio foi realizado com 1,5 kg de resina ortoftálica de poliéster e 15 g de catalisador de butanox.

Figura 37 – Ensaio de moldagem das resinas.

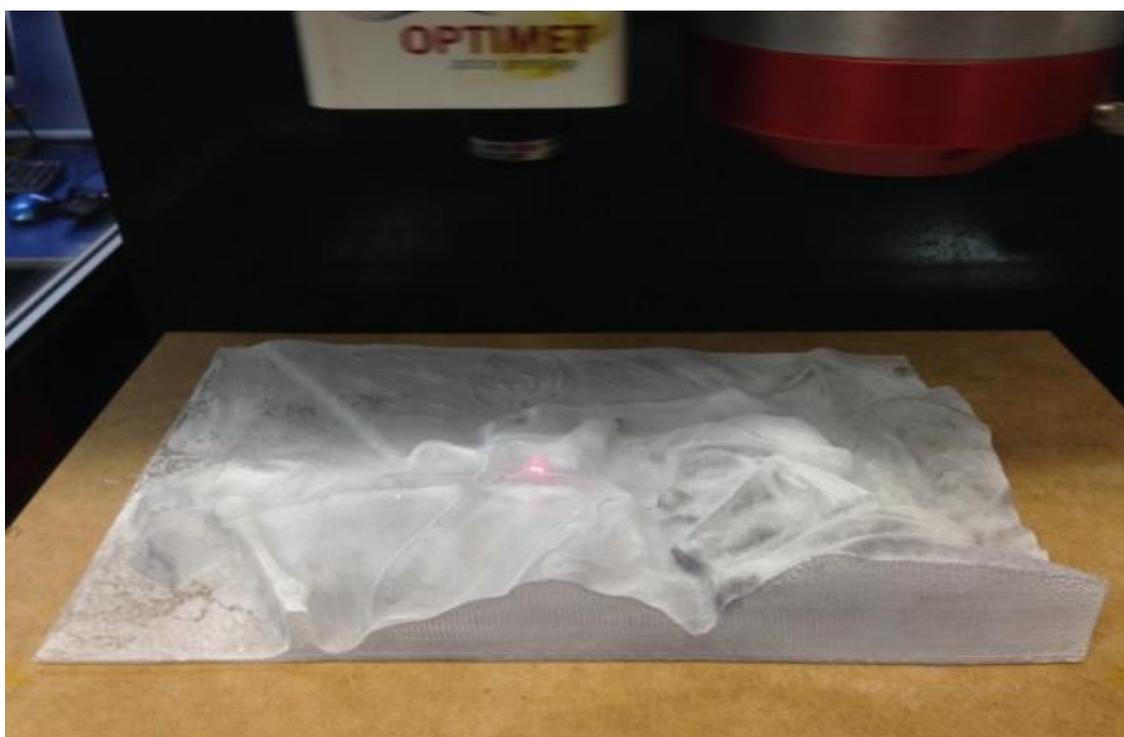


3.7 DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL A LASER

A fim de avaliar os processos realizados. Foi realizada uma análise dimensional, buscando determinar a menor contração entre as resinas, bem como para medir a precisão em milímetros dos processos de confecção das peças. A técnica utilizada foi a digitalização tridimensional a laser, que possibilitou comparar o modelo 3D original da placa com os modelos fabricados.

A máquina utilizada foi a Digimill 3D, localizada nas dependências do LdSM, na UFRGS. Trata-se de um equipamento híbrido, o qual permite acoplar um cabeçote emissor de laser pontual da marca Optimet[®], modelo ConoPobre (Figura 38).

Figura 38 – Digitalização da peça em resina do ensaio 2.



Conforme Silva (2011), o sistema opera com 1 mW de potência máxima, 655 nm de comprimento de onda, aquisição de até 1.000 pontos por segundo e precisão variável de acordo com a lente utilizada. Para a digitalização das peças foi utilizada a lente de 150 mm, pois a sua faixa de captura atua em 70 mm (Tabela 1), o suficiente para atender a dimensão das peças.

Tabela 1 – Características da lente Optimet (unidades em mm).

Lente	150 mm
Precisão (Z)	0,035
Faixa de captura (Z)	70
Distância mínima do objeto (Z)	140
Resolução lateral máxima (X)	0,050

Fonte: Modificado de Silva (2011).

Para este trabalho foram adotados parâmetros conforme descrito por Silva (2011). A resolução para digitalização das peças ensaiadas foi de 0,1 mm, correspondente à distância entre os pontos adquiridos. A digitalização das peças ensaiadas resultou em nuvens de pontos que foram processadas no *software* Geomagic Studio. Para analisar os modelos em 3D, foi utilizado o *software* Geomagic Qualify.

Algumas das peças fabricadas são em resinas translúcidas, portanto, foi necessária a aplicação do revelador Metal-Check, criando uma camada fina de pó branco, a fim de possibilitar a leitura do laser na superfície da peça. Destaca-se que todas as peças receberam o mesmo tratamento, para realizar a comparação dimensional.

3.8 MOLDAGEM EM RESINAS COM PIGMENTAÇÃO

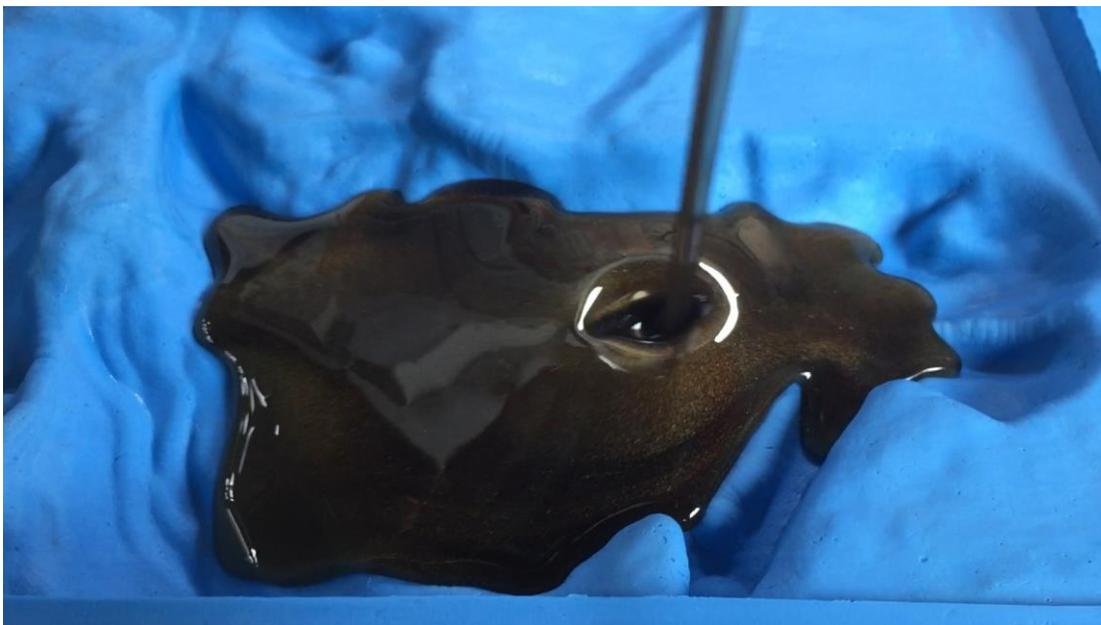
Conforme será abordado com maior profundidade no item 4.1.5, a resina que apresentou maior precisão dimensional foi a de poliéster cristal. Assim, buscou-se reproduzir a aparência da peça em bronze nesse material.

A resina de poliéster cristal aceita produtos modificadores, como corantes ou pigmentos na forma de pastas de poliéster, monômero de estireno como diluente, absorventes de raios UV, promotores ou inibidores para acelerar ou retardar a cura

(PLOWMAN, 2007). Nesse sentido, foram realizados ensaios de pigmentação da resina, buscando obter uma cor de fundo para, posteriormente, obter o aspecto visual da peça. Foram aplicados diferentes pigmentos, em diferentes proporções, na etapa da moldagem das resinas. Durante a execução, foram observados estudos correlatos, como Young (2000); Plowman (2007); Herrero-Cortell et al. (2017); e Bressan (2018).

Assim, foram realizados quatro grupos de ensaios, com diferentes pigmentos, para colorir a resina em busca de uma base para o acabamento superficial. Os materiais foram (nome comercial): pasta de poliéster, tinta acrílica, pasta metálica e pó metálico. Para cada material, foram ainda testadas quatro diferentes quantidades e selecionados os melhores resultados para a etapa seguinte de acabamento superficial. Para esses ensaios, foi utilizada apenas uma parte do molde de silicone, correspondente à cabeça de um cavalo com volume de 200 ml (Figura 39).

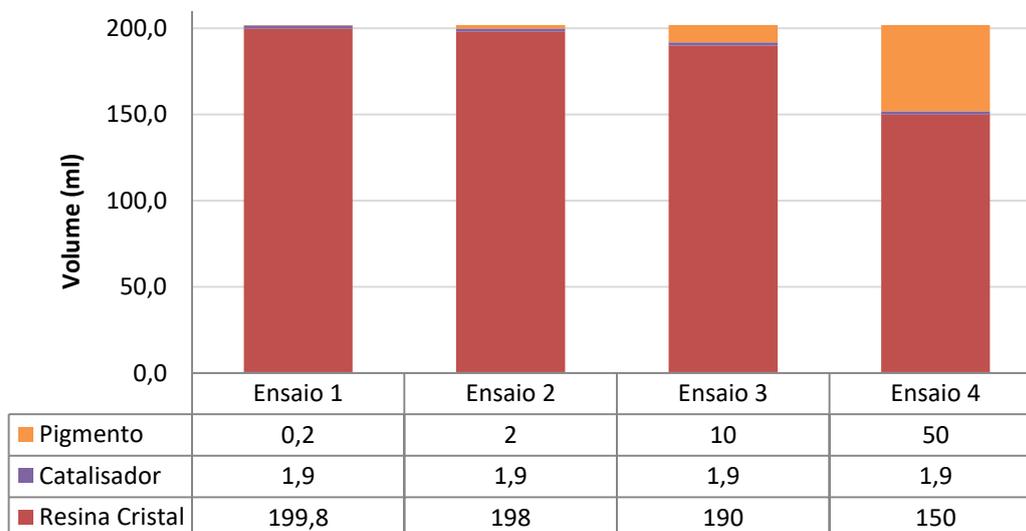
Figura 39 – Moldagem de uma das peças, com pigmentação com pasta metálica.



3.8.1 Ensaios de moldagem com pasta de poliéster

O primeiro grupo de ensaios utilizou pasta de poliéster, marca Fiberglass, cor marrom. O fornecedor não disponibiliza dados sobre a composição do pigmento. Os ensaios variaram a proporção de pigmento em 0,1, 1, 5 e 25%, para uma quantidade de 200 ml, conforme observa-se na Figura 40.

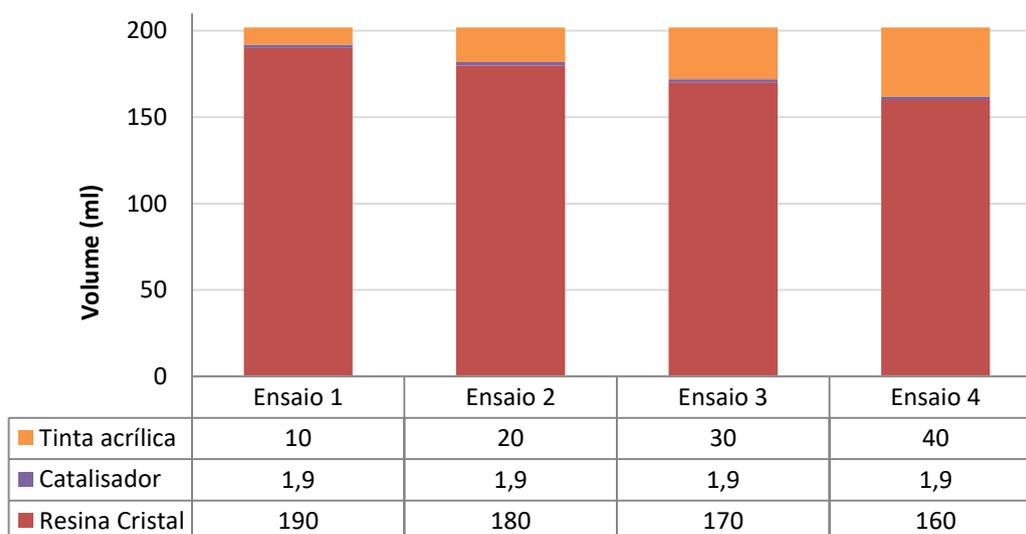
Figura 40 – Quantidades utilizadas nos ensaios com pasta de poliéster.



3.8.2 Ensaio moldagem com tinta acrílica

O segundo grupo de ensaios foi realizado com tinta acrílica, marca Acrilex Dimensional Relevo 3D - Metallic, cor bronze. A composição identificada na embalagem do produto é resina acrílica, água, aditivos e pigmentos (sem especificações técnicas). Os ensaios variaram a proporção de pigmento em 5, 10, 15 e 20%, para uma quantidade de 200 ml, conforme observa-se na Figura 41.

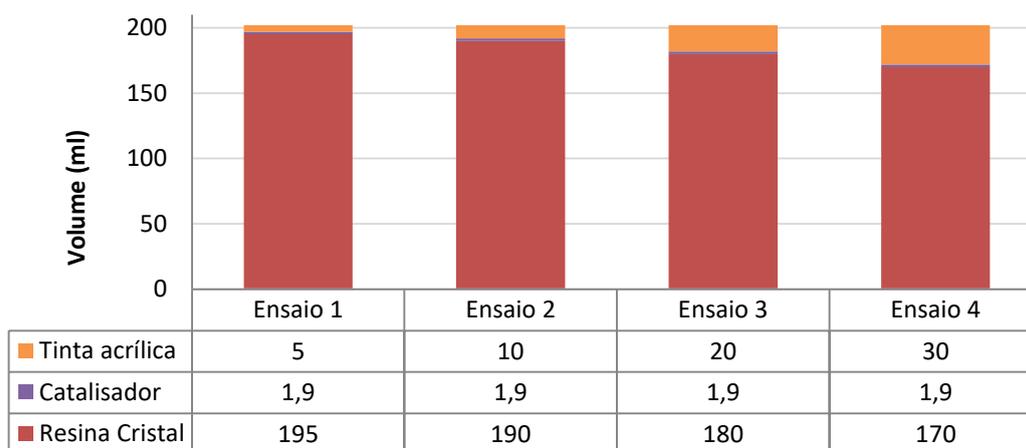
Figura 41 – Quantidades utilizadas nos ensaios com tinta acrílica.



3.8.3 Ensaio moldagem com pasta metálica

O terceiro grupo de ensaios foi realizado com pasta metálica, marca Corfix Goldfix, cor bronze. A composição identificada na embalagem do produto é pigmentos metálicos, solventes alifáticos e ceras naturais. Os ensaios variaram a proporção de pigmento em 2,5, 5, 10 e 15%, para uma quantidade de 200 ml, conforme Figura 42.

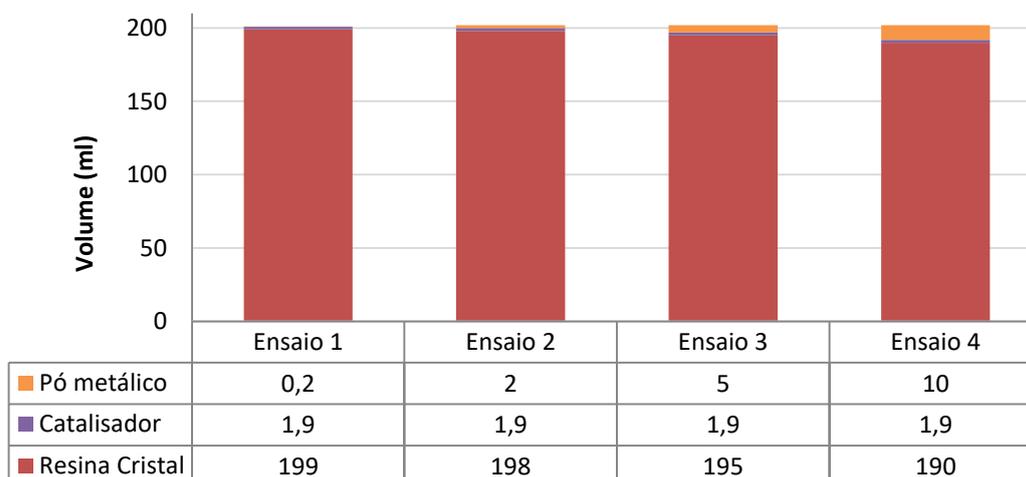
Figura 42 – Quantidades utilizadas nos ensaios com pasta metálica.



3.8.4 Ensaio moldagem com pó metálico

O quarto grupo de ensaios foi realizado com pó metálico extra fino, marca Glitter Purpurina, cor bronze. A composição identificada na embalagem do produto é mistura de liga metálica em pó (cobre, zinco e alumínio) recoberta com ácidos graxos. Os ensaios variaram a proporção de pigmento em 0,1, 1, 2,5 e 5%, para uma quantidade de 200 ml, conforme Figura 43.

Figura 43 – Quantidades utilizadas nos ensaios com pó metálico.



