

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Bruno da Cruz Trindade**

**Renascendo das cinzas:  
Experimentação com resíduos do incêndio no Museu Nacional na  
recriação de peças do acervo através de Manufatura Aditiva**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos

Rio de Janeiro  
Outubro de 2020



## **Bruno da Cruz Trindade**

### **Renascendo das cinzas: experimentação com resíduos do incêndio no Museu Nacional na recriação de peças do acervo através de manufatura aditiva**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Design da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

**Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos**

Orientador

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

**Prof. Cláudio Freitas de Magalhães**

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

**Prof. Sérgio Alex Kugland de Azevedo**

Departamento de Geologia e Paleontologia – UFRJ

Rio de Janeiro, 13 de outubro de 2020

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

## **Bruno da Cruz Trindade**

Graduado em Desenho Industrial – Comunicação Visual e Projeto de Produto pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

### Ficha catalográfica

Trindade, Bruno da Cruz

Renascendo das cinzas : experimentação com resíduos do incêndio no Museu Nacional na recriação de peças do acervo através de manufatura aditiva / Bruno da Cruz Trindade ; orientador: Jorge Roberto Lopes dos Santos. – 2020.

121 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes e Design, 2020.

Inclui bibliografia

1. Artes e Design - Teses. 2. Museu Nacional. 3. Impressão 3D. 4. Cinzas. 5. Manufatura aditiva. 6. Design. I. Santos, Jorge Roberto Lopes dos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Artes e Design. III. Título.

CDD: 700

Ao meu pai, de quem herdei a curiosidade e o prazer pela experimentação.  
À minha mãe, pelo incentivo e apoio incondicional.

## Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos por todos os ensinamentos, direcionamentos e confiança em mim depositados.

À CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao Prof. Sérgio Alex Kugland de Azevedo, coordenador do Laboratório de Processamento de Imagem Digital (LAPID) e aos demais membros da equipe do Museu Nacional – UFRJ.

Ao Núcleo de Experimentação Tridimensional (NEXT), Laboratório do Programa de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio, do qual faço parte como pesquisador e que me deu todo suporte necessário para a realização desta pesquisa.

A todos os Pesquisadores e funcionários do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), em especial aos membros do Laboratório de Modelos Tridimensionais (LAMOT) e demais membros da Divisão de Desenho Industrial (DIDIN).

Ao Renato e Marcelo do Laboratório de Tecnologia de Materiais Poliméricos (LAMAP)

A todos os professores e funcionários do Departamento de Artes e Design da PUC-Rio.

Aos professores que participaram da Comissão Examinadora no exame de qualificação e na defesa da dissertação.

E por fim, a todos os amigos e familiares que me apoiaram durante todo esse processo.

## Resumo

Trindade, Bruno da Cruz; Lopes, Jorge Roberto dos Santos. **Renascendo das cinzas: experimentação com resíduos do incêndio no Museu Nacional na recriação de peças do acervo através de manufatura aditiva.** Rio de Janeiro, 2020. 121p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta pesquisa se propõe a uma investigação exploratória na utilização de resíduos carbonizados, como matéria prima para reconstrução de peças perdidas no incêndio que, em setembro de 2018, destruiu parte do acervo do Museu Nacional (MN) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), através de tecnologias de Manufatura Aditiva. O que tornou este trabalho possível foi a existência de arquivos digitais obtidos em pesquisas anteriores através de processos não invasivos e não destrutivos de obtenção de superfícies tridimensionais de diversas peças do acervo do museu. A principal contribuição se caracteriza pela possibilidade de recriar peças do acervo do museu, bem como agregar diferentes valores simbólicos aos objetos reproduzidos com resíduos provenientes do próprio MN, através de experimentos realizados com pesquisadores do Laboratório de Processamento de Imagem Digital do Museu Nacional, do Núcleo de Experimentação Tridimensional – NEXT da PUC Rio e do Instituto Nacional de Tecnologia. A pesquisa apresenta uma análise por Microscopia eletrônica de varredura (*MEV*) e espectroscopia de energia dispersiva (*EDS*) de amostras desse material, com a identificação de sua composição, e segue três linhas de trabalho focadas em processos diferentes de Manufatura Aditiva, o que resultou no desenvolvimento de um filamento termoplástico extrudado, uma massa argilosa em pó e uma linha que combina processos de fabricação digitais e analógicos. As peças produzidas foram exibidas em exposições relacionadas ao Museu Nacional.

## Palavras-chave

Museu Nacional; Impressão 3D; Cinzas; Manufatura Aditiva; Design;

## Abstract

Trindade, Bruno da Cruz; Lopes, Jorge Roberto dos Santos. **Rising from the ashes: experimenting with fire residues at the National Museum to recreate pieces from the collection through additive manufacturing.** Rio de Janeiro, 2020. 121p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This research proposes an exploratory investigation on the use of carbonized residues, as feedstock in Additive Manufacture technologies, for the reconstruction of pieces lost in the fire that destroyed part of Federal University of Rio de Janeiro National Museum(MN)'s collection, in September 2018. This work was possible due to the existence of digital files, from previous researches, which were generated through non-invasive and non-destructive processes for obtaining three-dimensional surfaces of several pieces from the museum's collection. The main contribution of this work is characterized by the possibility of recreating pieces which incorporate symbolic and imagetic affective aspects to objects reproduced with MN's fire accident residues, through experiments carried out by researchers both from Digital Image Processing Laboratory, of the National Museum, and the National Institute of Technology. This research presents an analysis by scanning electron microscopy (SEM) and dispersive energy spectroscopy (EDS) of samples of this material, identifying its composition, and it follows three guidelines focused on different Additive Manufacturing processes, which resulted in the development of an extruded thermoplastic filament, a clay powder and a line that combines digital and analog manufacturing processes. All used in the recreation of pieces shown in exhibitions related to the National Museum.

## Keywords

National Museum; Fire; Ashes; Additive Manufacturing; Design; Technology

## Sumário

1	Introdução	19
2	O Museu Nacional	26
2.1.	Um breve histórico	26
2.2.	O acervo antes do incêndio	27
2.2.1.	Antropologia Biológica	28
2.2.2.	Arqueologia	30
2.2.3.	Etnologia	31
2.2.4.	Geologia	32
2.2.5.	Paleontologia	33
2.2.6.	Zoologia	34
2.3.	O incêndio	35
2.4.	O resgate do acervo	39
3	Tecnologias digitais na reconstrução de artefatos históricos	42
3.1.	Processos de obtenção de arquivos digitais 3D	42
3.1.1.	Fotogrametria	43
3.1.2.	Tomografia	44
3.2.	Processos de Manufatura Aditiva	47
3.2.1.	FDM (modelagem por deposição fundida)	49
3.2.2.	SLA (Estereolitografia)	50
3.2.3.	DLP (processamento digital de luz)	52
3.2.4.	BJ (Binder Jetting)	54
3.3.	Processo de digitalização tridimensional do acervo do Museu	56
4	Recriando com cinzas	60
4.1.	O material	61
4.2.	A camada física: analisando o material	63
4.3.	O Primeiro contato é lúdico	63
4.4.	Pré-processamento	65
4.5.	Métodos e processos utilizados	69