3.9 ACABAMENTO SUPERFICIAL

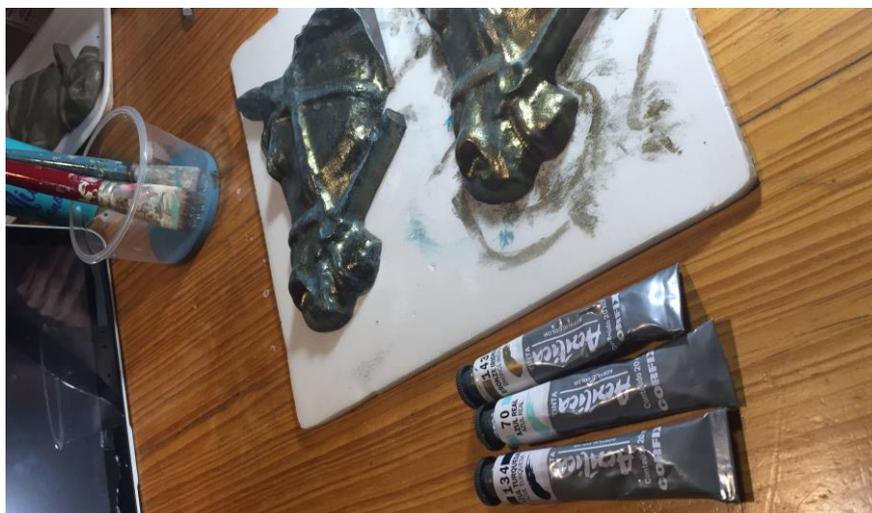
Após selecionar os melhores resultados dos ensaios anteriores por análise visual, uma peça de cada material foi utilizada para testar o acabamento com pintura. Para realizar os ensaios, foram confeccionadas quatro novas peças de cada material e utilizaram-se as técnicas de pintura acrílica e de aplicação de pasta metálica mais um reagente para pátina, em busca de reproduzir a coloração da obra.

3.9.1 Pintura acrílica

O primeiro tipo de acabamento realizado foi a técnica de pintura com tinta acrílica, marca Corfix, utilizando as cores preto, cinza, bronze iridescente, azul turquesa e azul real. Os quatro ensaios de pinturas foram realizados simultaneamente, observando a foto do monumento original, aplicando as mesmas camadas de tinta para obter um resultado semelhante.

Primeiramente, foi aplicado uma base na cor bronze, em seguida uma camada de azul turquesa e azul real, nos locais onde apresentavam a respectiva coloração (Figura 44). Depois de 3 horas de secagem, foi aplicado uma pintura de cor preta, removido o excesso com pano seco, em seguida aplicada uma camada de bronze e também removido o excesso. Para finalizar a pintura, foram aplicados toques de tinta cinza e preta para buscar a coloração da peça original. Depois da secagem, foi aplicado verniz fixador incolor fosco com proteção UV, da marca Acrilex Acrilfix.

Figura 44 – Ensaios pintura acrílica.



3.9.2 Pasta metálica e reagente para pátina

Após realizados os ensaios de pintura acrílica, foi percebido que a peça com a pigmentação da pasta metálica apresentou a coloração mais semelhante à peça original. Portanto, foi fabricada uma nova cópia da peça com pigmentação da pasta metálica, para realizar o ensaio aplicando reagente químico específico da mesma marca (Corfix). A composição identificada no rótulo do reagente é cloreto de amônio e sulfato de cobre.

A pintura da nova peça iniciou com a aplicação de uma camada base com a pasta metálica. Em seguida, foi aplicado o reagente em três demãos, conforme recomendação do fabricante. Para cada aplicação, foi observado um intervalo de uma hora para a secagem. Após 24 horas, foi aplicada uma camada verniz fixador incolor fosco com proteção UV, da marca Acrilex Acrilfix. Os resultados foram avaliados a partir de análise visual.

3.10 EXECUÇÃO PEÇA FINAL

Para executar a peça final, foram analisados todos ensaios realizados anteriormente: fabricação digital, precisão dimensional das resinas, pigmentação e coloração superficial. De posse dos melhores resultados, foi produzida uma peça utilizando todo o volume do molde de silicone (1.500 ml).

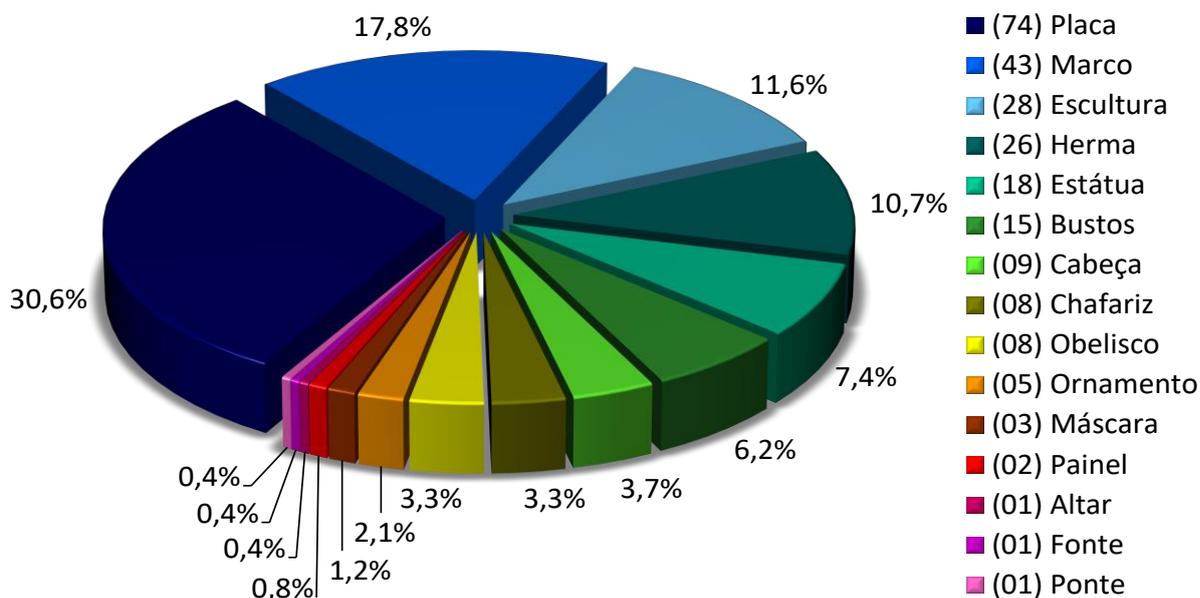
A peça final foi digitalizada em 3D e comparada dimensionalmente ao melhor resultado previamente obtido com as resinas. Ainda, foi realizada uma análise visual para avaliação da aparência da peça obtida em relação à peça original. Cabe salientar que, para fins de estudo, neste ponto buscou-se obter a aparência que a peça possuía na época do furto (último registro fotográfico disponível). Embora viável tecnicamente, o presente trabalho não tem a intenção de discutir a reprodução da aparência da peça ao longo do tempo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No levantamento inicialmente realizado, foram totalizados 277 monumentos. Destes, 31 não foram encontrados em seus respectivos locais (independente da causa, em virtude de furto, remanejamento de local ou manutenção), o que corresponde a 12% do total. Dentre os locais visitados, foi possível analisar a presença (ou a ausência devido ao furto) do bronze em 96 monumentos, o que corresponde a 35% da totalidade dos monumentos de Porto Alegre.

Analisando as tipologias, foi possível gerar uma tabela (Apêndice A), a qual é demonstrada através de um gráfico (Figura 45), com as diversas encontradas: placa, marco, escultura, herma, estátua, bustos, cabeça, chafariz, obelisco, ornamento, máscara, painel, altar, fonte e ponte.

Figura 45 – Tipologias encontradas nos monumentos de Porto Alegre.



A utilização do bronze nos monumentos foi verificada em várias formas, tamanhos e linguagens. Constataram-se divergências com a tabela utilizada como base (TILL, 2002), tais como mudanças de localização, ausência de peças em alguns monumentos e diversas intervenções realizadas por vândalos, como pichações (Figura 46a), utilizações inadequadas (Figura 46b) e furtos/danos (Figura 46c).

Figura 46 – Monumentos com intervenções.



A) Barão do Rio Branco (pichação); B) A Samaritana (utilização inadequada); C) General Emilio Lúcio Esteves (furtos/danos).

Algumas peças demonstraram a brutalidade e descaso no ato do furto, a Figura 47 é um exemplo. Localizada no Parque Moinhos de Vento, é possível identificar resquícios da existência da placa, que, atualmente, possui apenas um fragmento de bronze, que identifica a data inaugural do monumento, no ano de 1981.

Figura 47 – Placa sem identificação.



Resquício da placa em bronze, com a data de 1981.

Neste contexto, visando contribuir para restauração ou reposição desses monumentos danificados, foram investigadas diferentes tecnologias 3D. Assim, no escopo do presente trabalho, foram realizados ensaios envolvendo a digitalização tridimensional e a fabricação digital.

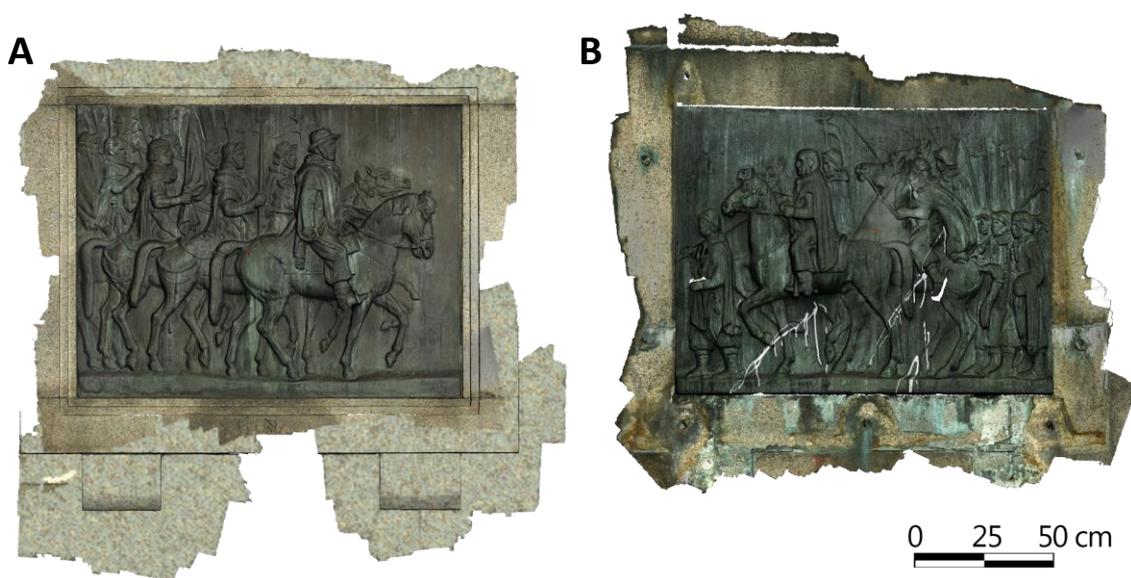
4.1 ENSAIOS PARA REPRODUÇÃO DA PEÇA

Conforme a metodologia descrita, foi utilizada a placa lateral direita do Monumento a Bento Gonçalves como estudo de caso. Com a intenção de buscar uma forma fidedigna da obra, foram realizados ensaios com diferentes técnicas de produção. As etapas da fabricação das réplicas partiram da digitalização tridimensional até a confecção da peça final.

4.1.1 Digitalização das peças

Para executar esta etapa foi realizado o processamento dos dados adquiridos e a manipulação dos modelos 3D. A Figura 48 apresenta os modelos obtidos com as texturas, gerando uma leitura realista do objeto digitalizado.

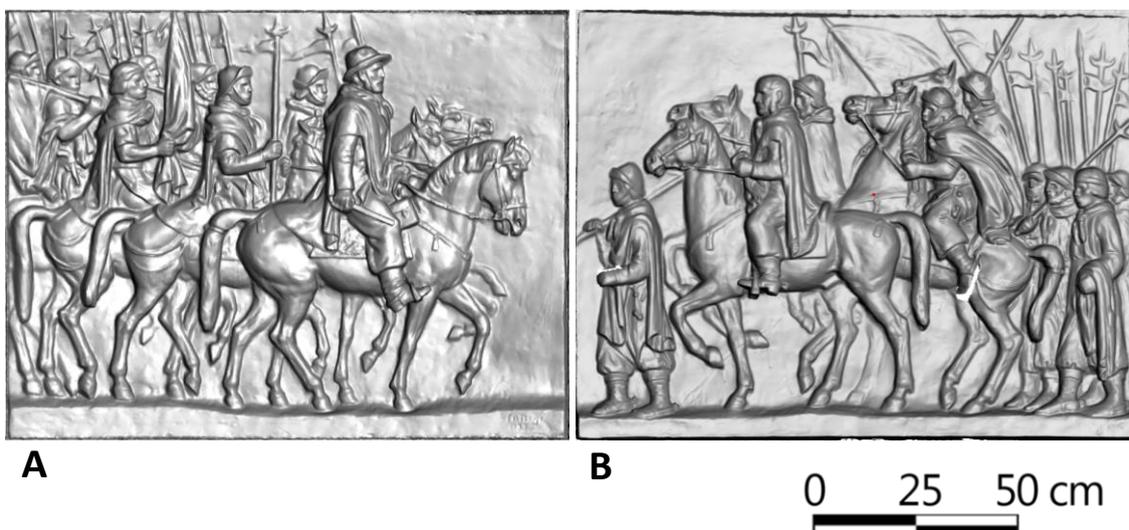
Figura 48 – Modelos 3D das placas do Monumento a Bento Gonçalves.



A) Modelo da placa lateral esquerda; B) Modelo da placa da lateral direita.

Para possibilitar a fabricação digital, foi necessário o tratamento da malha para corrigir e fechar discontinuidades. Segundo Silva (2006), normalmente, quando é gerada a malha há presença de furos, que necessitam de correção. O fechamento dos furos ocorre através da interpolação de pontos (vértices dos triângulos) seguindo a curvatura das regiões adjacentes. A malha também deve ser contínua e eventuais intersecções entre triângulos devem ser removidas. O resultado obtido após o tratamento das malhas pode ser observado na Figura 49. Para finalizar o tratamento digital a malha foi suavizada, ou seja, tornando as arestas mais tangentes à vizinhança, esta operação melhora o aspecto da superfície.

Figura 49 – Modelos 3D das placas, após o tratamento.



A) Modelo da placa lateral esquerda; B) Modelo da placa da lateral direita.

4.1.2 Usinagem da placa lateral direita

Para o ensaio de usinagem CNC, um bloco foi fixado na mesa da máquina com fita adesiva dupla face 3M VHB. Foi realizado o faceamento, nos dois lados, com uma ferramenta reta de 10 mm. Este processo teve duração de 8 minutos.

Após, foi rodada a segunda etapa da programação, para realizar o desbaste, ainda com a ferramenta reta de 10 mm. A duração deste processo foi de 2 horas e 10 minutos. A Figura 50 mostra o processo de desbaste finalizado. Observam-se os 50 passes do desbaste, que possuem uma altura de 1 mm cada.

Figura 50 – Etapa de desbaste da peça.



Depois de finalizado o desbaste, foi realizada a troca da ferramenta, colocando a fresa esférica de 6 mm, para realizar a etapa de acabamento (Figura 51). Essa etapa teve a duração de 1 hora e 22 minutos.

Figura 51 – Peça usinada finalizada, já com aplicação de selador.



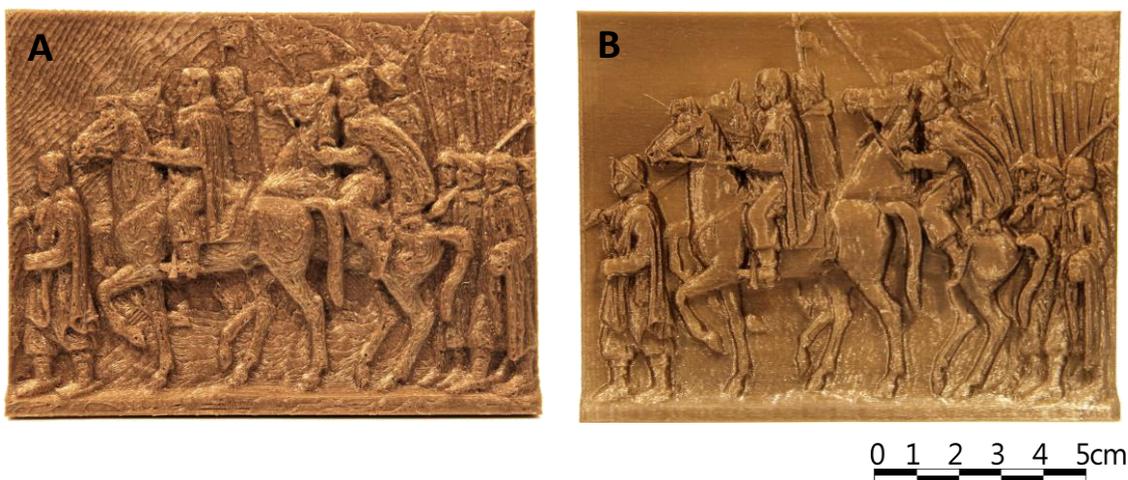
0 2 4 6 8 10cm

Totalizando o tempo necessário para as operações de usinagem foram somadas 3 horas e 40 minutos. Trata-se de um processo rápido, entretanto, deve-se considerar o tempo para realizar a programação e estudo de estratégias de usinagem, que podem representar grande parte do processo. Ainda, destaca-se que o uso de ferramentas de diâmetro menor pode melhorar o acabamento da peça em detrimento do tempo de processamento.