4.6. Peças do Acervo reproduzidas	70
4.7. Experimentação em Manufatura Aditiva	71
4.7.1. Filamento termoplástico para processo FDM	73
4.7.2. Massa argilosa para processo BJ	88
4.7.3. DLP, vácuo formagem e resina.	95
5 A camada simbólica: o que vai além do material	103
5.1. Design emocional	104
5.2. O Funcionalismo e a expansão do simbólico	105
5.3. O Imagético representativo	107
5.4. As diferentes camadas de simbolismos	109
6 Considerações Finais	112
7 Referências Bibliográficas	116
8 Anexo único	118

## Lista de Figuras

Figura 1: Capa revista FAPERJ nº46. 2019	20
Figura 2: Foto da fachada do Museu Nacional e seu entorno. Foto: Roberto da Silva.	27
Figura 3: Crânio da Luzia. Foto: Acervo Museu Nacional. Local de Coleta / Origem: Lapa Vermelha IV, Município de Pedro Leopoldo, Minas Gerais	29
Figura 4: Caixão de Sha-Amun-en-su. Foto: Acervo Museu Nacional. Data de Origem / Produção: Baixa época, cerca de 750 a.C. Local de Coleta/Oriem:Tebas ocidental, Egito Antigo. Dimensões:1,58 m.	30
Figura 5: Boneca Karajá. Foto: Acervo Museu Nacional. Local de Coleta / Origem: Tocantis. Dimensões: 7 x 6 cm	31
Figura 6: Meteorito Bendegó. Foto: Acervo do Museu Nacional. Local de Coleta / Origem: Bahia. Dimensões: 2,15 x 1,5 x 0,65 m. 5,36 toneladas.	32
Figura 7: Esqueleto de titanossauro <i>Maxakalisaurus topai</i> . Foto: Acervo Museu Nacional. Dimensões: 13m de comprimento	33
Figura 8: <i>Harpia</i> empalhada. Foto: Acervo Museu Nacional.	34
Figura 9: Estátua de Dom Pedro II e museu em chamas. Foto: Uanderson Fernandes, O Globo.	35
Figura 10: Incêndio Museu Nacional. Foto: Ricardo Moraes, Reuters	35
Figura 11: Pesquisador resgatando equipamentos. Foto: Fernando Souza/ADUFRJ.	36
Figura 12: Funcionários salvando itens do acervo e equipamentos. Fernando Souza/ADUFRJ	36
Figura 13: Espectador observando o prédio tomado pelo incêndio. Foto: Ricardo Moraes, Reuters.	37
Figura 14: Vista aérea do Museu Nacional após o incêndio. Foto: Buda Mendes.	37
Figura 15: Museu Nacional: arte mostra o que havia em cada um dos pavimentos do prédio destruído por incêndio. Foto: Infográfico: Claudia Peixoto, Juliane Monteiro e Karina Almeida/G1	38

Figura 16: Trabalho de escavação no Museu Nacional. Foto: Fernando Frazão, Agência Brasil.	39
Figura 17: Pesquisador Pedro Von Seehausen recuperando estatueta egípcia. Foto: Fernando Frazão, Agência Brasil.	40
Figura 18: Algumas peças da coleção egípcia resgatada. Foto: Tomaz Silva, Agência Brasil.	40
Figura 19: Escaravelho coração e amuletos de Sha-Amun-en-su. Foto: Tomaz Silva, Agência Brasil	41
Figura 20: Classificação das Tecnologias de Digitalização 3D. Fonte: PENG, 2005, p. 2.	42
Figura 21: Pesquisador do LAPID/MN fotografando artefato do acervo. Foto: Lopes <i>et al</i> , 2019.	43
Figura 22: Sequência de imagens utilizadas para fotogrametria. Foto: Lopes <i>et al</i> , 2019.	44
Figura 23: Caixão de Sha-Amun-em-su sendo tomografado. Foto: Lopes <i>et al</i> , 2019.	45
Figura 24: Tomografia do Caixão de Sha-Amun-em-su. Foto: Lopes <i>et al</i> , 2019.	46
Figura 25: Escaravelho coração dentro do caixão de Sha-Amun-em-su. Foto: Lopes <i>et al</i> , 2019.	47
Figura 26: Etapas gerais do processo de manufatura aditiva. Fonte: my3dconcepts.com	48
Figura 27: Desenho esquemático do processo de manufatura aditiva FDM. fonte:additively.com	49
Figura 28: Desenho esquemático do processo de manufatura aditiva SLA. fonte:additively.com	50
Figura 29: Comparativo entre os processos de MA, DLP e SLA. Fonte: manufactur3dmag.com	52
Figura 30: Desenho esquemático do processo de manufatura aditiva BJ. fonte:additively.com	54
Figura 31: Página do laboratório LAPID / MN. Fonte: sketchfab.com/lapid.mn.	57
Figura 32: Amuleto escaravelho coração de Sha-Amun-en-su. Foto: Lapid/MN.	58

Figura 33: Pesquisadora Ângela Rabelo trabalhando no resgate. Foto: arquivo Museu Nacional.	60
Figura 34: Alguns tipos de cinzas encontradas em áreas diferentes do museu. Foto: Autor	62
Figura 35: Cinzas encontradas na sala do Egito. Foto: Autor	63
Figura 36. Resina epóxi misturada com diferentes tamanhos de partículas. Foto: Autor.	64
Figura 37: Moinho de esferas. Foto: Autor.	66
Figura 38: Recipiente do moinho com esferas e cinzas. Foto: Autor	66
Figura 39: Cinzas após moagem. Foto: Autor.	67
Figura 40: Agitador de peneiras. Foto: Autor.	68
Figura 41: Experimentação no processo SLA feita previamente pelos pesquisadores. Foto: Revista FAPERJ n°46. 2019, Jorge Lopes.	72
Figura 42: Materiais utilizados para criação de filamento, PA e cinzas do MN. Foto: Autor.	73
Figura 43: Materiais utilizados para criação de filamento, PP e cinzas do MN. Foto: Autor.	74
Figura 44: Equipamento utilizado para mistura dos materiais. Foto: Autor.	75
Figura 45: Autor retirando material do misturador. Foto: Renato / LAMAP.	75
Figura 46: Extrusora utilizada para a criação do filamento. Foto: Autor	76
Figura 47: Adaptação feita na extrusora. Foto: Autor	77
Figura 48: Colocação do material misturado na extrusora. Foto: Autor	78
Figura 49: Detalhe do módulo aquecido da extrusora. Foto: Autor	78
Figura 50: Detalhe do filamento entrando no tanque de resfriamento da extrusora. Foto: Autor	79
Figura 51: Detalhe do filamento saindo no tanque de resfriamento da extrusora. Foto: Autor	79
Figura 52: Detalhe do módulo puxador da extrusora. Foto: Autor	80
Figura 53: Exemplo dos primeiros testes de filamento Foto: Autor	80
Figura 54: Painel de controle com os parâmetros utilizados. Foto: Autor	81
Figura 55: Produção final de filamentos com os parâmetros adequados. Foto: Autor	82

Figura 56: Felix printer 3.0. Foto: <a href="http://www.felixprinters.com">www.felixprinters.com</a>	83
Figura 57: Primeiros testes de impressão FDM. Foto: Autor.	84
Figura 58: Processo de impressão com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.	85
Figura 59: Peça impressa em 3D com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.	85
Figura 60: Processo de impressão com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.	86
Figura 61: Peça impressa em 3D com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.	86
Figura 62: Processo de impressão com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.	87
Figura 63: Peça impressa em 3D com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.	87
Figura 64: Impressora 3D ZPrinter310. Foto: <a href="http://3dprinterlog.blogspot.com">3dprinterlog.blogspot.com</a>	89
Figura 65: Processo de impressão 3D BJ com as cinzas. Foto: Autor.	90
Figura 66: Resultados dos primeiros testes de impressão 3D BJ com as cinzas. Foto: Autor.	91
Figura 67: Impressão 3D BJ em argila de peças variadas. Foto: Autor.	92
Figura 68: Impressão 3D BJ de Medalhão italiano de 1867 em argila e cinzas. Foto: Autor.	93
Figura 69: Impressão 3D BJ de Medalhão italiano de 1867 em argila e cinzas. Foto: Autor.	94
Figura 70: Impressão 3D BJ de amuleto fálico egípcio em argila e cinzas. Foto: Autor.	95
Figura 71: Impressora 3D DLP Photon. Foto: <a href="http://www.anycubic.com">www.anycubic.com</a>	96
Figura 72: Escaravelho coração impresso em DLP. Foto: Autor	97
Figura 73: Caixão de Sha-Amun-em-su impresso em DLP. Foto: Autor	97
Figura 74: Máquina de vácuo formagem odontológica Bio-art plastvac P7. Foto: Autor.	98
Figura 75: Confeção do molde do Escaravelho coração. Foto: Autor.	98
Figura 76: Confeção do molde do caixão de Sha-Amun-em-su. Foto: Autor.	99

Figura 77: Reprodução do Escaravelho coração em resina epóxi e detritos do MN. Foto: Autor.	100
Figura 78: Caixão de Sha-Amun-em-su em resina epóxi e detritos do MN. Foto: Autor.	101
Figura 79: Caixão de Sha-Amun-em-su em resina epóxi e detritos do MN. Foto: Autor.	102
Figura 80: Reprodução seriada em resina epóxi e detritos do MN. Foto: Autor.	102
Figura 81: TG e DTG da cinza do museu nacional. Fonte: CENANO/INT.	119
Figura 82: Resíduo da cinza do Museu Macional com aumento de 1000 x. Foto: CENANO/INT.	119
Figura 83: Resíduo da cinza do Museu Macional com aumento de 1000 x. Foto: CENANO/INT.	120
Figura 84: Gráfico quantitativo sinalizando os elementos que compõem as cinzas. Fonte: CENANO/INT.	121

## Lista de tabelas

Tabela 1: Sequência de pré-processamento do material.	69
Tabela 2: Níveis percepção. Fonte: NORMAN, 2008, p. 59	104

## Lista de abreviaturas

ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

ADUFRJ - Associação dos Docentes da Universidade Federal do Rio de Janeiro

CAD - Desenho Assistido por Computador

CENANO - Centro de Caracterização em Nanotecnologia para Materiais e Catálise

CMYK - Cyan Magenta Yellow Black

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DIDIN - Divisão de Desenho Industrial

DLP - Processamento por Luz Direta

EDS - Espectroscopia por Energia Dispersiva

FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

FDM - Modelagem por Fusão e Deposição

INT - Instituto Nacional de Tecnologia

ISO - *International Organization for Standardization*

LAMAP - Laboratório de Tecnologia de Materiais Poliméricos

LAMOT - Laboratório de Modelos Tridimensionais

LAPID - Laboratório de Processamento de Imagens Digitais

LCD - Display de Cristal Líquido

MA - Manufatura Aditiva

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

MN - Museu Nacional

NEXT - Núcleo de Experimentação Tridimensional

PA - Poliamida

PET - Polietileno tereftalato

PIBIC - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica

PLA - Ácido Polilático

PP - Polipropileno

SEM - Scanning electron microscopy

SLA - Estereolitografia

TGA - Termogravimetria

TPU - Poliuretano Termoplástico

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UV - Ultravioleta

*“The pessimist complains about the wind; the optimist expects it to change;  
the realist adjusts the sails.”*

William Arthur Ward

# 1 Introdução

No dia 2 de setembro de 2018 um incêndio de grandes proporções atingiu o Museu Nacional, na Quinta da Boa Vista, na cidade do Rio de Janeiro, e destruiu a maior parte de seu acervo histórico e científico. A instituição –que recém completara 200 anos– tinha em seu acervo cerca de vinte milhões de itens catalogados. O edifício histórico que abrigava o Museu também foi bastante danificado com rachaduras, desabamento do seu telhado e de sua estrutura interna, compactando os três andares do edifício e tudo que tinha dentro dele em pilhas de escombros carbonizados.

Ao saber da notícia fui tomado por um sentimento de profunda tristeza e impotência. Ao ver as imagens ao vivo das chamas e dos desabamentos, já imaginava que a perda seria algo irreparável. Frequentava e conhecia o Museu Nacional desde minha infância e de maneira mais frequente nos últimos anos em função da realização de alguns trabalhos com parceiros. Isso me permitiu ter um bom conhecimento de sua estrutura interna: das áreas não abertas à visitação, de parte do acervo que não era exposta e de laboratórios de diversas áreas de pesquisa que lá funcionavam.

Esta relação com o museu, além de me trazer um maior conhecimento físico do espaço, me trouxe, principalmente, um ganho recente significativo na construção de um repertório imagético afetivo relacionado ao museu. Repertório esse que venho inconscientemente construindo desde minha infância, e de forma mais consciente nos últimos anos. Isso me fez criar um laço, mesmo que não oficial, de proximidade e pertencimento ao espaço, a instituição Museu Nacional e a tudo que ela representa simbolicamente.

Esta pesquisa se inicia pela vontade de contribuir de alguma forma com o trabalho de resgate e reconstrução do Museu Nacional, trabalho esse que vem sendo realizado com muito empenho e cuidado pela equipe de Resgate de Acervos do Museu Nacional. Fazem parte dessa equipe pesquisadores de diversas áreas, como Paleontologia, Arqueologia, Biologia, Geologia, Geografia, História, etc. Em sua

maioria, são pesquisadores do quadro de servidores, bolsistas e funcionários do próprio Museu Nacional e da UFRJ.

O tema desta pesquisa consiste na utilização de tecnologias de Manufatura Aditiva na reconstrução de artefatos históricos, mais especificamente, peças pertencentes ao acervo do Museu Nacional. Este trabalho foi possível devido à existência de arquivos digitais obtidos em pesquisas anteriores, através de processos não invasivos e não destrutivos de obtenção de superfícies tridimensionais de diversas peças do acervo do museu, método descrito no livro SEEN/UNSEEN<sup>1</sup> (LOPES *et al.*, 2019). O trabalho até então em desenvolvimento, de impressão 3D com as cinzas do museu, fez parte da pesquisa que recebeu prêmio de menção honrosa PIBIC/CNPq na PUC-Rio e também foi capa da Revista PESQUISA FAPERJ de 2019<sup>2</sup>.