4.1.3 Impressão 3D das peças

Como descrito no item 3.4.2, com intuito de buscar o melhor acabamento superficial, foram impressas 2 peças, uma na posição horizontal, 3 horas e 7 minutos minutos para impressão (Figura 52a) e outra na vertical, com duração de impressão 5 horas e 4 minutos (Figura 52b). As peças impressas para realizar o teste foram réplicas, na escala 1:100, da primeira placa furtada.

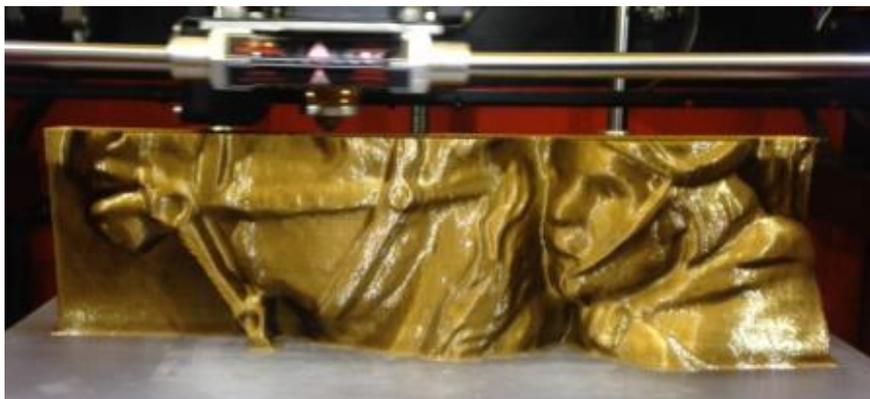
Figura 52 – Impressões na escala 1:100, dimensões 137 x 105 x 10 mm.



A) Placa impressa na horizontal; B) Placa impressa na vertical.

Com esses ensaios foi possível comprovar os resultados da pesquisa de Segreto et al. (2017), confirmando que a melhor resolução de superfície obtida foi na orientação vertical (Figura 52b), pois a precisão nos eixos X e Y é melhor. Isso também vai ao encontro do estudo de Silva e Caldovino (2015) sobre impressão de peças museológicas. A partir desses ensaios, foi impresso o trecho da peça de estudo em escala real, na posição vertical, com duração de 18 horas e 44 minutos (Figura 53).

Figura 53 – Impressão do protótipo da peça, dimensões 310 x 210 x 51 mm.



O resultado obtido pode ser observado na Figura 54. Posteriormente, essa peça foi analisada e comparada à peça usinada, conforme será exposto no item 4.1.5.

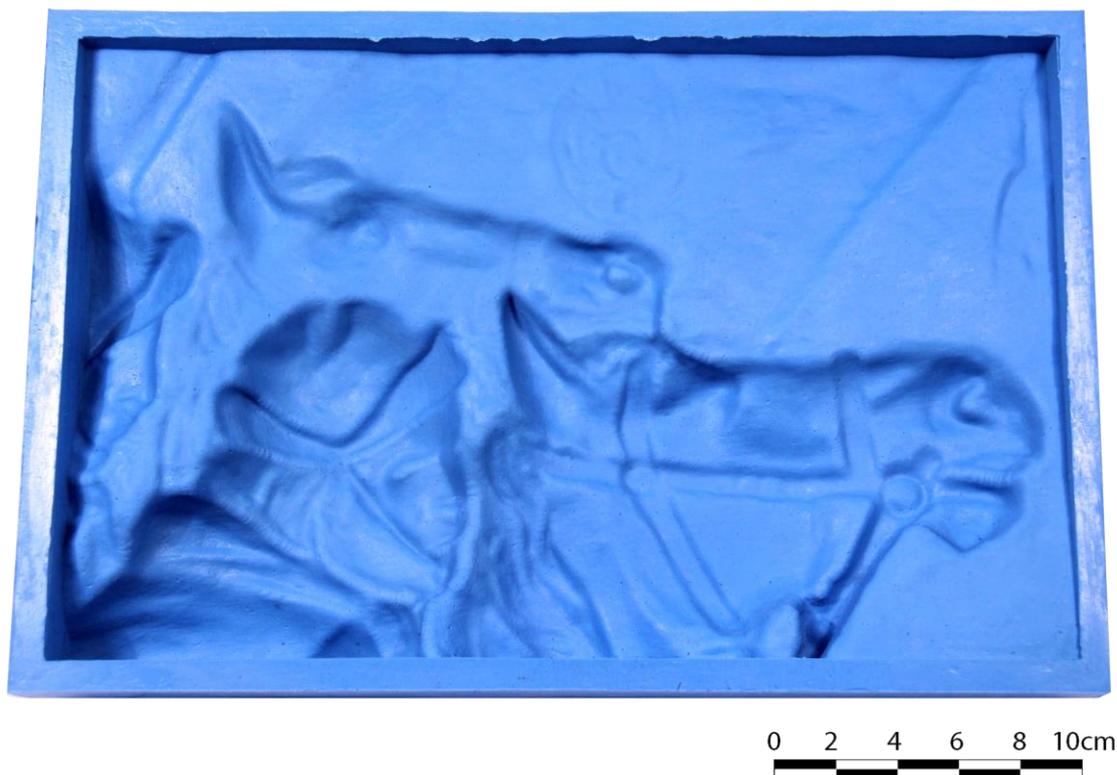
Figura 54 – Peça impressa finalizada.



4.1.4 Moldagem

Após a obtenção de um molde de silicone (Figura 55), foram realizados cinco ensaios de vazamento das resinas, testando três resinas diferentes. O tempo adotado para a cura e desmoldagem foi igual para todas as peças, de 12 horas.

Figura 55 – Molde de silicone.



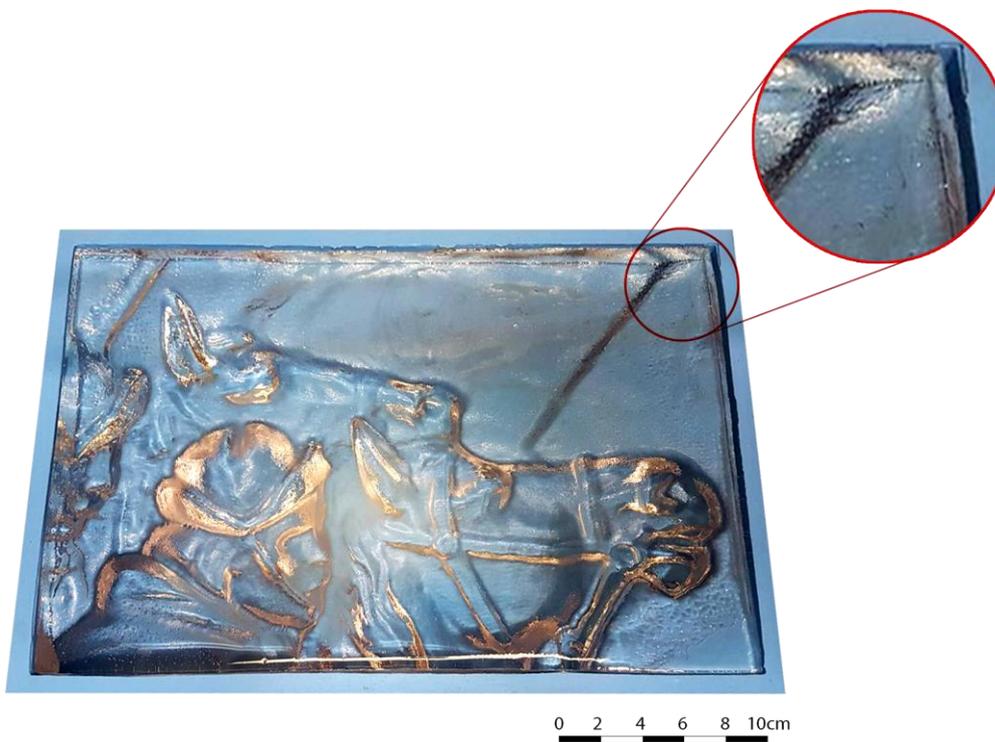
Na Figura 56 é possível observar as peças após o processo de cura. Os ensaios 1 e 2 (poliéster cristal) apresentaram uma coloração transparente, os ensaios 3 e 4 (epóxi) apresentaram uma coloração mais amarelada e o ensaio 5 (poliéster) apresentou uma coloração marrom.

Figura 56 – Peças desmoldadas.



Dentre os ensaios realizados, observou-se que as peças apresentaram um comportamento semelhante em relação à contração. A contração é evidente, por exemplo, no ponto destacado na Figura 57, na qual observa-se o vão formado entre a peça em resina de poliéster cristal (Ensaio 2) e o molde de silicone.

Figura 57 – Ensaio 2, exemplo de contração das peças, ampliação de 2x.



Após o processo de moldagem, as peças foram medidas com régua para conferir as dimensões principais em cada etapa (Tabela 2). As etapas da fabricação digital não apresentaram erros detectáveis com régua, comparando com o modelo 3D virtual. A impressão 3D apresentou resultados idênticos ao da usinagem e não foi incluída na Tabela 2. Também, para efeito de comparação, cabe destacar que o molde de silicone e os ensaios com as resinas foram realizados a partir da peça confeccionada por usinagem.

Tabela 2 – Medidas realizadas com régua, unidades em milímetros.

	Usinagem	Molde	Poliéster cristal 1	Poliéster cristal 2	Epóxi 1	Epóxi 2	Poliéster ortoftálica
Base	330	328	323	324	323	319	322
Largura	210	210	208	207	209	205	209
Altura	51	52	50	51	52	51	52

Os ensaios 1 e 2, de resina poliéster cristal, apresentaram os melhores acabamentos superficiais (Figura 58). Já os ensaios 3 e 4, de resina de epóxi, apresentaram acabamento superficial inadequado (Figura 59). Pode-se perceber que as superfícies apresentaram diversas trincas durante o processo de cura.

Figura 58 – Peça do ensaio 2, com ampliação de 2x.

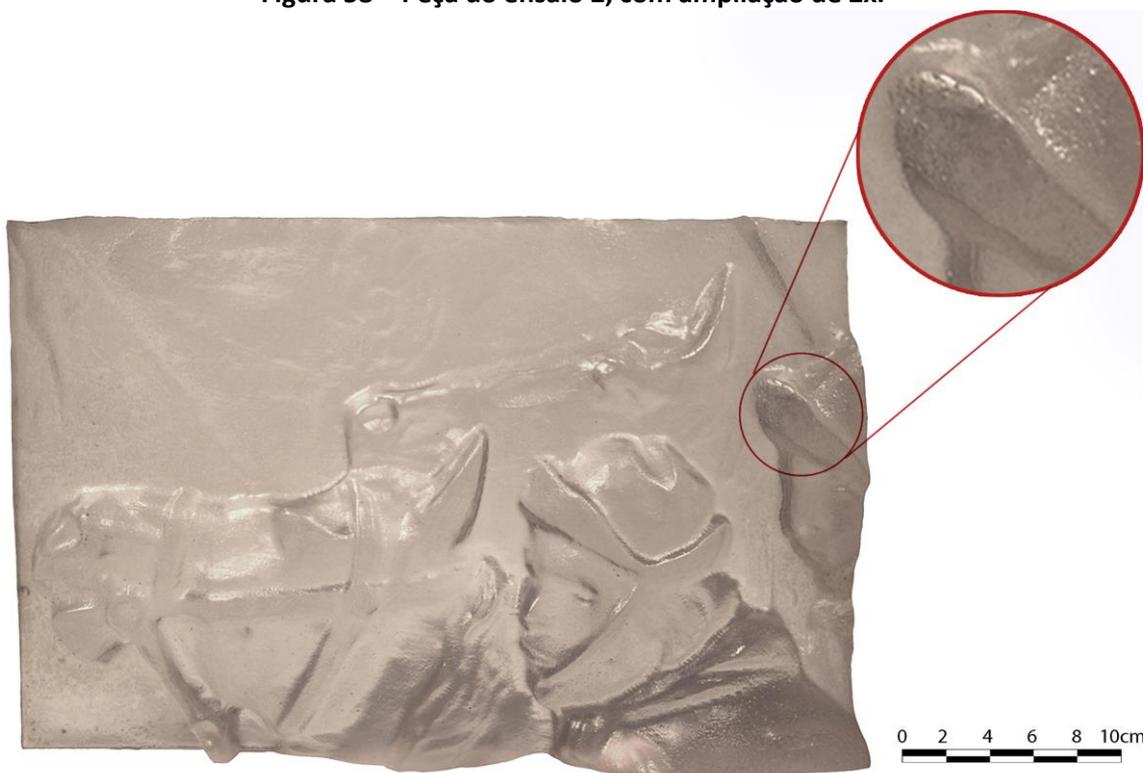


Figura 59 – Peça do ensaio 3, com ampliação de 2x.



O ensaio 5, de resina de poliéster ortoftálica (Figura 60), apresentou a maior contração dentre todas peças ensaiadas. Contudo, o acabamento superficial ficou similar aos ensaios 1 e 2 (resina de poliéster cristal).

Figura 60 – Peça do ensaio 5, com ampliação de 2x.



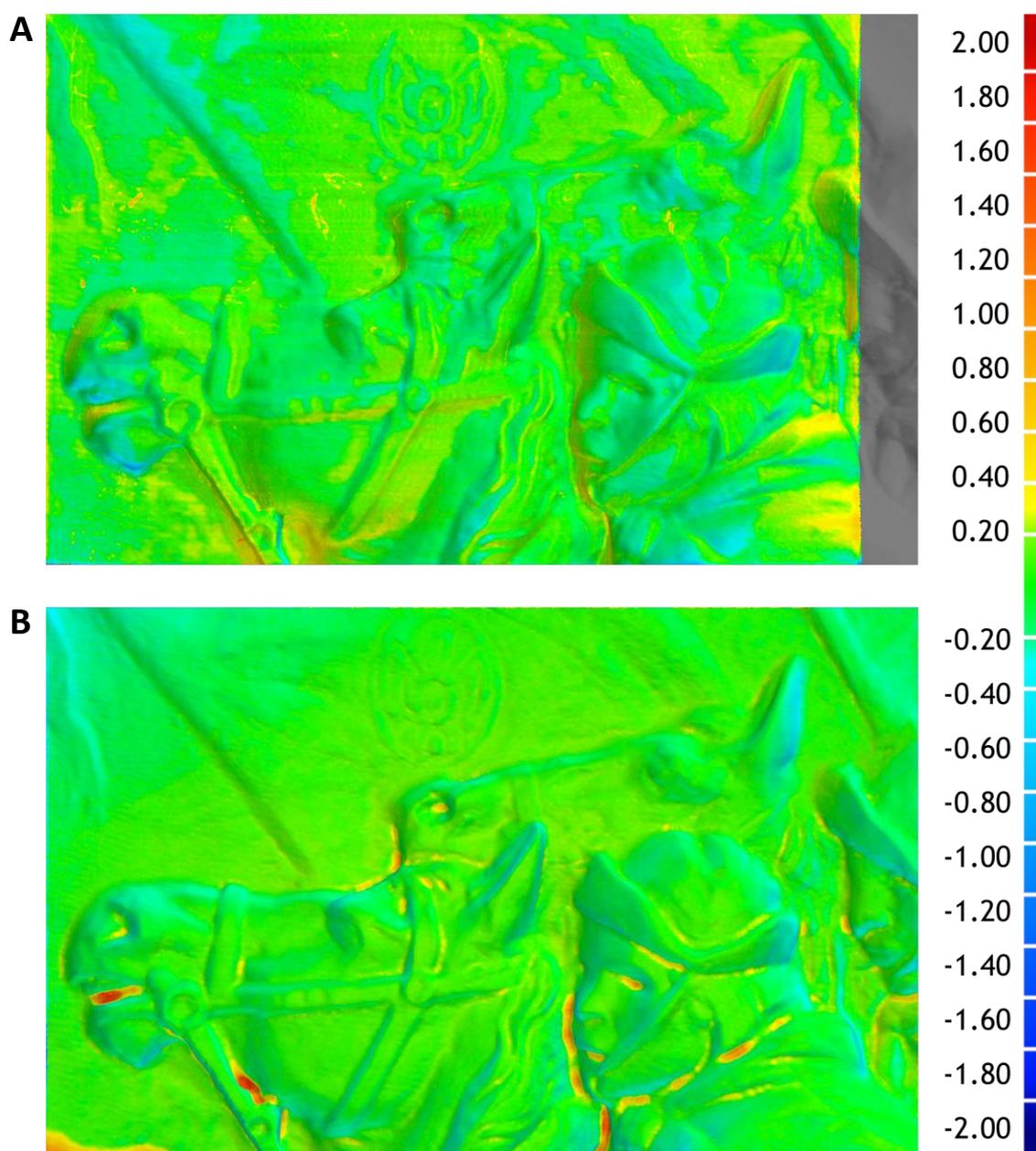
4.1.5 Avaliação das peças ensaiadas

Os dados gerados pela digitalização tridimensional a laser possibilitaram a análise dos resultados obtidos durante a fabricação das peças, comparando as peças ensaiadas com o modelo original do monumento. Para essa comparação, o *software* Geomagic Qualify calcula uma superfície média entre a adquirida pela digitalização e aquela utilizada como referência. Sendo assim, os tons azulados indicam pontos localizados abaixo e os tons avermelhados indicam pontos acima desta superfície, a cor verde mostra as regiões onde não houve erro dimensional significativo, neste caso abaixo de 0,2 mm. Na Figura 61a a região em cinza representa a área que não foi impressa, pois não coube na mesa da impressora 3D.