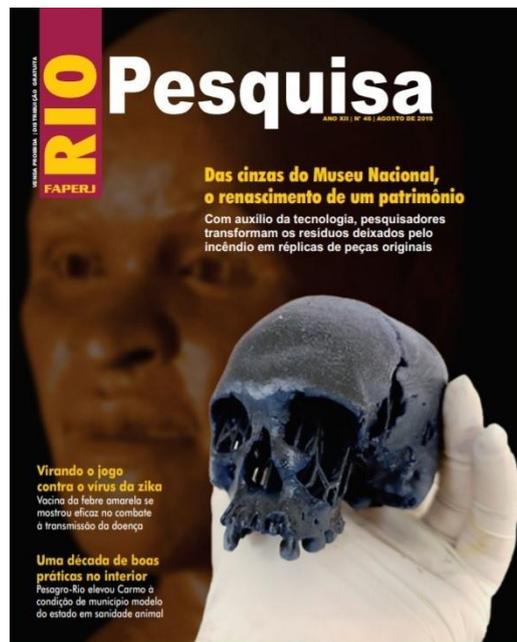


Figura 1: Capa revista FAPERJ nº46. 2019

O trabalho se iniciou, de forma pioneira no ano 2000, pelo Laboratório de Processamento de Imagem Digital (LAPID) Museu Nacional-UFRJ, coordenado pelo Professor Sérgio Alex Kugland de Azevedo, em parceria com o Laboratório de Modelos Tridimensionais (LAMOT) do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), coordenado a época pelo Professor Jorge Roberto Lopes dos Santos.

<sup>1</sup><https://www.amazon.com.br/Seen-Unseen-Visualization-Jorge-Lopes/dp/8594970447>

<sup>2</sup>[http://www.faperj.br/downloads/revista/rio\\_pesquisa\\_46\\_2019.pdf](http://www.faperj.br/downloads/revista/rio_pesquisa_46_2019.pdf)

Posteriormente, soma-se a essa pareceria o Núcleo de Experimentação Tridimensional (NEXT). Laboratório híbrido do Programa de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio.

A digitalização tridimensional de artefatos históricos tem o Museu Nacional como principal expoente brasileiro na realização desse trabalho. Podemos citar, em uma escala maior, o grupo de museus *Smithsonian*, dos Estados Unidos. Através do programa *Smithsonian Institution Digitization Program*, com o foco de aumentar e difundir o conhecimento através do uso da tecnologia, o projeto disponibiliza gratuitamente no portal *Smithsonian X 3D* arquivos digitais tridimensionais de parte de seu acervo para visitas virtuais, download e até mesmo alguns modelos prontos para serem impressos em 3D.

O problema da pesquisa está em como utilizar as cinzas provenientes do incêndio como matéria-prima de recriação destes artefatos, através de processos de Manufatura Aditiva, analisando as tecnologias disponíveis nos laboratórios em que a pesquisa foi realizada, e as possibilidades do uso dessas cinzas combinadas a seus materiais convencionais. Assim, se pode determinar quais tecnologias mais promissoras, e desenvolver uma metodologia de processamento do material que permita sua utilização nestas tecnologias.

A hipótese que trabalho é que a utilização das cinzas do incêndio –como matéria-prima de recriação de peças do acervo do MN – agrega diferentes valores simbólicos às peças recriadas, e que uma réplica feita de forma tradicional, ou mesmo feita através de Manufatura Aditiva em seus materiais convencionais por mais realista e bem executada que seja, não traz esses mesmos valores aos objetos reproduzidos.

Isto ocorre porque, ao utilizarmos as cinzas do próprio MN como matéria-prima de reconstrução das peças, adicionamos outras camadas de significado aos objetos recriados. Esses objetos passam a representar não só a cultura e o povo que criou a peça original, mas também representam todo o simbolismo histórico da instituição Museu Nacional, do seu acervo representativo de diversas culturas, do valor científico das pesquisas que lá eram realizadas, e do fatídico e traumático episódio do incêndio que o destruiu em sua maior parte.

Outro simbolismo presente também está no próprio ato da recriação de objetos com as cinzas, o que remete ao conceito de renascimento após um evento trágico. A expressão popularmente conhecida como “renascer das cinzas” tem sua

representação em lendas de diversas culturas ao longo da história, como a Fênix na cultura grega ou Benu (uma garça), na cultura egípcia, ambas representações de aves mitológicas que ao final de suas vidas entram em combustão e morrem, para então renascer das próprias cinzas e começar um novo ciclo de vida.

Esta pesquisa encontra sua relevância no fato do Museu Nacional-UFRJ ser uma instituição que ao longo dos últimos anos vem sendo abalada pelo descaso do poder público, sofrendo progressivos cortes em seu orçamento e que até o seu fechamento em função do incêndio, vinha se mantendo com uma pequena fração da verba necessária para seu funcionamento pleno.

O trágico episódio do incêndio e sua conseqüente e irreparável perda histórica, científica e cultural gerou um movimento de comoção e mobilização da sociedade, potencializado através de uma série de reportagens de instituições jornalísticas nacionais e internacionais. Longe de querer relativizar as perdas diante da tragédia, mas analisando de forma positivista, o incidente colocou o Museu Nacional em evidência. Isso criou um momento de grande valorização midiática, o que se traduziu em aportes financeiros de governos e de instituições privadas de várias partes do mundo para sua reconstrução.

Em princípio, houve um certo descaso da UFRJ / MN com o que sobrou do incêndio: o contrato inicial com a empresa responsável previa a limpeza e esvaziamento total do edifício histórico, se desfazendo de tudo o que estivesse lá dentro. Isso, talvez, por acreditarem que tudo que estava no interior do prédio teria se perdido, ou ainda por falta de percepção da instituição. Mas ao iniciar essa atividade de limpeza, a empresa percebeu que existiam itens do acervo que poderiam ser recuperados e entrou em contato com os pesquisadores do Museu. Ou seja, a sensibilidade de contactar os pesquisadores partiu da empresa e não da instituição.

Conforme os pesquisadores começaram a se envolver nas atividades junto a empresa de limpeza, e assim começaram a resgatar alguns itens do acervo, é que a instituição UFRJ / MN mudou seu posicionamento, dando início, assim, a um planejamento institucional da atividade de resgate. O que se observa é que se passou de um descaso inicial para uma supervalorização, além de um rígido controle dessas atividades e, conseqüentemente, do material que restou do incêndio.

Neste contexto, a pesquisa se justifica também por trabalhar com resíduos do incêndio que fogem do controle do pesquisador, por ser tratar de materiais que

se não aproveitados no momento atual, uma vez que as operações de resgate ainda estão em andamento, e serão, fatalmente, descartados. Isto porque se tratam de partículas muito pequenas (inferiores a 3mm) que não possibilitam sua identificação e utilização na reconstrução de alguma peça do acervo, não tendo um valor objetivo e pragmático para o resgate e reconstrução do MN. Entretanto, carregam um forte caráter simbólico como material. É esse potencial que a pesquisa desenvolvida se propõe a explorar: desenvolvendo uma linha de trabalho paralela as atividades de resgate e somando esforços ao grupo de pesquisadores e instituições responsáveis pela operação de recuperação e reconstrução do Museu Nacional.

A pesquisa se objetiva de forma exploratória e tem como objetivo geral, investigar através de experimentações a utilização das cinzas residuais provenientes do incêndio, como material a ser desenvolvido e aplicado a tecnologias de Manufatura Aditiva, com intuito de recriar peças que faziam ou ainda fazem parte do acervo do Museu Nacional.

Como objetivos específicos temos: (I) a criação de uma metodologia de pré-processamento das cinzas para possibilitar sua utilização como matéria-prima em diversos processos de Manufatura Aditiva; (II) a criação de um filamento termoplástico extrudado para ser utilizado na tecnologia FDM; (III) a criação de uma massa argilosa para ser utilizada na tecnologia *Binder Jetting*; (IV) a experimentação, se utilizando das cinzas como material de criação de forma ampla, combinando processos de fabricação digitais e analógicos, e; (V) a exploração do caráter simbólico que as cinzas, como matéria-prima de recriação, agregam aos objetos reproduzidos.

A metodologia adotada é a hipotético-dedutiva, utilizando a criação de hipóteses secundárias que serão validadas através de experimentações, com observação empírica, dando grande importância a observação analítica dos processos e como as cinzas se comportam ao quando misturadas a outros materiais e incorporadas como matéria-prima nas diversas tecnologias experimentadas.

Quanto a natureza, me utilizo de técnicas de pesquisa. Com um objetivo claro e uma área de aplicação específica que é a recriação de artefatos históricos pertencentes ao acervo do Museu Nacional, utilizando as cinzas como matéria-prima por meio de tecnologias de Manufatura Aditiva. Quanto a abordagem do problema, inicio de forma quantitativa, no sentido de criar várias frentes de

experimentação diferentes, abrindo um leque de possibilidades de utilização das cinzas. No decorrer da pesquisa se adota a forma qualitativa, visando a busca por aspectos particulares e qualidades individuais inerentes aos processos experimentados e a otimização dos mesmos.

Quanto a estrutura da dissertação, no capítulo 2, se apresenta o Museu Nacional, sua importância cultural, histórica e científica como museu e centro de pesquisa, bem como algumas peças de seu acervo. Se aborda também o incidente do incêndio e as perdas decorrentes dessa tragédia, seguido pelas operações de resgate do acervo do museu.

No capítulo 3, se apresenta um panorama geral sobre processos de aquisição tridimensional digital, seguido pelas principais tecnologias utilizadas para a digitalização de artefatos do acervo do Museu Nacional. Será apresentado também um panorama geral sobre processos de Manufatura Aditiva, seguido por uma análise das tecnologias utilizadas nas linhas de experimentação desenvolvidas, com a descrição dos processos, suas principais características e possibilidades. Ainda neste capítulo, será apresentado o trabalho realizado pelo LAPID – Laboratório de Processamento de Imagens Digitais do Museu Nacional, responsável pela digitalização tridimensional de parte do acervo do museu.

No capítulo 4, serão abordados os aspectos físicos do material. Se inicia pela forma de obtenção das cinzas e as primeiras observações em sua manipulação. Em seguida apresenta-se uma metodologia de pré-processamento do material, desenvolvida para utilização em Manufatura Aditiva. Segue com a apreciação de cada uma das três linhas de experimentação realizadas, com o desenvolvimento dos diferentes materiais, processos e suas particularidades, e também os testes realizados e os resultados de materialização tridimensional obtidos.

No capítulo 5, serão abordados os aspectos não materiais, como a expansão dos valores simbólicos dos artefatos originais em nossa reinterpretação; a criação de um repertório imagético representativo do museu e seu acervo; as diferentes camadas de simbolismo que as cinzas como matéria-prima agregam aos objetos recriados e a contribuição do design emocional no desenvolvimento e compreensão destes aspectos.

No capítulo 6, apresenta-se as conclusões e as considerações finais, além das revisões críticas sobre a pesquisa e suas possibilidades de desdobramento.

Por fim, um anexo único, em que se apresenta uma análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS) de amostras desse material, identificando sua composição.

## 2

# O Museu Nacional

### 2.1. Um breve histórico

O Museu Nacional é o museu e a instituição científica mais antiga do Brasil. Foi criado por D. João VI, em 06 de junho de 1818 e inicialmente, sua sede era no Campo de Santana, localizado no centro do Rio de Janeiro. Sua criação seguiu os moldes dos museus de história natural portugueses. Desde sua fundação era composto por bibliotecas, museu, laboratórios e arquivos especializados com o objetivo de estimular o progresso econômico e cultural e prosperidade do novo reino, através do conhecimento e aproveitamento de recursos naturais, organizando os dados da natureza e disponibilizando-os para serem estudados (MUSEU NACIONAL, 2007)

Idealizado como uma espécie de “gabinete de curiosidades” seguindo os preceitos iluministas de instituição científica, suas coleções não se limitavam as riquezas naturais. Desde sua fundação, seu acervo foi sendo construído também com objetos históricos e artísticos.

O Museu Nacional tem por missão: "Descobrir e interpretar fenômenos do mundo natural e as culturas humanas, difundindo o seu conhecimento com base na realização de pesquisas, organização de coleções, formação de recursos humanos e educação científica, assim como atuar na preservação do patrimônio científico, histórico, natural e cultural em benefício da sociedade (*Idem*)<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Disponível em [www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br).



Figura 2: Foto da fachada do Museu Nacional e seu entorno. Foto: Roberto da Silva.

Como museu universitário, tem perfil acadêmico e científico. Suas exposições resultam da história da instituição e da excelência de suas atividades de pesquisa e ensino, cumprindo a finalidade de produção e disseminação do conhecimento nas áreas de ciências naturais e antropológicas (*Idem*)<sup>4</sup>.

## 2.2. O acervo antes do incêndio

O acervo Museu Nacional/UFRJ conta com mais de 20 milhões de itens e abrange áreas da ciência como Zoologia, Arqueologia, Etnologia, Geologia, Paleontologia e Antropologia Biológica. Desde sua fundação, em 1818, pelo rei Dom João VI, é

---

<sup>4</sup> Disponível em [www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br)

também centro de pesquisa, vocação que se acentuou a partir de 1946, ao ser incorporado à Universidade do Brasil (atual UFRJ).

(...)

De seu acervo destacam-se, em exposição, a coleção egípcia, considerada a maior da América Latina e que começou a ser adquirida pelo Imperador Dom Pedro I. Da Imperatriz Teresa Cristina, podemos contemplar a coleção de arte e artefatos greco-romanos, peças recuperadas, principalmente, nas escavações realizadas em Herculano e Pompéia. As coleções de Paleontologia incluem o *Maxakalisaurus topai*, dinossauro proveniente de Minas Gerais. O mais antigo fóssil humano já encontrado no país, batizada de “Luzia”, pode ser apreciado na coleção de Antropologia Biológica. Nas coleções de Etnologia temos expostos objetos que mostram a riqueza da cultura indígena, cultura afro-brasileira e culturas do pacífico. E na Zoologia destaca-se a coleção Conchas, Corais, Borboletas, que compreende mostras dos Departamentos de Invertebrados e Entomologia (MUSEU NACIONAL, 2007)<sup>5</sup>.