A primeira análise (Figura 61) mostra os modelos realizados com a fabricação digital: a impressão 3D (Figura 61a) e a usinagem (Figura 61b). Observa-se que, apesar

da figura ser predominantemente verde (erro abaixo de $\pm 0,2$ mm), em algumas regiões houve erros dimensionais significativos quando comparados com o modelo original. Nesse sentido, a peça usinada apresentou pontos com erro maior, o qual ocorreu nas regiões onde a ferramenta não alcançou. Cabe destacar que a usinagem com a utilização de uma ferramenta de diâmetro menor (uma fresa de 3 mm, por exemplo) possibilitaria a redução do erro.

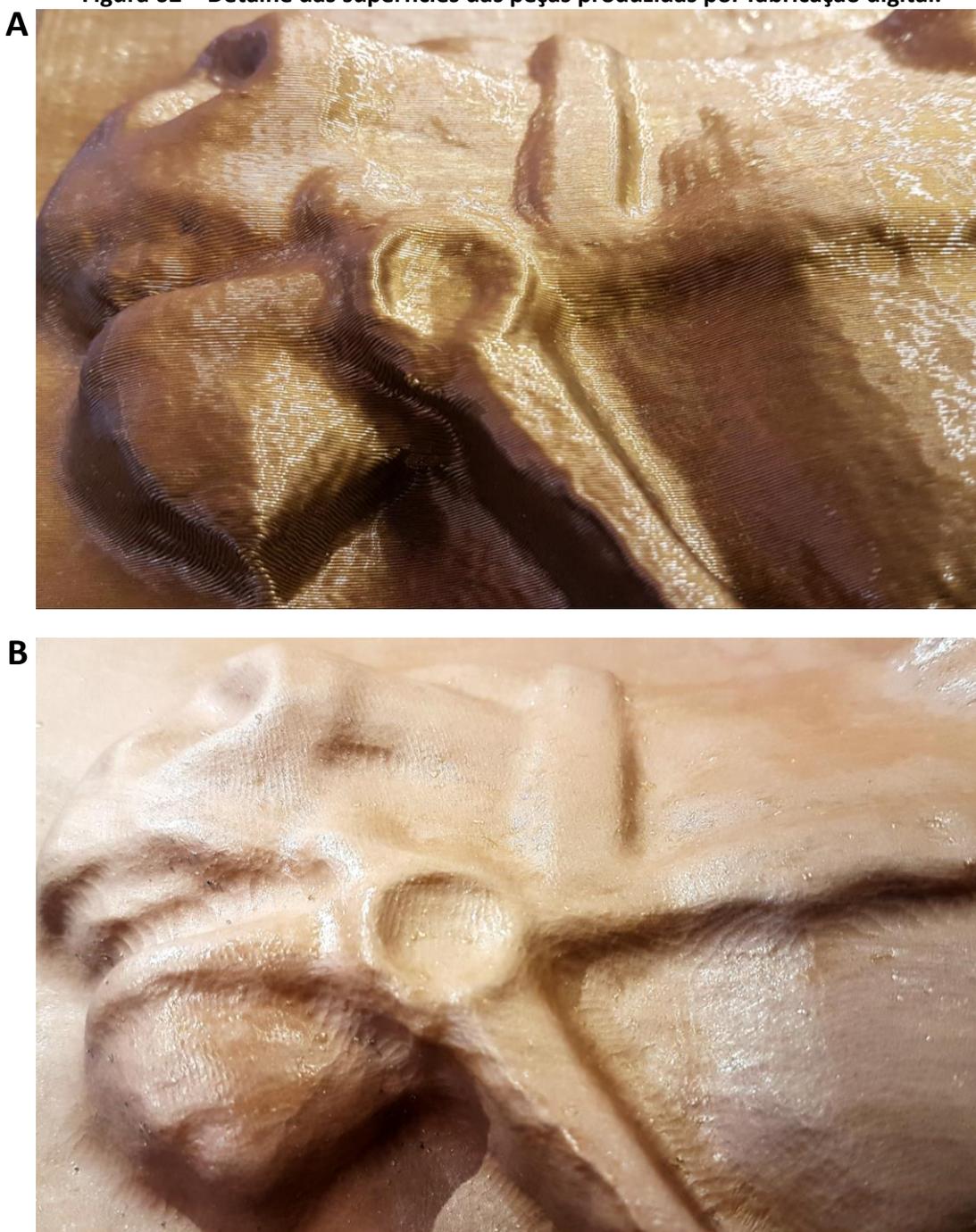
Figura 61 – Análise das peças produzidas por fabricação digital.



A) Peça impressa em 3D; B) Peça Usinada. Unidades em mm.

As superfícies das peças fabricadas por meio da fabricação digital têm resultados distintos, conforme mostra a Figura 62. Ao analisar a Figura 62a é possível observar as linhas das camadas de impressão. A Figura 62b mostra a peça usinada, a qual, apesar de possuir pequenas marcas de ferramenta, visivelmente apresenta uma superfície mais uniforme, quando comparada com a peça impressa. Nesse sentido, o processo de usinagem foi escolhido, por apresentar o melhor acabamento superficial.

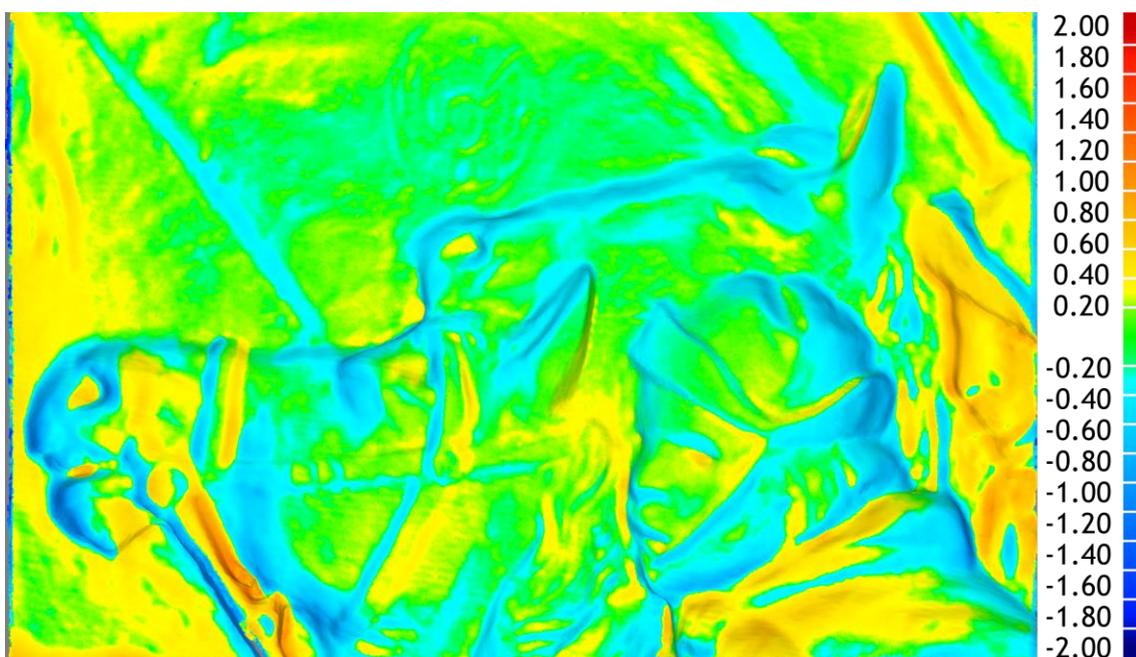
Figura 62 – Detalhe das superfícies das peças produzidas por fabricação digital.



A) Peça impressa em 3D; B) Peça Usinada.

A comparação do molde de silicone com o modelo digitalizado em 3D (Figura 63) apresentou erros dimensionais mais relevantes, com média de erro de aproximadamente 0,3 mm. A análise evidenciou que houve contração na peça, apresentando uma diminuição de altura, o que é nítido nas regiões onde possuem as cabeças dos cavalos (zonas em azul).

Figura 63 – Erro dimensional do molde, em milímetros.



As peças em resina indicaram a maior divergência dimensional obtida entre as etapas de fabricação, pois além do material contrair também acumula os erros dos processos anteriores (Figura 64). Nota-se que as regiões que estavam representadas em amarelo na etapa do molde em silicone, agora estão representadas por tons avermelhados. Essa alteração de cor indica que houve um aumento no grau de contração, em função do processo de cura das resinas.

Na Tabela 3 são sintetizados os dados referentes às médias dos erros dimensionais e os desvios-padrões obtidos por meio da digitalização das peças ensaiadas. De acordo com os dados referentes às médias dos erros dimensionais, os altos valores de desvio padrão observados, representam que os valores máximos dos erros ocorridos no decorrer dos processos são consideravelmente maiores que as médias apresentadas.

Figura 64 – Erros dimensionais das peças ensaiadas, em milímetros.

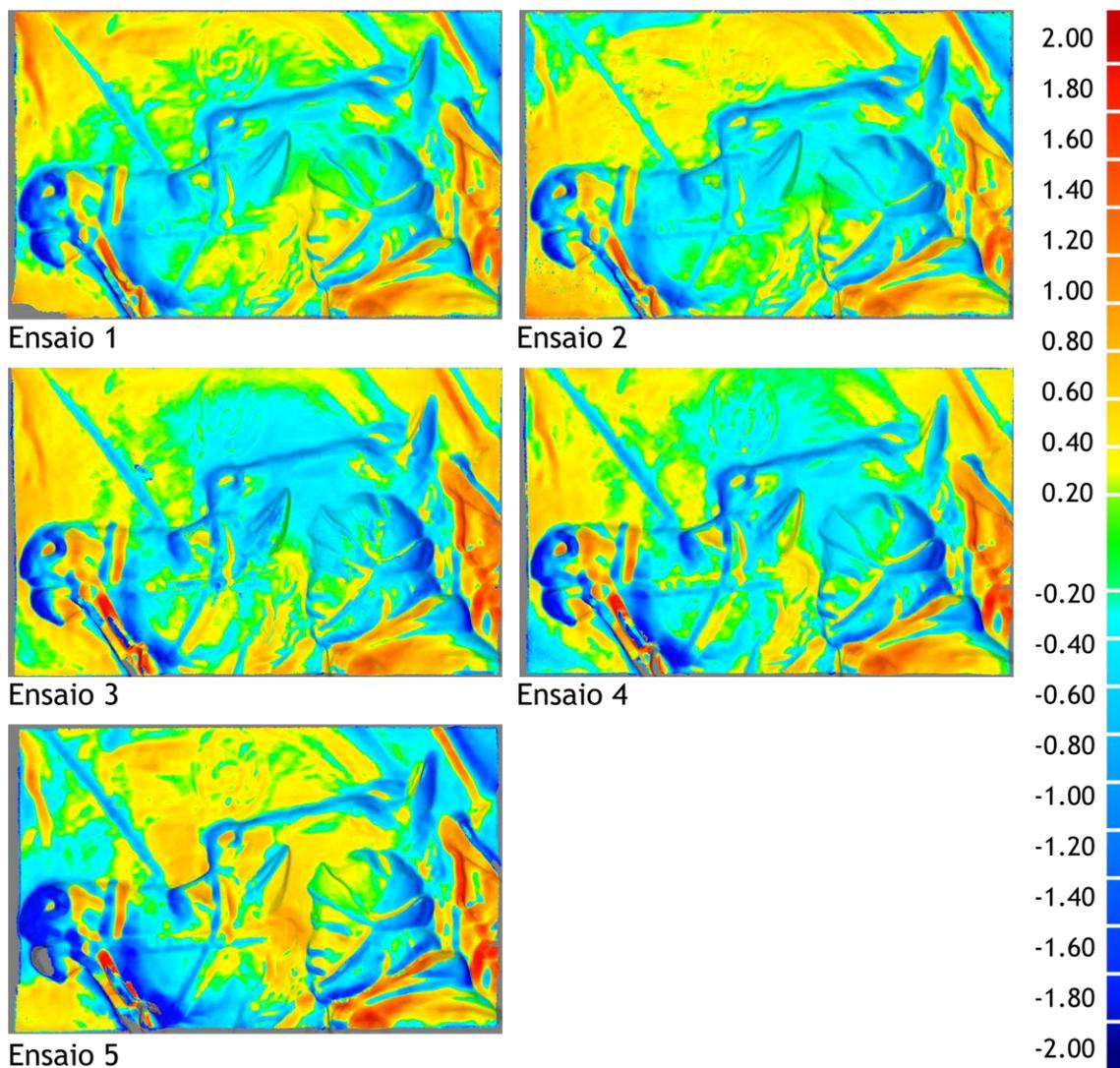
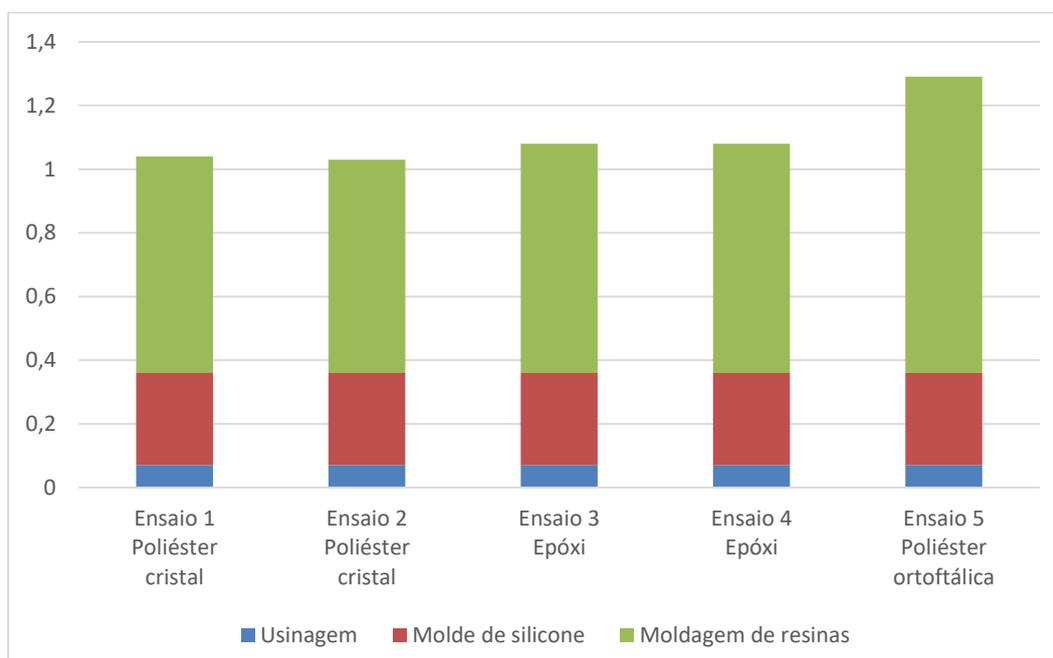


Tabela 3 – Valores médios e desvios-padrões das diferenças captadas pela digitalização tridimensional em cada etapa da produção dos ensaios (unidades em mm)

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
	Usinagem CNC	Resina de poliéster Cristal	Resina de poliéster Cristal	Resina de epóxi	Resina de epóxi	Resina de poliéster ortoftálica
	Impressão 3D					
	Molde de silicone					
Média	0,07	0,08	0,29	0,68	0,67	0,72
Desvio-padrão	0,10	0,10	0,40	0,88	0,85	0,96
						0,72
						0,97
						1,08

A Figura 65 apresenta o gráfico gerado a partir das médias dimensionais, em função do processo de produção das peças ensaiadas. Os resultados estão de acordo com o estudo de Pohlmann (2012), observa-se que os erros gerados na etapa de usinagem são pequenos (média abaixo de 0,1 mm) e que os erros da etapa de moldagem são consideravelmente maiores. Analisando todos os erros de processos, é notável a discrepância dimensional ocorrida na etapa final de moldagem, em função da contração da resina, a qual está representada no gráfico na cor verde.

Figura 65 – Médias dos erros dimensionais dos processos de produção (em milímetros)



Além das informações obtidas com a organização dos dados em tabelas e gráficos, vale ressaltar que os resultados apontam qual o material que apresenta a menor contração (resina de poliéster cristal). Cabe destacar que a qualidade da peça final será determinada em função dos materiais utilizados como modelos e moldes nas etapas subsequentes à usinagem.

Em relação aos erros dimensionais, em função dos materiais utilizados, esses eram esperados devido à contração durante o processo de cura da resina. Entretanto, verificou-se que elas reproduzem os detalhes que haviam sido fornecidos pela digitalização da placa original. Assim, com a utilização da resina de poliéster cristal, partiu-se para a realização de estudos para prover aparência às peças.