Nas imagens que seguem, destacamos um exemplar de cada uma das seis seções principais de classificação em que se divide o acervo do Museu Nacional, que era permanentemente exposto ao público. Cada seção é subdividida em outros subgrupos que variam por fatores diversos. O objetivo destas imagens é demonstrar a riqueza e diversidade do acervo do Museu Nacional construído ao longo de seus 200 anos, contribuindo com a formação de um repertório visual associado ao acervo. Esse repertório, servirá de base para a construção do conceito imagético afetivo representativo da instituição Museu Nacional, que será abordado no capítulo 5 desta pesquisa, quando se discute os valores simbólicos que o uso das cinzas do museu como material trazem a recriação dos artefatos pertencentes ao acervo.

### **2.2.1. Antropologia Biológica**

---

<sup>5</sup> Disponível em [www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br)



Figura 3: Crânio da Luzia. Foto: Acervo Museu Nacional. Local de Coleta / Origem: Lapa Vermelha IV, Município de Pedro Leopoldo, Minas Gerais

**Descrição:** Material recuperado na gruta conhecida como Lapa Vermelha IV, na década de 1970, durante uma missão de pesquisa franco-brasileira coordenada pela arqueóloga Annette Laming-Emperaire e com a participação de pesquisadores do Museu Nacional. Datações deste crânio e do sítio em que foi encontrado sugerem uma antiguidade entre 11 mil e 11.500 anos a partir de datações do C14. Este é o esqueleto mais antigo descoberto nas Américas, popularmente conhecido como Luzia. Apresenta características peculiares na morfologia craniana, que vêm sendo interpretadas como evidências de uma migração anterior à ocupação do continente americano por populações com características morfológicas próximas das populações asiáticas atuais (MUSEU NACIONAL, 2007)<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Disponível em [www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br)

## 2.2.2. Arqueologia



Figura 4: Caixão de Sha-Amun-en-su. Foto: Acervo Museu Nacional. Data de Origem / Produção: Baixa época, cerca de 750 a.C. Local de Coleta/Origem: Tebas ocidental, Egito Antigo. Dimensões: 1,58 m.

**Descrição:** Madeira estucada e policromada. Em 1876, quando de sua segunda visita ao Egito, Dom Pedro II foi presenteado pelo Quediva Ismail com o belo esquife pintado da “Cantora de Amon”, Sha-Amun-en-su, que veio a manter em seu gabinete até a Proclamação da República, em 1889 quando o esquife passou a ser incluído na coleção do Museu Nacional. Posteriormente, a coleção egípcia foi acrescida de outros objetos por meio de doações ou compras de particulares, chegando a cerca de 700 objetos. O exame tomográfico realizado na múmia de Sha Amun en su revelou a presença de amuletos no interior do caixão, entre eles um escaravelho-coração (MUSEU NACIONAL, 2007)<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Disponível em [www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br)

### 2.2.3. Etnologia



Figura 5: Boneca Karajá. Foto: Acervo Museu Nacional. Local de Coleta / Origem: Tocantis. Dimensões: 7 x 6 cm

**Descrição:** Cerâmica e cera. Escultura feita segundo os padrões tradicionais de confecção de bonecas de crianças. Coletada por Willian Lipkind em 1939. Durante a gestão de Heloisa Alberto Torres foi feito um acordo entre a Universidade de Columbia, dos Estados Unidos, e o Museu Nacional para co-patrocinar estudos etnológicos no Brasil. No âmbito desse acordo vieram para cá diversos etnólogos, entre eles Lipkind. Nenhum desses profissionais ficou muito tempo no Museu, mas Heloisa tentou tirar proveito de sua curta estadia para treinar pesquisadores jovens e adquirir coleções para o Museu (MUSEU NACIONAL, 2007)<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Disponível em [www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br)

## 2.2.4. Geologia

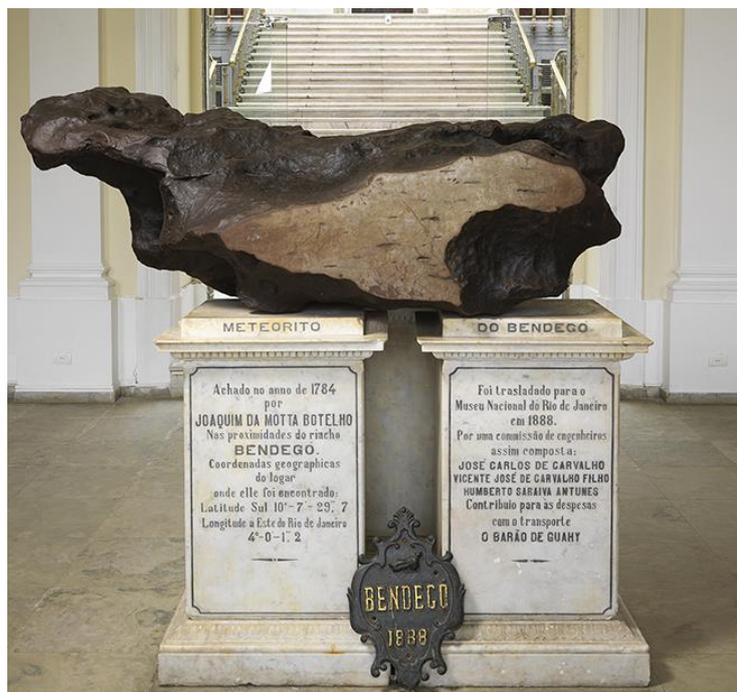


Figura 6: Meteorito Bendegó. Foto: Acervo do Museu Nacional. Local de Coleta / Origem: Bahia. Dimensões: 2,15 x 1,5 x 0,65 m. 5,36 toneladas.

**Descrição:** Constituído por uma massa compacta de ferro e níquel, é o maior meteorito brasileiro e um dos maiores do mundo. Foi encontrado em 1784 por um menino, Domingos da Motta Botelho, que pastoreava o gado em uma fazenda próxima à cidade de Monte Santo, no sertão da Bahia. A primeira tentativa de transportar o pesadíssimo bloco para a capital fracassou quando a carreta de madeira que o carregava desgovernou-se e caiu no riacho Bendegó. Desde 1888, encontra-se em exposição no Museu Nacional graças ao empenho do Imperador D. Pedro II, que tomando conhecimento de sua existência e importância científica, providenciou sua remoção para o Rio de Janeiro (MUSEU NACIONAL, 2007)<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Disponível em [www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br)

## 2.2.5. Paleontologia



Figura 7: Esqueleto de titanossauro *Maxakalisaurus topai*. Foto: Acervo Museu Nacional. Dimensões: 13m de comprimento

**Descrição:** *Maxakalisaurus topai*. Kellner, Campos, Azevedo, Trotta, Henriques, Craik & Silva, 2006. Esqueleto da constituição óssea de um titanossauro descoberto no município do Prata, Minas Gerais. As rochas dessa localidade pertencem à Formação Adamantina (Grupo Bauru) e datam do Cretáceo Superior - 99,6 a 65,5 milhões de anos. Este exemplar apresenta um comprimento estimado de 13 metros e é representativo do grupo dos saurópodes, dinossauros herbívoros de pescoço comprido e cabeça pequena. Foi o primeiro dinossauro de grande porte brasileiro montado para exposição no país (MUSEU NACIONAL, 2007)<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Disponível em [www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br)

## 2.2.6. Zoologia



Figura 8: *Harpia* empalhada. Foto: Acervo Museu Nacional.