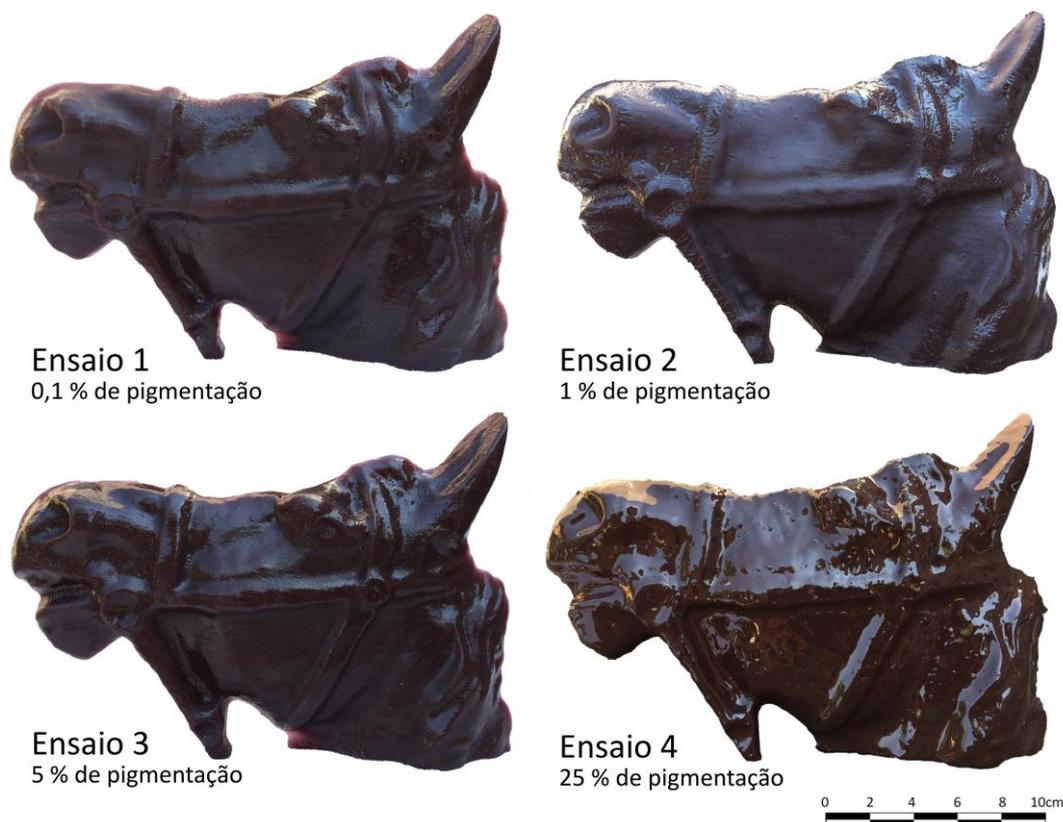
4.2 ENSAIOS PARA COLORAÇÃO DA PEÇA

Esta etapa foi dividida em duas partes: na primeira foram ensaiadas a pigmentação da resina, para resultar uma peça com coloração de base; e na segunda foi ensaiada a aplicação de materiais para o acabamento superficial.

4.2.1 Moldagem em resinas com materiais para pigmentação

Conforme descrito no item 3.8, foram realizados ensaios com diferentes materiais para pigmentação. O primeiro grupo de ensaios foi realizado com pasta de poliéster. No ensaio 1 (0,1% de pigmentação), a peça apresentou elevada translucidez, necessitando mais pigmento na mistura. O ensaio 2 (1% de pigmentação) apresentou o melhor resultado visual deste grupo. O ensaio 3 (5% de pigmentação) apresentou saturação de pasta na peça. No ensaio 4 (25% de pigmentação), devido à alta quantidade de pasta de poliéster, a superfície da peça ficou com aspecto viscoso, sem cura total, inutilizando-a (Figura 66).

Figura 66 – Peças moldadas com pasta de poliéster.



O segundo grupo de ensaios foi realizado com tinta acrílica. No ensaio 1 (5% de pigmentação), a exemplo do ocorrido no grupo anterior, a peça apresentou elevada translucidez. O ensaio 2 (10% de pigmentação) apresentou um melhor resultado visual, porém, ainda com translucidez. O ensaio 3 (15% de pigmentação) apresentou o melhor resultado visual deste grupo. No ensaio 4 (20% de pigmentação), além de mais elevado tempo de cura, houve saturação de tinta na peça (Figura 67). Observou-se também que as peças ficaram mais foscas com o aumento da proporção de tinta acrílica.

Figura 67 – Peças moldadas com tinta acrílica.



O terceiro grupo de ensaios foi realizado com pasta metálica. No ensaio 1 (2,5% de pigmentação), novamente, a peça apresentou elevada translucidez. O ensaio 2 (5% de pigmentação) forneceu o melhor resultado visual deste grupo, e dentre todos os grupos, apresentando a coloração mais aproximada à peça original. No ensaio 3 (10% de pigmentação), apesar de apresentar um bom resultado visual, houve saturação da

pasta metálica. No ensaio 4 (15% de pigmentação), houve grande saturação de pasta, implicando em evidentes fragmentos de pigmento na peça (Figura 68).

Figura 68 – Peças moldadas com pasta metálica.



O quarto grupo de ensaios foi realizado com pó metálico. No ensaio 1 (0,1% de pigmentação), a peça apresentou elevada translucidez. O ensaio 2 (1% de pigmentação) apresentou o melhor resultado visual deste grupo de ensaios. No ensaio 3 (2,5% de pigmentação), puderam ser observados alguns fragmentos de pigmento na peça. O ensaio 4 (5% de pigmentação) resultou em uma peça com muitos fragmentos de pigmento e regiões de grande acúmulo de pigmentação na peça (Figura 69).

Figura 69 – Peças moldadas com pó metálico.



4.2.2 Acabamento superficial

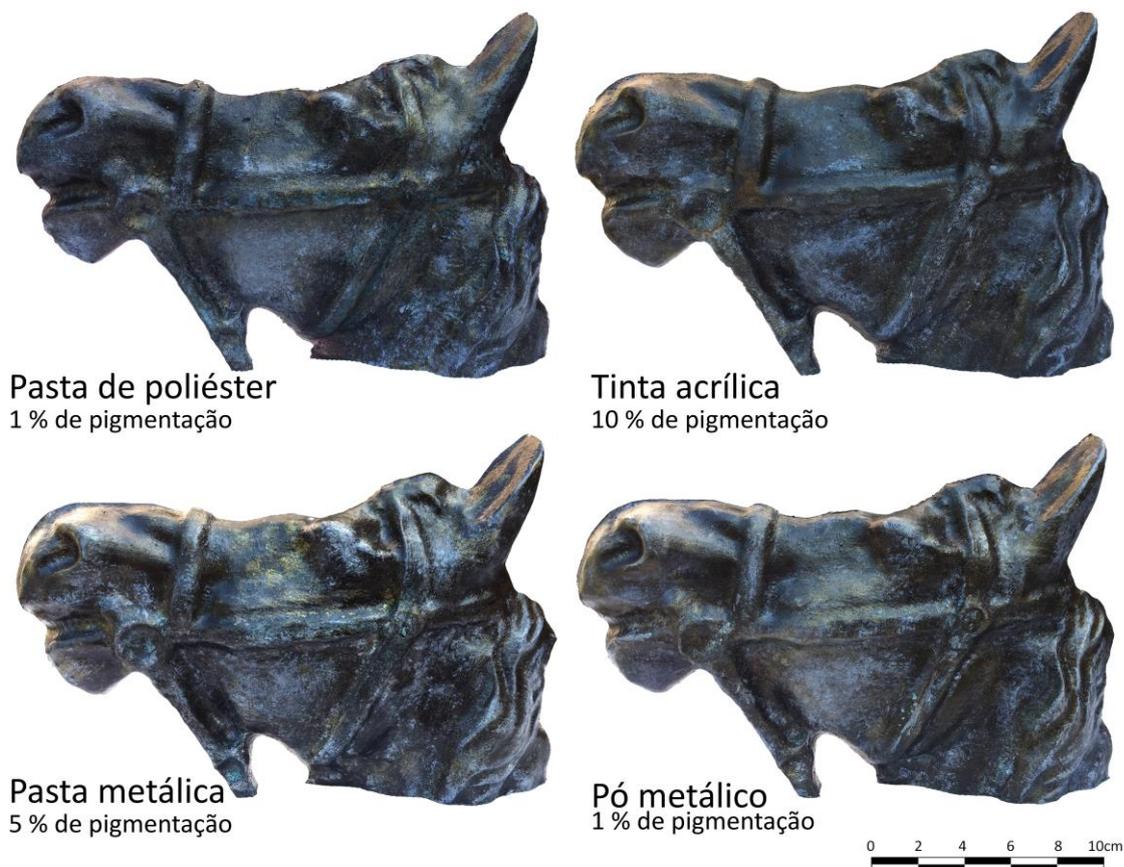
Conforme o item 3.9, para cada peça selecionada dos grupos de ensaios de pigmentação, foi aplicada pintura acrílica superficial. Assim, foram moldadas quatro novas peças, uma com cada cor de base, para realização dos ensaios de acabamento superficial (Figura 70).

Figura 70 – Peças selecionadas de cada material testado para pigmentação.



A Figura 71 mostra as peças produzidas com o acabamento superficial utilizando a técnica com pintura acrílica.

Figura 71 – Peças com técnica de acabamento superficial com tinta acrílica.



Quanto ao acabamento superficial, observou-se que a pintura das peças apresentou um resultado visual semelhante, não sendo possível notar diferença entre elas. Considerando esse resultado – e que a obra fica exposta em um ambiente externo, com a possibilidade de sofrer impactos – a peça com cor de fundo mais semelhante à original foi a selecionada. Portanto, pode-se afirmar que o melhor resultado foi obtido com a mistura da resina de poliéster cristal com 5% de pasta metálica.

Ainda foi realizado um segundo ensaio de acabamento, utilizando pintura com pasta metálica (em vez de tinta acrílica) e um reagente para pátina (cloreto de amônio e sulfato de cobre). Para tanto, utilizou-se o melhor resultado obtido até então, ou seja a peça com 5% de pigmentação com pasta metálica. A peça gerada, recebeu uma demão de pintura com a mesma pasta metálica, resultando uma camada homogênea e com coloração uniforme. Após a aplicação do reagente, observou-se a oxidação esverdeada característica do bronze (Figura 72).

Figura 72 – Peça com pintura de pasta metálica e com aplicação de reagente para pátina.



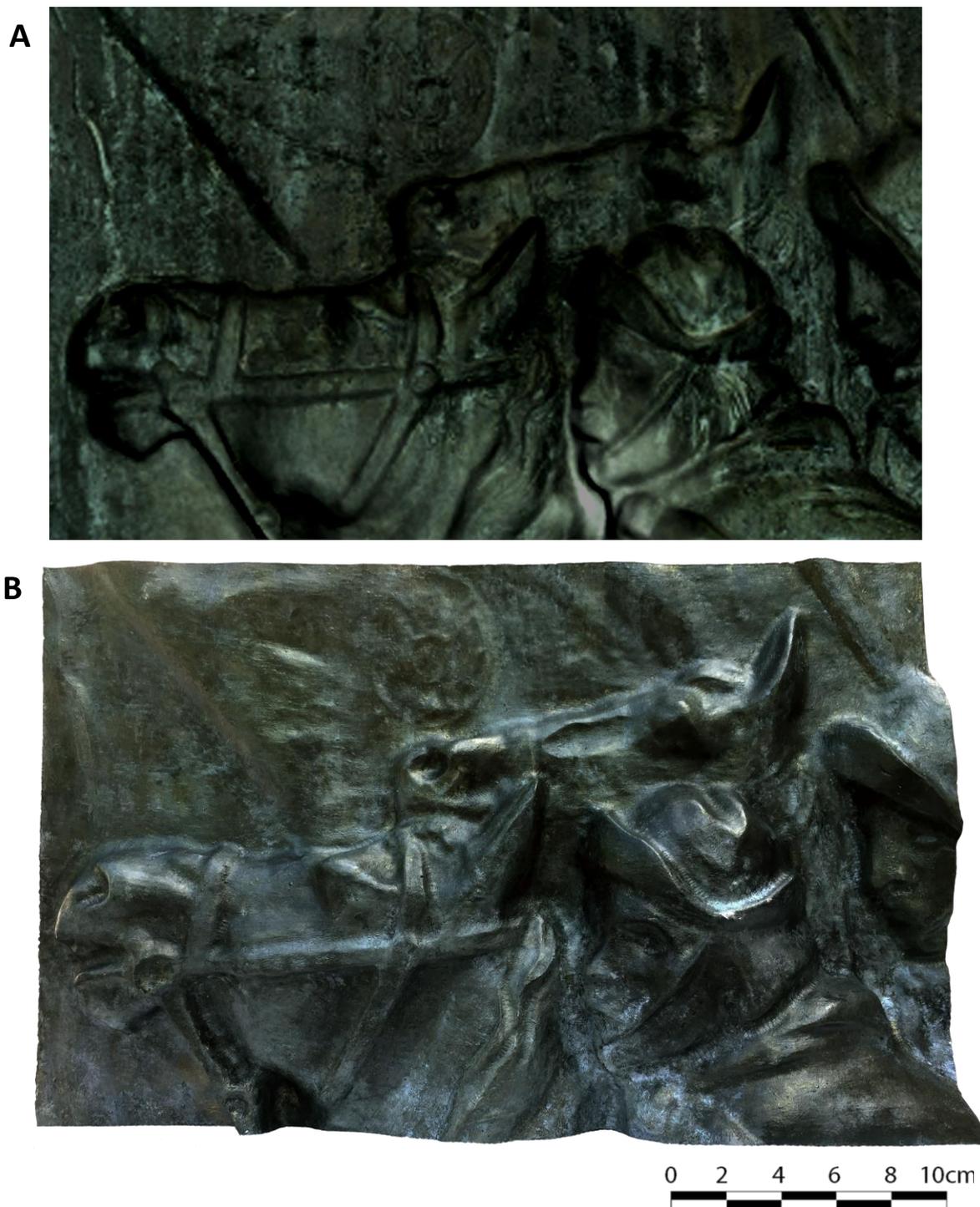
Esse último ensaio demonstrou que a aplicação de pasta metálica com reagente para pátina é capaz de reproduzir o aspecto visual do bronze, porém, não foi possível acertar a tonalidade da peça à época do furto. Cabe destacar que, conforme apresentado no item 3.10, não se teve a intenção de discutir a reprodução da aparência da peça ao longo do tempo. Nesse sentido, considerou-se que a aparência mais fidedigna à época do furto pode ser obtida pela técnica de pintura acrílica.

4.3 EXECUÇÃO PEÇA FINAL

Após a seleção dos materiais ensaiados, foi produzida uma peça com a resina de melhor precisão dimensional e com aspecto visual mais próximo à placa furtada. A peça final foi moldada em resina de poliéster cristal com 5% de pasta metálica cor bronze (em molde de silicone obtido a partir da usinagem CNC da peça digitalizada em 3D) e acabada com pintura acrílica e verniz fixador incolor fosco com proteção UV (Figura 73). É importante destacar que, em função da peça original ter sido furtada, não foi possível fazer registros fotográficos em alta resolução.

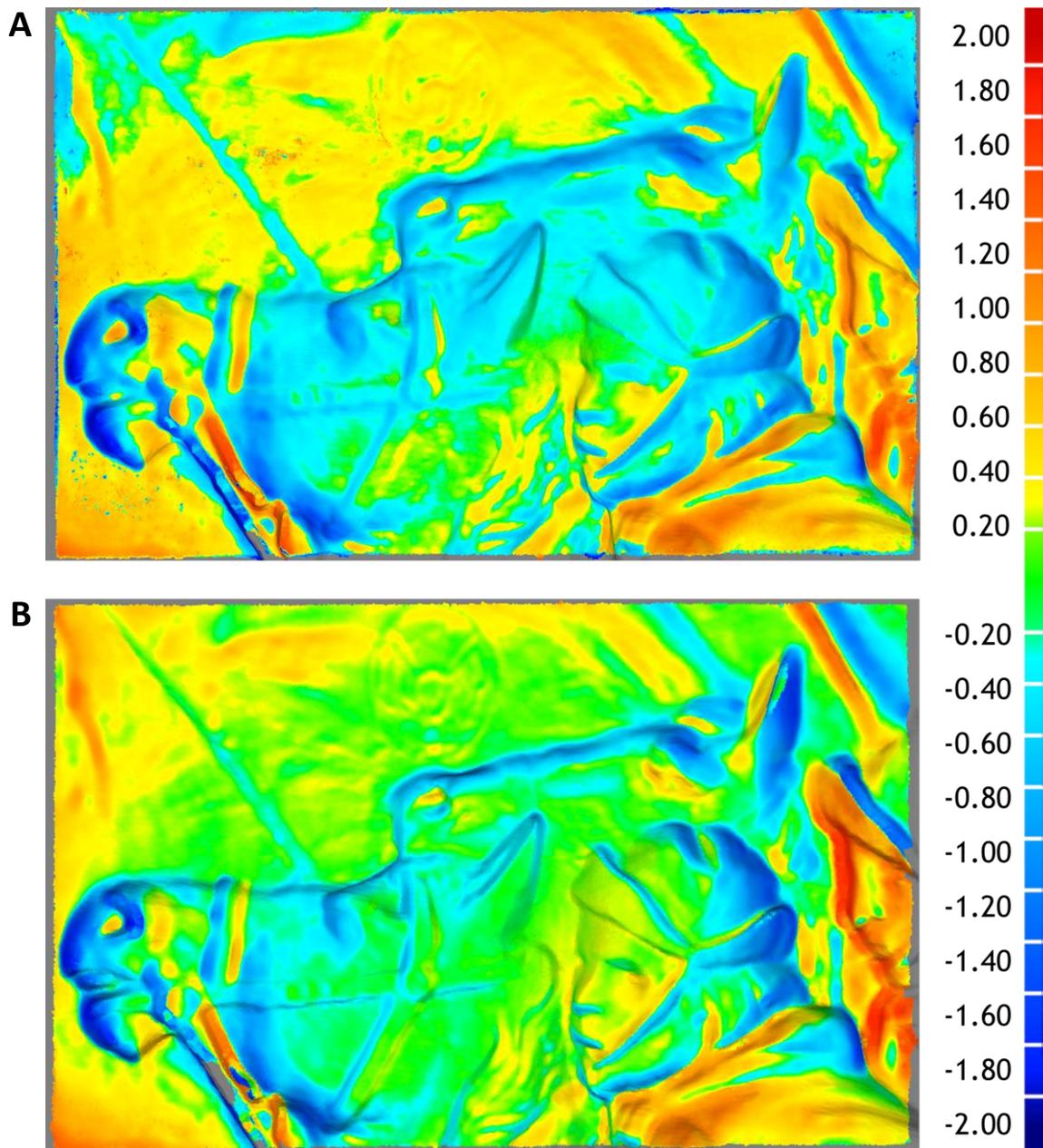
A peça final foi digitalizada em 3D utilizando os mesmos procedimentos dos ensaios de avaliação das resinas, conforme o método apresentado no item 3.7. O resultado foi comparado com o modelo 3D da peça original e ao melhor resultado dos ensaios com resina de poliéster cristal. A Figura 74 apresenta a análise dimensional em questão.