**Descrição:** Ordem Falconiformes, *Harpia harpyja*, Linnaeus, 1758. A harpia ou gavião-real é o predador alado brasileiro mais poderoso. Ocorre em florestas bem conservadas de todo o Brasil, já sendo raro ao longo do leste brasileiro, devido à destruição da Mata Atlântica. Se alimenta de macacos, preguiças, quatis e outros animais que preda nas florestas. As fêmeas podem ser bem maiores que os machos, uma comum estratégia em grandes predadores. Alguns pesquisadores alegam que essa diferença de tamanho aumenta a ágama de possíveis presas e, portanto, a viabilidade evolutiva dessas aves. A harpia é a ave símbolo do Museu Nacional (MUSEU NACIONAL, 2007)<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Disponível em [www.museunacional.ufrj.br](http://www.museunacional.ufrj.br)

### 2.3. O incêndio



Figura 9: Estátua de Dom Pedro II e museu em chamas. Foto: Uanderson Fernandes, O Globo.

Na noite do dia 02 de setembro de 2018, em torno das 19 horas, ocorreu um incêndio no Museu Nacional no Rio de Janeiro. Prontamente a equipe de bombeiros chegou ao local mas devido à falta de pressão nos hidrantes dos arredores do museu, a equipe teve grande dificuldade em controlar as chamas e o incêndio se alastrou rapidamente.



Figura 10: Incêndio Museu Nacional. Foto: Ricardo Moraes, Reuters

Com as imagens do incêndio sendo transmitidas ao vivo por emissoras de televisão, muitos pesquisadores e funcionários do museu correram para o local no intuito de tentar salvar seus materiais de trabalho.



Figura 11: Pesquisador resgatando equipamentos. Foto: Fernando Souza/ADUFRJ.

Antes mesmo dos bombeiros conseguirem controlar o fogo, um grupo de pesquisadores e funcionários, em um ato de heroísmo e desespero, arrombam uma das portas e começam a resgatar itens do acervo e equipamentos.



Figura 12: Funcionários salvando itens do acervo e equipamentos. Fernando Souza/ADUFRJ

O incêndio ganha grandes proporções e toma conta de todo edifício, provocando o desabamento do telhado e de toda sua estrutura interna, compactando os três pavimentos e tudo que havia lá dentro em uma pilha de escombros em chama.



Figura 13: Espectador observando o prédio tomado pelo incêndio. Foto: Ricardo Moraes, Reuters.

Por volta das 2 horas da manhã a equipe de bombeiros consegue apagar o incêndio. Ao clarear do dia, se pôde ver melhor o tamanho do estrago que o incêndio causou e a magnitude das perdas decorrentes da tragédia.



Figura 14: Vista aérea do Museu Nacional após o incêndio. Foto: Buda Mendes.

No infográfico abaixo podemos observar os diferentes setores e a localização de alguns itens do acervo dentro do edifício.

## A estrutura do Museu Nacional

Veja o que havia em cada um dos pavimentos do prédio destruído por incêndio

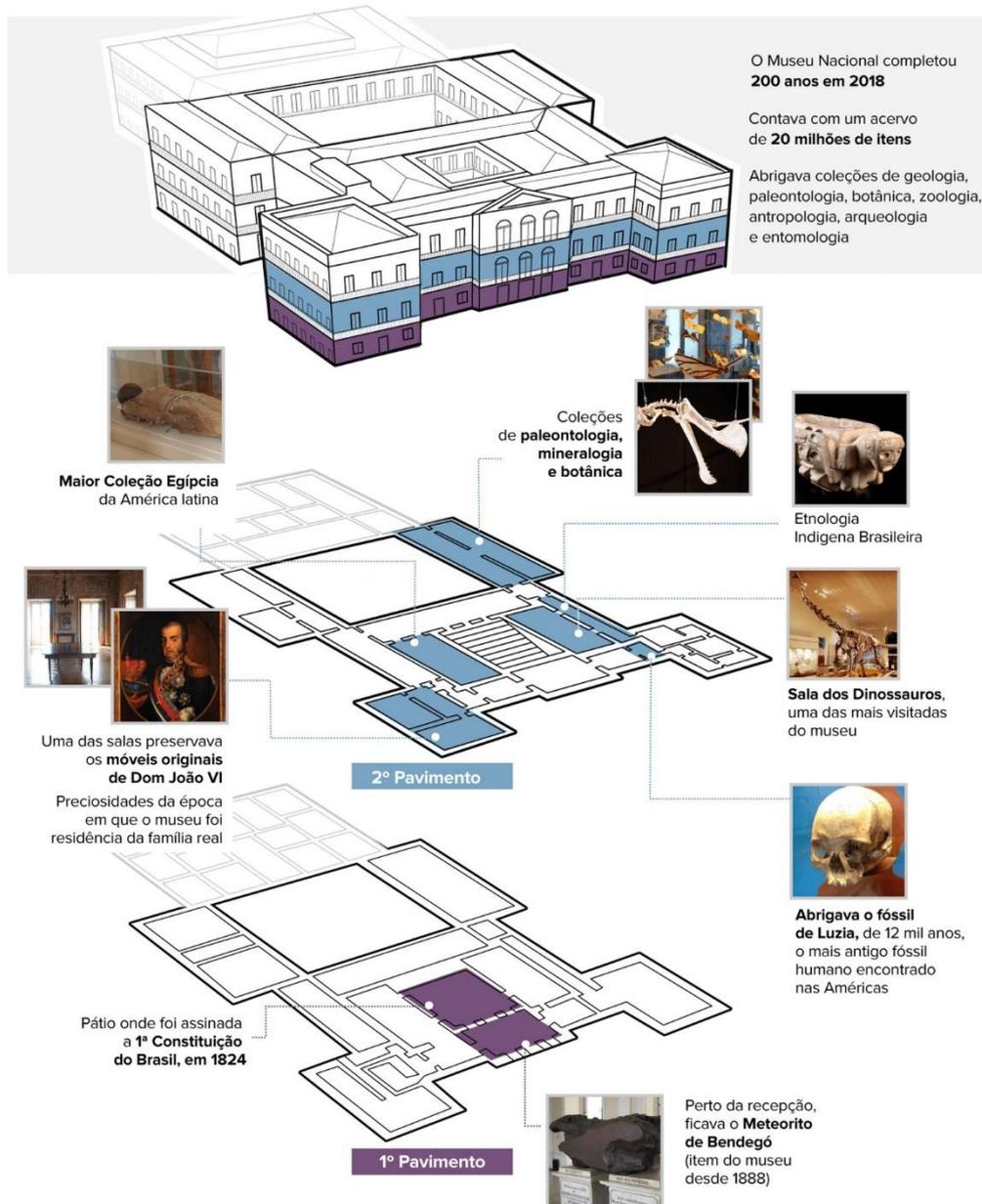


Figura 15: Museu Nacional: arte mostra o que havia em cada um dos pavimentos do prédio destruído por incêndio. Foto: Infográfico: Claudia Peixoto, Juliane Monteiro e Karina Almeida/G1

## 2.4. O resgate do acervo



Figura 16: Trabalho de escavação no Museu Nacional. Foto: Fernando Frazão, Agência Brasil.