Figura 73 – Peça final para avaliação do processo proposto.



A) Foto da obra original; B) Peça final.

Figura 74 – Análise dimensional da peça final (unidades em mm).



A) Peça dos ensaios em resina de poliéster cristal; B) Peça final.

Pela análise, observou-se que a adição de 5% de pasta metálica, mais as camadas de pintura, ocasionaram um aumento no erro dimensional médio de 0,67 para 0,80 mm. Visto que o procedimento de acabamento é manual, esse valor pode sofrer variações, mas estima-se que modelos fidedignos possam ser obtidos seguramente com precisões de até 1 mm.

5. CONCLUSÃO

Nesta dissertação de mestrado foram avaliadas alternativas de processo para obtenção de réplicas de precisão a partir de obras de arte públicas consideradas de importância cultural e protegidas pelo patrimônio histórico. Foi utilizado como estudo de caso uma das placas em bronze do Monumento a Bento Gonçalves, que, infelizmente, veio a ser furtada durante a execução do trabalho. A partir da digitalização tridimensional previamente realizada, foram utilizados processos de fabricação digital, tais como impressão 3D e usinagem CNC, sendo o segundo escolhido para geração de um molde em silicone. Então, foram ensaiadas diferentes resinas e pigmentações para obtenção de uma peça fidedigna dimensionalmente e visualmente.

No início do trabalho, foi traçado um panorama da situação física e de risco dos monumentos de Porto Alegre, com foco nas obras em bronze. Observou-se que o bronze é utilizado em mais de um terço dos monumentos da cidade e que grande parte deles encontra-se em situação de alta vulnerabilidade, ou mesmo já danificados por vandalismo, pichações e furtos. Neste contexto, detectou-se que a tecnologia de digitalização 3D pode ser uma importante aliada para a documentação, bem como para a geração de modelos digitais que podem ser utilizados em caso de furtos ou mesmo para manutenção. Ainda, o uso dessa tecnologia permite o uso de obras virtuais e réplicas para a educação patrimonial, a qual também é de fundamental importância para a preservação de bens culturais.

Diante de um furto, a obra original é irrecuperável, porém, o impacto pode ser atenuado com a confecção de uma réplica de precisão. De posse de um modelo 3D de alta resolução, foi comprovado que é possível produzir uma peça com características visuais similares ao original. Neste contexto, foram estudados dois processos de fabricação digital, a impressão 3D e a usinagem CNC. Grande parte das impressoras atuais, em especial as disponíveis no Brasil, ainda apresentam limitações de tamanho, materiais e tempo de processo para produção de peças de maior porte. No caso estudado, o processo demandou mais de 18 horas para produção de parte da peça com 310 x 210 x 51 mm. Além disso, apesar de permitir a reprodução de algumas formas geométricas mais complexas que a usinagem CNC, o acabamento superficial possui

uma textura característica da tecnologia FDM utilizada nos ensaios.

Assim, concluiu-se que a usinagem CNC é mais adequada para a produção de superfícies como as placas estudadas neste trabalho. Cabe comentar que para o caso de outras formas, como bustos, a impressão 3D pode apresentar vantagens e novos estudos podem ser realizados nessa direção. Quanto ao acabamento provido pela usinagem, ele pode ser otimizado em função do tempo de processo. No caso estudado, foram demandadas 3 horas e 40 minutos (acabamento com fresa esférica de 6 mm), porém, com uma ferramenta de metade do diâmetro, o acabamento pode ser consideravelmente incrementado em um tempo total menor que o dobro do processo. Ainda, é viável tecnicamente a produção da placa inteira (1,37 x 1,05 m) por usinagem CNC em diferentes materiais. Diante dos resultados e conclusões aqui obtidos, a questão a ser considerada para a execução de uma peça em tamanho real passa a ser apenas econômica e/ou de real priorização da cultura em políticas públicas.

Após a obtenção de um modelo físico por usinagem CNC, com tolerância média de 0,07 mm, foi gerado um molde de silicone para estudo de reprodução em resinas como materiais alternativos ao bronze. O processo de moldagem, considerando as distorções e contrações do silicone e do poliéster, apresentou como melhor resultado uma peça com tolerância média de 0,67 mm. Diante das análises dimensionais realizadas, a resina de poliéster cristal foi o material selecionado para confecção de réplicas.

Para atingir o aspecto visual, inicialmente, foram utilizados diferentes materiais para pigmentação da resina. Pode-se concluir que com pouca quantidade de pigmentos a resina manteve-se com alta translucidez e que, com a adição de pigmentação, o material torna-se mais opaco até o limite de saturação e, por vezes, apresenta precipitação ou regiões com grande acúmulo de pigmentos. Dentre os materiais analisados, a mistura com pasta metálica (pigmentos metálicos, solventes alifáticos e ceras naturais) apresentou a coloração mais semelhante ao monumento original. Assim, para obtenção de uma cor de base, foi selecionada a mistura de resina de poliéster cristal com 5% de pasta metálica para pigmentação.

Para finalizar a obtenção do aspecto visual, verificou-se a possibilidade de acabamento superficial com as técnicas de pintura acrílica e de aplicação de pasta

metálica mais um reagente para pátina. Conclui-se que a aplicação de pasta metálica com reagente para pátina (cloreto de amônio e sulfato de cobre) é capaz de reproduzir o aspecto visual do bronze, porém, não foi possível acertar a tonalidade da peça à época do furto. Cabe destacar que é discutível o momento ao qual uma intervenção deve ser direcionada, ou seja, pode-se dar a aparência da peça original desde o momento da inauguração (neste caso, 1936) até o último registro (neste caso, 2016). Assim, para a reprodução da aparência do bronze, sem compromisso com uma data específica, a pasta metálica com reagente para pátina é uma interessante alternativa. Já para a reprodução da peça em uma coloração mais exata, como no caso proposto neste trabalho, a técnica de pintura se mostrou a melhor alternativa.

Sugere-se que etapas de acabamento superficial, seja para ajustar pequenas geometrias e texturas características dos processos de fabricação digital, seja para ajustar a coloração da peça, sejam realizadas por um especialista (um restaurador ou escultor) para respeitar ao máximo as características artísticas das obras. Por fim, considera-se que o método proposto no presente trabalho, o qual ainda pode ser otimizado para casos específicos, é uma interessante alternativa para a geração de réplicas fidedignas de peças do patrimônio cultural, com o uso de materiais alternativos ao bronze.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

- Estudar a realização da usinagem CNC da placa do monumento a Bento Gonçalves inteira, visando a efetiva reposição no local original;
- Avaliar a resistência dos materiais estudados a intempéries;
- Digitalização 3D de outros monumentos do patrimônio histórico, para gerar um banco de modelos virtuais;
- Execução de novos estudos de fabricação digital, impressão 3D e usinagem CNC, de monumentos inteiros com diferentes geometrias;
- Estudo de novos materiais para fabricação de réplicas a partir de processos de fabricação digital, bem como de acabamentos superficiais.

REFERÊNCIAS

ABATE, D.; CIAVARELLA, R.; FURINI, G.; GUARNIERIB, G.; MIGLIORIC, S.; PIERATTINI, S. 3D modeling and remote rendering technique of a high definition cultural heritage artefact. **Procedia Computer Science**, v. 3, p. 848–852, 2011.

ABOUAF, Jeffrey. The florentine Pietà: Can Visualization Solve the 450-year-old Mystery?. **IEEE Computer Graphics & Applications**, v. 19 (1), p. 6–10, 1999.

ADAMI, A.; BALLETTI, C.; FASSI, F.; FREGONESE, L.; GUERRA, F.; TAFFURELLI, L.; VERNIER, P. The bust of Francesco II Gonzaga: from digital documentation to 3D printing. In: ISPRS. **Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W3, 25th International CIPA Symposium 2015**. Taipei, Taiwan, 31 Aug.–04 Sep., 2015.

AIDAR, Bruna. Prefeitura recupera monumentos Santos Dumont e do Bandeirantes, depredados por vândalos. **Jornal Opção**. Goiânia, 29 nov. 2016. Disponível em: < <https://www.jornalopcao.com.br/ultimas-noticias/prefeitura-recupera-monumentos-santos-dumont-e-do-bandeirantes-81193/>>. Acesso em: 29 set. 2017.

ALVES, José Francisco. **A escultura pública de Porto Alegre: História, contexto e significado**. Porto Alegre: Artfolio, 2004.

ANDRADE, Beatriz T.; BELLON, O.; SILVA, L.; VRUBEL, A. Digital preservation of Brazilian indigenous artworks: Generating high quality textures for 3D models. **Journal of Cultural Heritage**, v. 13, p. 28–39, 2012.

ANDRÉS, Amparo, Núñez.; POZUELO, Felipe, Buill.; MARIMÓN, Joaquí.; GISBERT, Andrés, de Mesa. Generation of virtual models of cultural heritage. **Journal of Cultural Heritage**, v. 13, p. 103–106, 2012.

ARMESTO, Julia, González.; RODRÍGUEZ Belén, Riveiro.; GONZÁLEZ, Diego, Aguilera.; RIVAS, Teresa, Brea. Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings. **Journal of Archaeological Science**, v. 37, p. 3037–3047, 2010.

ARTEC3D. Disponível em <<https://www.artec3d.com/3d-scanner/artec-eva>>. Acesso em: 25 out. 2016.

ASHBY, Michael, F. **Materials selection in mechanical design**. Oxford: Pergamon Press, 4th edition, 2011.

AXT, Gunter.; SCLIAR, Moacyr. **Parque Farroupilha “Redenção”: Histórias de Porto Alegre**. Porto Alegre, Paiol, 2011.

BALLETTI, Caterina.; BALLARIN, Martina.; GUERRA, Francesco. 3D printing: State of the art and future perspectives. **Journal of Cultural Heritage**, v. 26, p. 172–182, 2017.

BANDEIRANTES. Placa do monumento Bento Gonçalves é furtada em Porto Alegre. **Bandeirantes**. Porto Alegre, 21 mar. 2017. Disponível em: <<http://noticias.band.uol.com.br/cidades/rs/noticias/100000850270/placa-do-monumento-bento-gon%C3%A7alves-%C3%A9-furtada-em-porto-alegre.html>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

BARBIERI, Gabriel. **Obtenção de modelos 3D por fotogrametria a partir de imagens de microscopia eletrônica de varredura**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Design, UFRGS, Porto Alegre, 2016.

BASILICA DI SAN PETRONIO PROJECT. Disponível em <<http://www.factum-arte.com/pag/593>>. Acesso em: 7 jul. 2017.

BEAUBIEN, F, Harriet.; KARAS, Vicky, Basiliki. 3D scanning of deer stones on the Mongolian steppe. **The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works**, v. 14, p. 178–196, 2007.

BENEDETTI, Verônica. Preservação de Monumentos Públicos em Porto Alegre. In: ALVES, José, Francisco. (Org.). **Os precedimentos técnicos de revitalização in Resgate do patrimônio histórico: contrução cultural – Parque Farroupilha**. Porto Alegre, Associação Sul Riograndense da contrução Civil, 1 ed., v. 1, p. 23–25, 2016.

BERALDIN, J., A.; BLAIS, F.; COURNOYER, L.; RIOUX, M.; EL-HAKIM, S., H.; RODELLA, R.; BERNIER, F.; HARRISON, N. Digital 3D Imaging System for Rapid Response on Remote Sites, Proceedings of the 2nd Intern. **Conference on 3D Digital Imaging and Modeling**, Ottawa, 4–8 October, p. 34–43, 1999.

BIAGINI, Carlo.; CAPONE, Pietro.; DONATO, Vincenzo.; FACCHINI, Nora. Towards the BIM implementation for historical building restoration sites. **Automation in Construction**, v. 71, p. 74–86, 2016.

BRANCAGLION, Antônio; RODRIGUES, Cláudia, WERNER, Heron; KUROKI, Iugiro; LOPES, Jorge; CARVALHO, Luciana; FONTES, Ricardo; AZEVEDO, Sérgio; MENDONÇA, Sheila. **Tecnologia 3D**. Livraria e Editora Revinter, 2009.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nos 1/92 a 56/2007 e pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/94**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2008. Disponível em: <<http://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/522095>>. Acesso em: 13 mai. 2017.

BREUCKMANN, Bernd. 25 Years of High Definition 3D Scanning: History, Start of the Art, outlook. In: **EVA**. 2014.

CADENARO, Milena.; BIASOTTO, Matteo.; SCUOR, Nicola.; BRESCHI, Lorenzo.; DAVIDSON, Carel; DI LENARDA Roberto. Assessment of polymerization contraction stress of three composite resins. **Dental materials**, v. 24, p. 681–685, 2008.

CALIN, Mariana.; DAMIAN, George.; POPESCUB, Tiberiu.; MANEAA, Raluca.; ERGHELEGIUA, Bogdan.; SALAGEANC, Tudor. 3D modeling for digital preservation of Romanian heritage monuments. International Conference "Agriculture for Life, Life for Agriculture". **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 5, p. 421–428, 2015.

CARDOSO, Eduardo.; SANTOS, Sérgio, Leandro.; SILVA, Fábio, Pinto. ; TEIXEIRA, Fábio, Gonçalves.; SILVA, Tânia, Luísa, Koltermann . Tecnologias Tridimensionais para Acessibilidade em Museus. In: XVII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics SIGraDi: Knowledgebased Design, Valparaiso. **Proceedings of the XVII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - SIGraDi: Knowledge-based Design**, v. 1, p. 444–448, 2014.

CHIANESE, Angelo.; PICCIALI, Francesco. A smart system to manage the context evolution in the Cultural Heritage domain. **Computers and Electrical Engineering**. v. 55, p. 27–38, 2016.

CLOTTE, Jean. **The cavern of pont-d'arc**. Press kit. Ministère de la Culture, França, 2015.

CUSTÓDIO, Luiz, Antônio, Bolcato.; KLEIN, Liane. **Viva o centro à pé**. Porto Alegre: Letra&Vida. Secretaria da Cultura de Porto Alegre: Coordenação da Memória Cultural, 2014.

CUSTÓDIO, Luiz, Antônio, Bolcato. Preservação de Monumentos Públicos em Porto Alegre. **Resgate do Patrimônio Histórico: Construção Cultural - Parque Farroupilha**. In: ALVES, José Francisco. (Org.): Associação Sul Riograndense de Construção Civil, 1 ed., v. 01, p. 14–17, 2016.

DANTAS, Paulo, Victor, de Farias.; RIBEIRO, Thiago, Rafael, Rodrigues.; BRUSCATO, Underléa, Miotto.; SILVA, Fabio, Pinto. Protótipo de dispositivo facilitador para digitalização 3D por fotogrametria com smartphones. In: XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, 2016, Buenos Aires, Blucher. **Design Proceedings**, v. 3, p. 297–304. 2016.

D'OLIVEIRA, Felipe. **Antonio Caringi: MCMXXXIV – MCMXLIV, (1934 - 1944)**. Livraria do Globo, Edição da Sociedade Felipe D'Oliveira, 1944.

DORNELLES, Renato. Vândalos destroem símbolo da paz em Porto Alegre. **Portal Zero Hora**. Porto Alegre, 14 out. 2016. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/porto-alegre/noticia/2016/10/vandalos-destroem-simbolo-da-paz-em-porto-alegre-7785431.html>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

FERNÁNDEZ-PALACIOS, Belen, Jiménez.; MORABITO, Daniele.; REMONDINO, Fabio. Access to complex reality-based 3D models using virtual reality solutions. **Journal of Cultural Heritage**, v.23, p. 40–48, 2017.

FLORES, Ana Berenice, Hubner. **Design, território e tecnologia 3D na preservação cultural em suporte material sustentável: Estudo de caso do monumento “O laçador”**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Design, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

FLORES, A. B. H.; SILVA, F. P.; KINDLEIN, Junior, W. Digitalização Tridimensional na preservação de monumentos públicos. In: Marco Antônio Penido de Rezende. (Org.). **Tecnologia do ambiente construído e interdisciplinaridade**. 1ed. **Belo Horizonte: Instituto de Estudos do Desenvolvimento Sustentável**, Belo Horizonte, p. 123-141. 2012.

FUNARI, Pedro Paulo. **Patrimônio histórico e cultural**. Zahar, p. 20, 2006.

GAUBATZ, A., William. Rapid prototyping. **IEEE Aerospace Applications Conference Proceedings**, p. 303–311, 1996.

GAUCHAZH. Ladrões furtam segundo painel de monumento a Bento Gonçalves em Porto Alegre. **GAUCHAZH**. Porto Alegre, 02 mai. 2017. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/porto-alegre/noticia/2017/05/ladros-furtam-segundo-painel-de-monumento-a-bento-goncalves-em-porto-alegre-9784809.html>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

GIUSTI, Ricardo. **Prefeitura Municipal de Porto Alegre**. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/cs/default.php?p_noticia=999192806>. Acesso em: 11 dez. 2017.

GODIN, G., BERARDIN, J., A., COURNOYER, L., RIOUX, M., BLAIS, F., NRC Participation in the Digital Michelangelo Project. **Proceeding of Canada - Italy Workshop: Heritage Applications of 3D Digital Imaging**. Ottawa, Canada, October, 1999.

GOMES, Leonardo.; BELLON, O.; SILVA, L. 3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage: A survey. **Pattern Recognition Letters**. v. 50, p. 3–14, 2014.

HERRERO-CORTELL, Miquel; RUBIO, Mario; MAS-BARBERA, Xavier. Metales artificiales en aplicaciones escultóricas: Matrices termoestables y cargas metálicas. **Materiales reforzados en aplicaciones escultóricas**. v. 18, 21–37, 2017.

INTERNATIONAL COUNCIL OF MUSEUM E COMMITTEE FOR CONSERVATION – ICOM-CC, **Conselho Internacional de Museu e Comitê de Conservação**. Disponível em: <<http://www.icom-cc.org/242/about/terminology-for-conservation/#.WV54eYjyvcs>>. Acesso em: 06 jul. 2017.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL – IPHAN. **Programa Monumenta: Porto Alegre**. (Org.): Briane Bicca. Distrito Federal: Brasília, 2010.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL – IPHAN. **EDUCAÇÃO PATRIMONIAL: Histórico, conceitos e processos, 2014**. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Educacao_Patrimonial.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2019.

JAMES, P, J.; THUM, W, Y. The replication of metal surfaces by filled epoxy resins, **Precision Engineering**, v. 4, p. 201–204, 1982.

KOC, Hüseyin, Küçük. ERDINLER, Seda, Emine.; HAZIR, Ender.; ÖZTÜRK, Emel. Effect of CNC application parameters on wooden surface quality. **Measurement**, v. 107, p. 12–18, 2017.

KRZNAR, Nino.; PILIPOVIĆ, Ana.; ŠERCER, Mladen.; Additive manufacturing of fixture for automated 3D scanning – case study. **Procedia Engineering**, v. 149, p. 197–202, 2016.

LDSM. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/ldsm/3d/?p=1426>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

LEE, Jian-Yuan; AN, Jia; CHUA, Chee Kai. Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. **Applied Materials Today**, v. 7, p. 120–133, 2017.

LEONOV, Andrey.; ANIKUSHKIN, Mikhail.; IVANOV, Andrey.; OVCHAROV, Stanislav.; BOBKOV, Alexander.; BATURIN, Yuri. Laser scanning and 3D modeling of the Shukhov hyperboloid tower in Moscow. **Journal of Cultural Heritage**, v. 16, p. 551–559, 2015.

LEVOY, Marc.; PULLI, Kari.; CURLESS, Brian.; RUSINKIEWICZ, Szymon.; KOLLER, David.; PEREIRA, Lucas.; GINZTON, Matt.; ANDERSON, Sean.; DAVIS, James.; GINSBERG, Jeremy.; SHADE, Jonathan.; FULK, Duane. The Digital Michelangelo Project. In: Proceedings of ACM SIGGRAPH 2000 (New Orleans, July 23–28). **ACM Press**, New York, 131–144, 2000.

MAGALHÃES, Aloísio. **E triunfo?: A questão dos bens culturais no Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1985.

MEIRA, Ana Lúcia Goelzer. **O passado no futuro da cidade: Políticas públicas e participação dos cidadãos na preservação do patrimônio cultural de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. ISBN 75-8025-728-7.

MEIRA, Ana Lúcia Goelzer. **O passado no futuro da cidade: Políticas públicas e participação dos cidadãos na preservação do patrimônio cultural de Porto Alegre nas décadas de 70 a 90**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional, UFRGS, Porto Alegre, 2001.

MORRIS, Richard. **Fundamentos de design de produto**. Tradução: Mariana Bandarra; Revisão técnica: Fábio Righetto. Porto Alegre: Bookman, 2010.

MÜLLER, Bárbara. Descaso com a história da capital. **Zero Hora**. Porto Alegre, 13 mai. 2017.

MUNIZ, Guilherme, Resende. **O uso do design e das tecnologias 3D na criação do repositório digital de elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Design, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

MUNIZ, G. R.; ASHTON, E. G.; SILVA, F. P.; KINDLEIN JR., WILSON. **Design, educação e tecnologia: análise da geração de conteúdo PDF 3D para fins didáticos**. Revista Educação Gráfica, v. 20, p. 7–18, 2016.

MUZZUPAPPA, M.; GALLO, A.; MATTANÒ, M.; RUGGIERO, C.; BRUNO, F. A complete morphological study of the right hand of bronzo “a” di riace. **International Journal of Heritage in the Digital Era**, v.1, p. 55–59, 2012.

NASCIMENTO, Allan André do. **Tendências tecnológicas em prototipagem rápida e manufatura aditiva**. Trabalho de conclusão de curso (Monografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

NILSSON, L.; OHLSSON, R. Accuracy of replica materials when measuring engineering surfaces. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v. 41, p. 2139–2145, 2001.

ORIÁ, Ricardo. **A história em praças públicas: a leitura da cidade através de seus monumentos históricos**. Revista Ciência & letras. Porto Alegre / FAPA, v.27 p. 219–227, 2000.

PEREIRA, J. R. M.; KINDLEIN, Junior, W.; SILVA, F. P. Usinagem de arenito e tecnologias 3D. In: Donato, Maciel; Duarte, Lauren da Cunha; Hartmann, Léo

Afraneo. (Org.). **Inovação, design e pesquisas aplicadas em gemas, joias e mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, v. 1, p. 50–57, 2015.

PIERACCINI, Massimiliano.; GUIDI, Gabriele.; ATZENI, Carlo. 3D digitizing of cultural heritage. **Journal of Cultural Heritage**, v. 2, p. 63–70, 2001.

PLOWMAN, John. **Directorio de escultura: Efectos de Superficie y como conseguirlos**. Barcelona, Acanto, 2007.

POHLMANN, Mariana. **Contribuição ao estudo de materiais, processos e modelos utilizados na fabricação de jóias em larga escala**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Design, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

POHLMANN, M.; RASEIRA, C. B.; SILVA, F. P.; DUARTE, L. C.; KINDLEIN, Junior, W. O uso da tecnologia da digitalização tridimensional a laser na documentação de inscrições rupestres: estudo de caso do Abrigo da Pedra Grande. In: VI Workshop Design & Materiais, 2012, Bauru. **VI Workshop Design & Materiais**. Bauru: UNESP, v. 1, 2012.

POHLMANN, Mariana.; DUARTE, L.; KINDLEIN, Wilson.; SILVA, Fábio. Use of three-dimensional laser scanning for the mapping of dimensional errors generated during the manufacturing process of investment casting. **Journal of Engineering Research and Application**, v. 6, p. 35–40, 2016.

PRATI, Família. Disponível em <http://prati.com.br/fotosantigas/fotos-antigas-porto-alegre/35?page_number_0=9>. Acesso em: 15 fev. 2018.

QUINN, Marc. Disponível em <<http://marcquinn.com/artworks/archaeology-of-art>>. Acesso em: 7 jul. 2017.

REYS, Aranda Calió dos.; LAMA, Eliane Aparecida Del.; DEHIRA, Lauro Kazumi. Monumentos da cidade de São Paulo: formas de alteração e conservação. **Revista CPC**. São Paulo, v. 5, p. 93–122, 2008.

ROSSI, W. S.; SILVA, F. P.; KINDLEIN, Junior, W. A utilização de modelos 3D para a preservação e divulgação de peças do patrimônio histórico e cultural: estudo de caso com escarradeira e urinol. **Arcos Design**, v. 7, p. 69-79, 2014.

ROY, Madhuparna.; DICKENS, Tarik.; Additive technology of soluble mold tooling for embedded devices in composite structures: A study on manufactured tolerances. **Additive Manufacturing**, v. 15, p. 78–86, 2017.

SCHAICH, M. From 3D Scanning to Analytical Heritage Documentation. **Springer Proceedings in Physics**, v. 116, p. 463–471, 2007. DOI: 10.1007/978-3-540-72310-7_55

SEGRETO, Tiziana.; BOTTILLO, Alberto.; TETI, Roberto.; GALANTUCCI, Maria, Luigi.; LAVECCHIA, Fulvio.; GALANTUCCI, Bianca, Marianna. Non-contact reverse engineering modeling for additive manufacturing of down scaled cultural artefacts. 10th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. **Procedia CIRP**. v. 62, p. 481–486, 2017.

SESSEGOLO, Ricardo.; CUSTODIO, Luiz. **A preservação que se impõe in Resgate do patrimônio histórico: construção cultural – Parque Farroupilha**. Porto Alegre, Associação Sul Riograndense da Construção Civil, 2016.

SILVA, F. P.; **O uso da digitalização tridimensional a laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao design de produto**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

SILVA, F. P.; FALLER, R. R.; KINDLEIN JUNIOR, W. A utilização da usinagem em altíssimas velocidades com quatro eixos no design de produto. In: 7º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 2006, Curitiba. **P&D Design 2006**. Curitiba: UFPR, 2006.

SILVA, F. P.; ROCKENBACH, M.; BERTOL, L. S.; ROLDO, L. Avaliação da precisão e da facilidade de fabricação de diferentes métodos de produção de protótipos: prototipagem rápida e usinagem CNC. In: 5º Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 2009, Bauru. **Congresso Internacional de Pesquisa em Design (CIPED)**. Bauru: UNESP, v. 1, p. 1075–1083, 2009.

SILVA, F. P.; DUARTE, L. C.; ROLDO, L.; KINDLEIN, Junior, W. A Digitalização Tridimensional Móvel e sua Aplicação no Design de Produto. **Revista Design & Tecnologia**, p. 60–65, 2010.

SILVA, F. P.; **Usinagem de espumas de poliuretano e digitalização tridimensional para fabricação de assentos personalizados para pessoas com deficiência**. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

SILVA, F. P.; KINDLEIN, Junior, W. O Laçador = The Lassoer. In: Jorge Roberto Lopes dos Santos et al. (Org.). **Tecnologias 3D: desvendando o passado, modelando o futuro = 3D Technologies: unveiling the past, shaping the future**. 1ed. Rio de Janeiro: Lexicon, p. 210–215, 2013.

SILVA, Fábio Pinto.; CALDOVINO, Greice . Produção de réplicas acessíveis de peças museológicas via impressão 3D por filamento termoplástico. In: IV International Conference on Design, Engineering, Management for innovation - IV Conferência Internacional de Design, Engenharia e Gestão para a inovação. **Anais do IDEMi 2015**. Florianópolis: UDESC, 2015. v. 1. p. 1726-1737, 2015.

SOLER, Francisco.; MELERO, Francisco, Javier.; LUZÓN, Maria, Victoria. A complete 3D information system for cultural heritage documentation. **Journal of Cultural Heritage**, v. 23, p. 49–57, 2017.

SPALDING, Walter. **Pequena história de Porto Alegre**. Porto Alegre, Sulina, 1967.

TILL, Rodrigues. **Monumentos de Porto Alegre - Ensaio histórico e crítico**. Porto Alegre, Evangraf, 2002.

WACHOWIAK, Melvin.; KARAS, Vicky, Basiliki. 3d Scanning and Replication for Museum and Cultural Heritage Applications. **Journal of the American Institute for Conservation**, v. 48:2, p. 141–158, 2009. DOI: 10.1179/019713609804516992

XU, Jie.; DING, Lieyun.; LOVE, Peter.; Digital reproduction of historical building ornamental components: From 3D scanning to 3D printing. **Journal Automation in Construction**, v. 76, p. 85–96, 2017.

YOUNG, Ronald. **Contemporary patination**. California, Sculpt-Nouveau, v.2, 2000.

ZHENG J. Y.; ZHONG, L., Z. Virtual recovery of excavated relics. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 19(3) p. 6–11, 1999.

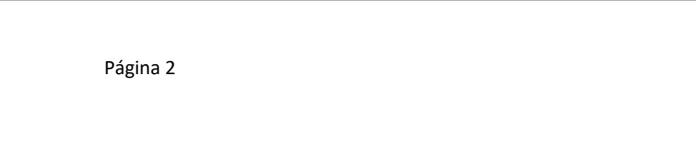
APÊNDICE A

LEVANTAMENTO DOS MONUMENTOS DE PORTO ALEGRE

Legenda:

- Sem acesso ao público
- Encontrado
- Não encontrado

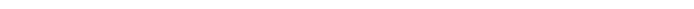
PORTO ALEGRE				Data Inicial: 05/11/2016				Bronze	Bairro
Nome	Tipo	Ano	Localização	Vista Frontal	Lateral	Esquerda	Atrás		
Obelisco da Colônia Portuguesa	Obelisco	1935	Av. Sepúlveda					Sim	Centro
Marcelio Dias	Herma		Doca turística						Centro
As moças da Fonte	Estátua		Praça Edgar Schneider						Centro
Oswaldo Cruz	Herma	1928	Praça Osvaldo Cruz					Sim	Centro
Associação Comercial Porto Alegre	Placa		Av. Júlio de Castilhos						Centro
60 Anos Feira do Livro	Escultura	2016	Praça da Alfândega					Sim	Centro
Largo Jornalista Glenio Peres	Placa	1992	Largo Jornalista Glenio Peres						Centro
Caldas Junior	Busto	1913	Praça da Alfândega					Sim	Centro
Carta testamento "O mapa"	Placa	1984	Praça da Alfândega					Sim	Centro
Barão Santo Ângelo	Herma	1918	Praça da Alfândega					Sim	Centro
General Osório	Estátua		Praça da Alfândega					Sim	Centro
Arnaldo Ballvé	Cabeça	1962	Praça da Alfândega					Sim	Centro
Francisco Leonardo Truda	Herma	1956						Sim	Centro

Samaritana	Chafariz		Praça da Alfândega		Sim	Centro
Antonio Carlos Lopes	Herma	1936	Praça da Alfândega		Sim	Centro
Rubem Dario	Marco		Praça da Alfândega			Centro
Barão do Rio Branco	Estátua		Praça da Alfândega		Sim	Centro
Restauração e Ampliação	Placa		Praça da Alfândega			Centro
Legalidade	Marco		Praça da Alfândega			Centro
José Bartoso	Placa	1965	Praça da Alfândega			Centro
Miríam Mobino	Escultura		Praça da Alfândega			Centro
General Artigas	Herma	1987	Praça Revolução Farroupilha		Sim	Centro
Teorema Bruno Giorgi	Escultura		Rua General Câmara			Centro
Largo Vicente de Cairú	Placa		Largo Vicente de Cairú		Sim	Centro
Brigadeiro Sampaio	Estátua		Praça Brigadeiro Sampaio		Sim	Centro
Açorianos	Escultura		Praça dos Açorianos			Centro

Monumento Semana da Criança 21 a 27 Novembro	Escultura		Praça dos Açorianos				Centro	
Ponte de Pedra	Ponte		Praça dos Açorianos				Centro	
Marco	Marco		Praça dos Açorianos				Centro	
General Braga Pinheiro	Placa		Praça dos Açorianos				Centro	
Liberdade	Escultura		Praça dos Açorianos				Centro	
Alcides Maya	Herma	1962	Praça Daltro Filho			Sim	Centro	
Av. 10 de Novembro	Marco	1940	Av. Salgado Filho			Sim	Centro	
Confiança no homem	Escultura		Avenida Borges de Medeiros				Centro	
Associação Rio-Grandense de Imprensa	Placa		Praça Associação Rio-Grandense de Imprensa				Centro	
Viaduto Otávio Rocha	Placa		Borges de Medeiros				Sim	Centro
Apelles Porto Alegre	Placa		Praça Conde de Porto Alegre			Sim	Centro	
Conde de Porto Alegre	Estátua	1885	Praça Conde de Porto Alegre				Centro	
Portal da Nova era II	Escultura		Praça Raul Pilla				Centro	
Fonte de Pedra - Dois pilares	Chafariz		Praça Argentina				Centro	
Apolinário Porto Alegre	Busto		Praça Argentina			Sim	Centro	

Centenário da Revolução Farroupilha	Marco		Praça Argentina				Sim	Centro
Placa	Placa		Praça Campos Salles				Sim	Centro
Chafariz	Escultura		Praça Campos Salles					Centro
Painel	Painel		Viaduto Loureiro da Silva					Centro
Presidente chileno Herói	Placa	2013	Praça Salvador Allende					Centro
Placa	Placa		Avenida Loureiro da Silva				Sim	Centro
Loureiro da Silva	Estátua	1974	Avenida Loureiro da Silva				Sim	Centro
João Belchior Marques Golart	Máscara		Avenida Loureiro da Silva					Centro
Dom Pedro I	Cabeça		Viaduto Imperatriz Leopoldina					Centro
Imperatriz Leopoldina	Máscara	1975	Viaduto Imperatriz Leopoldina				Sim	Centro
Relógio da Carris	Marco		Viaduto Imperatriz Leopoldina					Centro
Eduardo Guimarães	Herma		Praça Dom Feliciano				Sim	Centro
Mário Totta	Herma		Praça Dom Feliciano					Centro
Jerônimo Coelho	Herma		Praça Dom Feliciano				Sim	Centro

Bicentário Nascimento Dom Feliciano	Placa		Praça Dom Feliciano		Sim	Centro
Alto da Branze	Marco		Praça General Osório			Centro
General Osório	Placa		Praça General Osório			Centro
Placa	Placa		Praça Isabel , a Católica		Sim	Centro
Escultura Abstrata	Escultura		Praça Isabel , a Católica			Centro
Monumento à Bíblia	Marco	1978	Praça Isabel , a Católica			Centro
Fonte de Talavera	Chafariz		Praça Montevideu			Centro
4 Leões	Estátua		Praça Montevideu			Centro
Marco Zero - Altimetro	Estátua		Praça Montevideu			Centro
Otávio Rocha	Busto		Praça Otávio Rocha			Centro
Árvore da Amizade	Marco		Praça da Matriz		Sim	Centro
André Leão Puente	Herma	1958	Praça da Matriz		Sim	Centro
Julio Prates de Castilhos	Marco		Praça da Matriz		Sim	Centro

Manoel Deodoro da Fonseca	Placa		Praça da Matriz				Centro
Oswaldo Vargara	Herma	1974	Praça da Matriz		Sim		Centro
Legalidade	Placa	1986	Praça da Matriz		Sim		Centro
Lápide sobre terra de Tiradentes	Marco		Praça da Matriz				Centro
Carta Magna	Placa		Praça da Matriz		Sim		Centro
Correio do Povo	Placa		Praça da Matriz				Centro
Mural Farroupilha	Painel	2008	Mercado Público				Centro
Mauricio Sirotsky Sobrinho	Cabeça	2012	Parque Mauricio Sirotsky		Sim		Centro
Jayne C. Braun	Estátua	2002	Parque Mauricio Sirotsky				Centro
Supercuias	Marco	2004	Parque Marinha do Brasil				Centro
Lucas Gelatti Chalegre	Placa	2013	Parque Marinha do Brasil				Centro

Escultura Abstrata	Escultura		Parque Marinha do Brasil			Centro
Escultura Abstrata	Escultura		Parque Marinha do Brasil			Centro
Escultura Abstrata	Escultura		Parque Marinha do Brasil			Centro
Escultura Abstrata	Escultura		Parque Marinha do Brasil			Centro
El canto de las Flores - Francine Secretan	Escultura		Parque Marinha do Brasil			Centro
Planos em Um plano	Escultura	1997	Parque Marinha do Brasil			Centro
Cono Sur - Ted Carrasco	Escultura		Parque Marinha do Brasil			Centro
Plácido de Castro	Marco	1973	Parque Marinha do Brasil			Centro
Marquês de Tamandaré "Almirante Negro"	Busto	2001	Parque Marinha do Brasil		Sim	Centro
Homenagem aos mortos em combate ao comunismo	Marco		Parque Marinha do Brasil			Centro
Pórtico	Marco		Parque Marinha do Brasil			Centro
Escultura Abstrata	Escultura		Avenida Ipiranga			Centro

Largo Edgar Koetz	Placa		Largo Edgar Koetz			Centro
Escultura Abstrata	Escultura		Praça Professor Saint-Pastous			Cidade Baixa
Sem nome	Placa		Praça Professor Saint-Pastous		Sim	Cidade Baixa
Cinquentenário da Revolução Farroupilha da Colônia Israelita	Obelisco	1935	Parque Farroupilha		Sim	Cidade Baixa
Francisco Brochado da Rocha	Cabeça		Praça Ermani Maria Fiori			Cidade Baixa
Escultura Abstrata	Escultura		Praça Ermani Maria Fiori			Cidade Baixa
Pegada Africana	Placa		Praça Ermani Maria Fiori			Cidade Baixa
Árvore Anita Garibaldi	Placa		Parque Garibaldi			Cidade Baixa
José e Anita Garibaldi	Estátua		Parque Garibaldi			Cidade Baixa
Henrique Luis Roessler	Placa		Praça Henrique Luis			Cidade Baixa
Frade de pedra 3 pilares	Marco		Museu de Porto Alegre			Cidade Baixa
Fernando Ferraz	Máscara		Praça Dom Sebastião			Bom Fim
Marcelino Champagnat	Marco		Praça Dom Sebastião		Sim	Bom Fim
Cinquentenário Maristas	Marco	1950	Praça Dom Sebastião			Bom Fim
Irmãos Weibert	Herma	1948	Praça Dom Sebastião		Sim	Bom Fim
Painel da Conceição	Painel		Praça Dom Sebastião			Bom Fim

Sesquicentenário da independência	Placa	1972	Praça Dom Sebastião			Bom Fim
Jornalista Breno Caldas	Escultura		Esplanada Correio do Povo			Farroupilha
Alberto Santos Dumont	Busto	1973	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Alberto Bins	Busto	1959	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Árvore da Amizade	Placa		Parque Farroupilha			Farroupilha
Alfredo Clemente Pinto	Herma		Parque Farroupilha			Farroupilha
Almirante e Maruês Tamandaré	Busto	1974	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Beethoven	Máscara	2014	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Chafariz do Recanto Europeu	Chafariz		Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Chafariz do Menino da "Cornucópia"	Chafariz	éc.sé	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Batalha dos Guarapés	Placa		Parque Farroupilha			Farroupilha
Campanha contra Brinquedo de Armas	Placa	1965	Parque Farroupilha			Farroupilha
Coluna Jônica	Marco	1940	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Carlos Gomes	Cabeça		Parque Farroupilha			Farroupilha
enário da Revolução Farroupilha da Colônia Sirio Liba	Obelisco	2004	Parque Farroupilha			Farroupilha

Fonte Iluminosa	Chafariz		Parque Farroupilha			Farroupilha
Duque de Caxias	Busto	1971	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Ao expedicionário - Monumento alegórico	Marco		Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Exposição Farroupilha	Placa	1936	Parque Farroupilha			Farroupilha
Frederico Chopin	Cabeça		Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Gaúcho Oriental	Estátua	1935	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Heitor Annes Dias	Herma	49/20	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
João Wesley	Marco	1953	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Homenagem aos mortos em combate ao comunismo	Marco		Parque Farroupilha			Farroupilha
Homenagem ao Esporte	Marco	1972	Parque Farroupilha			Farroupilha
José Bonifácio de Andrade e Silva	Marco	1972	Parque Farroupilha		Roubo	Farroupilha
José Faibes Lubianca	Cabeça	1994	Parque Farroupilha			Farroupilha

Marechal Mascarenhas de Moraes	Busto	1974	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Homenagem do Circulo Gaúcho de Orquidófilos			Parque Farroupilha			Farroupilha
Jaime da Costa Pereira	Herma	1936	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Joaquim Francisco de Assis Brasil	Herma	1942	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Lucínio Athanásio Cardoso	Herma	1952	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Os Lusíadas - Luiz Vaz de Camões	Placa	1972	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Professor Luiz Englert	Herma	1939	Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Marco de Iluminação	Marco		Parque Farroupilha			Farroupilha
Padre Joaquim Caciue de Barros	Herma		Parque Farroupilha			Farroupilha
Samuel Hahnemann	Herma		Parque Farroupilha		Sim	Farroupilha
Nova Iluminação do Parque Farroupilha	Placa	1969	Parque Farroupilha			Farroupilha
14 Vasos ornamentais	Ornamento		Parque Farroupilha			Farroupilha
Bebedouro Público	Ornamento		Parque Farroupilha			Farroupilha
Pinus Longifolio	Placa		Parque Farroupilha			Farroupilha
Centenário da Redenção dos Cativos	Placa	1984	Parque Farroupilha			Farroupilha
Placa do Parque Farroupilha	Marco	1985	Parque Farroupilha			Farroupilha
Largo Theodoro Herzl	Placa		Rua Venâncio Aires			Farroupilha
Henrique Halpern - Esportista	Placa	2003	Praça Henrique Halpern			Farroupilha
Hino Nacional da França	Marco	1975	Praça Marselhesa			Santa Cecília

Cinquentenário Revolução Farrroupilha	Placa	1985	Praça Piratini		Sim	Santana
Centro Comercial João Pessoa	Placa	1987	Praça Piratini			Santana
Gal. Bento Gonçalves	Estátua		Praça Piratini		Sim	Santana
II Primetral	Marco	1989	Av. Ipiranga		Sim	Santana
Movimento Tradicionalista	Placa		Av. Ipiranga			Santana
Nicolau Copênic	Cabeça		Planetário			Santana
Inauguração do Planetário	Placa		Planetário			Santana
Jerônimo de Ornellas	Marco		Avenida Jerônimo de Ornellas			Santana
Telmo Reis	Placa				Sim	Santana
Carlos Santos	Placa					Santana
Chafariz	Chafariz		Praça Julio de Castilhos			Santana
Tempo espaço	Placa	1997	Praça Julio de Castilhos			Santana
Florêncio Ygartua	Herma	1942	Praça Julio de Castilhos			Santana

Árvore da Amizade	Placa	1960	Praça Julio de Castilhos						Santana
Tiradentes	Herma	1972	Viaduto Tiradentes					Sim	Santa Cecilia
Recanto Infantil	Placa		Praça Moinhos de Vento						Moinhos de Vento
Ano Internacional da Criança	Placa	1979	Praça Moinhos de Vento						Moinhos de Vento
Barlaqui	Busto	1984	Praça Moinhos de Vento					Sim	Moinhos de Vento
Castelo Branco	Ornament	1979	Praça Moinhos de Vento						Moinhos de Vento
Escultura Contemporânea	Escultura		Praça Moinhos de Vento						Moinhos de Vento
Johann Wolfgang von Goethe	Busto	1984	Praça Moinhos de Vento					Sim	Moinhos de Vento
Agradecimento ao Eng. Luiz Moscheth	Busto	1977	Praça Moinhos de Vento					Sim	Moinhos de Vento
José Antonio Daudt	Busto	1990	Praça Moinhos de Vento						Moinhos de Vento
Memorial Pela Paz	Placa		Praça Moinhos de Vento						Moinhos de Vento
Placa Sem nome	Placa		Praça Moinhos de Vento					Sim	Moinhos de Vento
Placa Sem nome	Placa		Praça Moinhos de Vento					Sim	Moinhos de Vento
Monumento Parque Moinhos de Vento	Marco		Praça Moinhos de Vento						Moinhos de Vento

Rotary Porto Alegre Norte	Placa		Praça Moinhos de Vento			Moinhos de Vento
75 Anos Rotary	Placa	1980	Praça Moinhos de Vento			Moinhos de Vento
João Antônio Dib	Placa		Praça Goethe			Moinhos de Vento
Monumento Grêmio	Placa		Praça Mostardeiro/Goethe			Moinhos de Vento
Tridente	Marco		Praça Goethe			Moinhos de Vento
Lions Independencia	Marco		Praça Goethe			Moinhos de Vento
Árvore da Amizade	Marco		Praça Maurício Cardoso			Moinhos de Vento
Banco estilo Marajoara	Ornamento		Praça Maurício Cardoso			Moinhos de Vento
Figura infantil	Estátua		Praça Maurício Cardoso			Moinhos de Vento
Fonte	Fonte		Praça Maurício Cardoso			Moinhos de Vento
Puma	Estátua		Praça Maurício Cardoso			Moinhos de Vento
2 Vaso ornamentais	Ornamento		Praça Maurício Cardoso			Moinhos de Vento
Afluentes do Rio Guaíba (1866)	Chafariz		Hidraulica Guaibense (Praça DMAE)			Moinhos de Vento
Luciana de Abreu Ruy Teixeira	Placa Placa		Rua Luciana de Abreu c / Padre Chaças Praça Ruy Teixeira			Moinhos de Vento Petrópolis
Gaúcho	Estátua		Ipiranga			Petrópolis
José Plácio de Castro	Herma	1973	Praça das Nações Unidas		Sim	Petrópolis
Sérgio Mello	Placa	2003	Praça das Nações Unidas			Petrópolis

Visconde de Taunay	Placa	2015	Praça Visconde de Taunay			Petrópolis
Praça Frei Orlando	Placa		Praça Frei Orlando			Petrópolis
Comunidade Judaica	Painel		Rótula Carlos Gomes c/ Protásio Alves			Petrópolis
Homenagem à Tenente Costa	Placa	2003	Praça Bonita			Petrópolis
Escultura Contemporânea	Escultura		Praça Bonita			Petrópolis
Plácido Toniolo	Placa		Praça Plácido Toniolo			Petrópolis
Protásio Antônio Alves	Marco		Praça Plácido Toniolo		Sim	Petrópolis
Marco Geodésico	Marco		Praça Baltazar de Bem			Vila Jardim
Viaduto José Eduardo Utzig	Placa		Viaduto José Eduardo Utzig			Vila Jardim
Marco comemorativo da inauguração	Marco	1940	Praça Pinheiro Machado		Sim	São Geraldo
Rotary International	Marco		Praça Rotary			Menino Deus
Figueira da Integração	Placa	1993	Praça Rotary			Menino Deus
Placa	Placa	2014	Praça Dr. Josetti			Menino Deus
Obelisco do cinquentenário da colonia italiana	Obelisco	1992	Praça Itália		Sim	Menino Deus

Homenagem	Placa	1992	Praça Itália					Menino Deus
Leão de São Marco	Estátua	2002	Praça Itália		Sim			Menino Deus
Conservação do meio ambiente	Placa	2009	Frente à Rótula do PAPA					Menino Deus
Lupicínio Rodrigues	Placa		Praça Lupicínio Rodrigues					Menino Deus
Destaque especial	Placa	1975	Frente a Zero Hora		Sim			Menino Deus
Sem nome	Placa		Frente a Zero Hora		Sim			Menino Deus
Érico Veríssimo	Placa		Avenida Ipiranga		Sim			Menino Deus
Placa	Placa		Largo Leônício Viera		Sim			Menino Deus
Monumento à Missa Rezada pelo Papa	Marco		Rótula do PAPA					Menino Deus
Parque Antônio João	Marco		Parque Antônio João					Menino Deus
Praça 60 Anos rádio Gaúcha	Placa	1987	Praça Cinquentenário Rádio Gaúcha					Menino Deus
Getúlio Vargas	Busto		Pátio fronteiro ao sanatório					Partenon
Rotary International	Marco		Bento Gonçalves, Tenente Alpoim					Partenon
Polícia Ambiental	Placa	1994	Academia de Polícia Militar					Partenon
Escultura Contemporânea	Escultura	2016	Regimento					Partenon

Sesquicentenário da PM	Escultura	1987	Academia de Polícia Militar			Partenon
Panteão Aparício Borges	Placa	2008	Academia de Polícia Militar			Partenon
Coronel Aparício Borges	Estátua		Academia de Polícia Militar		Sim	Partenon
Praça Juventude Thiago Gonzaga	Escultura	2006	Praça Juventude Thiago Gonzaga			Medianeira
Paulo Coelho	Marco		Praça Paulo Coelho			Medianeira
Tem. Cel. Luis de Araujo Correia Lima	Herma	1946	Praça Correia Lima		Sim	Santa Tereza
Rubens Santos Noronha	Placa		Praça Ruben Santos Noronha			Santa Tereza
Coronel Antônio Caminha	Busto		Jóquei Clube Cristal		Sim	Cristal
Alarico Ribeiro	Marco		Praça Guia Lopes			Teresópolis
Mulher no Lago	Estátua		Praça Japão			Boa Vista
Vítimas de Hiroshima	Placa	1995	Praça Japão			Boa Vista
Praça Japão	Placa		Praça Japão			Boa Vista
Descanço do Guerreiro	Escultura	1994	Praça Japão			Boa Vista

Arquiteta Berenice Baptista	Placa	1999	Praça Berenice Baptista				Três Figueiras
Alfred Sehbe	Herma	1979	Praça Alfred Sehbe		Sim		Vila Ipiranga
Agradecimento - Globo, Varig, Edgar Klettner	Marco		Rótula Plínio Brasil Milano				Passo d'Areia
Antônio Amabile	Herma	1967	Praça da Antônio Amabile				Passo d'Areia
Darcy Vignololi	Cabeça	1970	Praça Darcy Vignololi				Passo d'Areia
Taras Chwetchenko	Herma	1964	Praça Ucraniana		Sim		Passo d'Areia
India Obirici	Estátua	1975	Viaduto obirici				Passo d'Areia
Gal. Emilio Lúcio Esteves	Marco	1950	Av. Gal. Esteves c/ Assis Brasil		Sim		Santa Maria Goreti
Padre José Massimo	Placa	1982	Praça Padre José Massimo				Santa Maria Goreti
Rubem Berta	Cabeça		Largo da Varig				São João
Otto Ernst Meyer	Máscara		Largo da Varig				São João
Tito Livio Zambeccari	Obelisco		Sítio do Laçador				São João
Laçador	Estátua	1954	Sítio do Laçador		Sim		São João
Erva Mate	Placa						São João
Joaquim Pedro Salgado Filho	Herma		Aeroporto			Sim	São João
Rotary Club Anchieta	Placa		Aeroporto				São João
Albert Santos Dumont	Cabeça		Aeroporto				São João
Manoel Osório da Rosa	Placa		Praça Vereador Manoel Osório da Rosa				Jardim São Pedro
Pira	Marco		Praça Lampadosa				Sarandi
Cap. Carlos Viêira	Placa		Praça Cap. Carlos Viêira				Sarandi
Prá Frente Brasil	Placa		Praça Miguel Gustavo		Sim		Sarandi

Agradecimento à prefeitura	Placa		Praça Caraibe		Sim	Vila Assunção
Monumento à Mãe	Placa	1958	Praça Comendador Antônio de Souza Gom			Tristeza
Pira Dr. Wenceslau Escobar	Marco	1948	Praça Comendador Antônio de Souza Gom		Sim	Tristeza
Vila conceição	Marco		Rua Prof. Emilio Meyer			Vila Conceição
Santas Missões	Altar		Vila Nova			Vila Nova
Vicenzo Monteggia	Obelisco		Vila Nova		Sim	Vila Nova
Arlindo Pasqualini	Cabeça		Praça Arlindo Pasqualini			Ipanema
Jubileu de Prata do Santuário de ...	Obelisco		Praça Jaci		Sim	Guarujá
Centenário Farroupilha	Marco	1935	Praça Inácio Antônio da Silva		Sim	Belem Novo