Desde o episódio da tragédia do incêndio, diversos profissionais, dentre pesquisadores, funcionários e colaboradores do Museu Nacional, passaram a se dedicar exclusivamente as atividades de resgate. A equipe é coordenada pela arqueóloga Cláudia Carvalho e pela paleontóloga Luciana Barbosa de Carvalho e formada por 57 técnicos e 3 colaboradores.

Em recente balanço apresentado pelo Museu Nacional, com as atividades de resgate se aproximando do final, sugere-se que 80% das peças do acervo que estavam no edifício histórico foram perdidas no incêndio, 15% estão preservadas e 5% foram danificadas. Dentre as coleções que tiveram mais perdas, estão as de antropologia, etnografia, paleontologia, geologia, entomologia, aracnologia e malacologia.



Figura 17: Pesquisador Pedro Von Seehausen recuperando estatueta egípcia. Foto: Fernando Frazão, Agência Brasil.

Dentre as coleções recuperadas, um dos destaques é a coleção egípcia, considerada a maior e mais significativa da América Latina, contendo cerca de 700 peças antes do incêndio, das quais cerca de 300 foram recuperadas, mantendo o posto de destaque da coleção como principal entre os países latinos.



Figura 18: Algumas peças da coleção egípcia resgatada. Foto: Tomaz Silva, Agência Brasil.



Figura 19: Escaravelho coração e amuletos de Sha-Amun-en-su. Foto: Tomaz Silva, Agência Brasil

Entre as peças da coleção egípcia resgatadas uma que se destaca é o escaravelho coração de Sha-Amun-en-su. Juntamente com outros pequenos amuletos, ela se encontrava lacrada dentro do caixão da múmia. Assim, os pesquisadores sabiam de sua existência em função da tomografia feita no caixão em 2004, mas nunca haviam visto a peça tampouco a manipulado. O caixão e a múmia foram destruídos, restando apenas os ossos e os amuletos.

### 3 Tecnologias digitais na reconstrução de artefatos históricos

#### 3.1. Processos de obtenção de arquivos digitais 3D

Os processos de obtenção de arquivos digitais tridimensionais são divididos em dois grupos principais, um em que se tem contato físico dos sensores dos equipamentos com as peças, e, outro em que não há esse contato. Essa obtenção se dá por sensores que capturam a reflexão ou a transmissão de algum elemento seja ele óptico, sonar, radiação ou magnetismo, no qual a geometria do artefato a ser capturada é submetida.

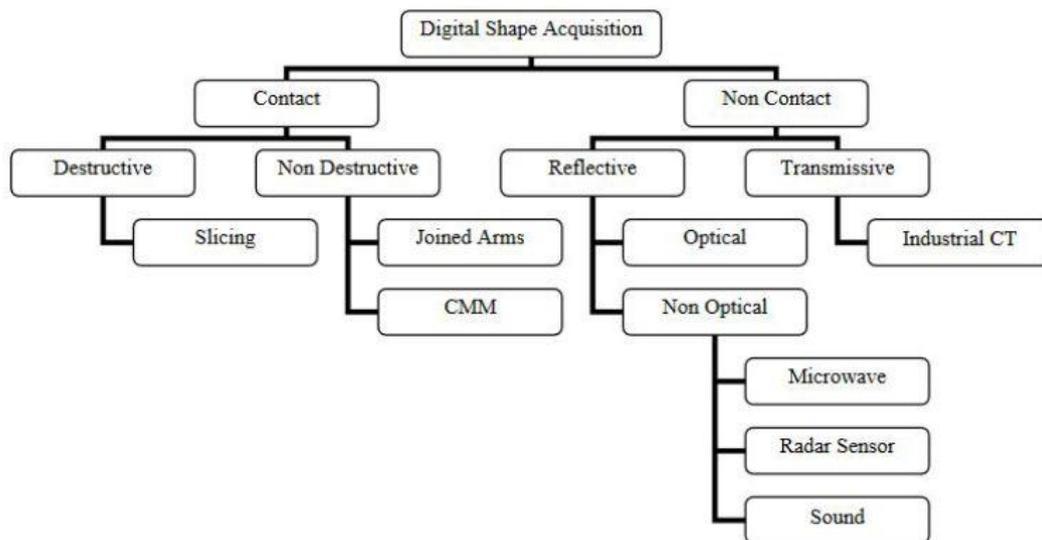


Figura 20: Classificação das Tecnologias de Digitalização 3D. Fonte: PENG, 2005, p. 2.

Como o objetivo principal dessa captura é a preservação dos artefatos do acervo do Museu e muitos deles são peças bastante frágeis, os processos são feitos de forma bastante cuidadosa, evitando o quanto possível a manipulação dos artefatos e fazendo uso de tecnologias não invasivas e não destrutivas, de maneira a reduzir ao máximo os riscos dessa atividade. Assim, todas as tecnologias de captura tridimensional utilizadas para digitalizar o acervo do museu fazem parte do grupo de não contato.

As principais tecnologias de obtenção de arquivos digitais tridimensionais utilizadas pela equipe do museu são: a fotogrametria, quando o objetivo é capturar o formato externo, com maior qualidade da superfície, incluindo cores e texturas dos objetos, e; a tomografia, quando o objetivo é investigar e digitalizar a estrutura interna de algum objeto. Algumas vezes estes processos são utilizados de forma combinada para uma digitalização tridimensional completa do artefato.

### 3.1.1.Fotogrametria

A fotogrametria é um processo de digitalização tridimensional através da combinação de diversas fotografias em ângulos diferentes de determinado objeto ou superfície. Estas fotografias geram pontos de referência com medidas, que são processadas por um software especializado e combinadas, gerando uma nuvem de pontos de toda superfície do objeto. O mesmo software posteriormente transforma estes pontos em uma superfície tridimensional digital precisa.

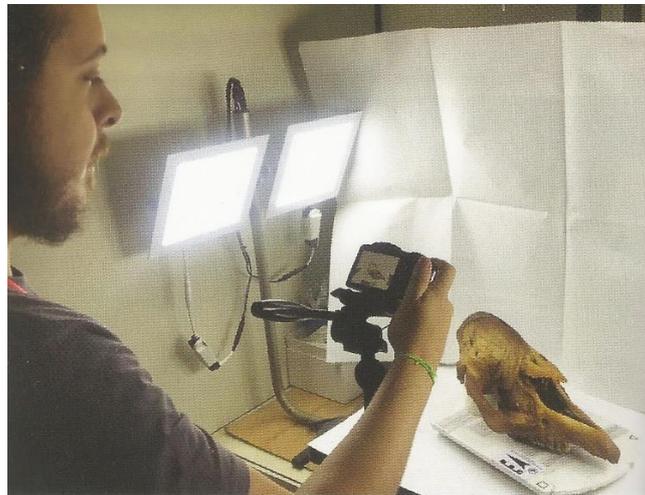


Figura 21: Pesquisador do LAPID/MN fotografando artefato do acervo. Foto: Lopes *et al*, 2019.

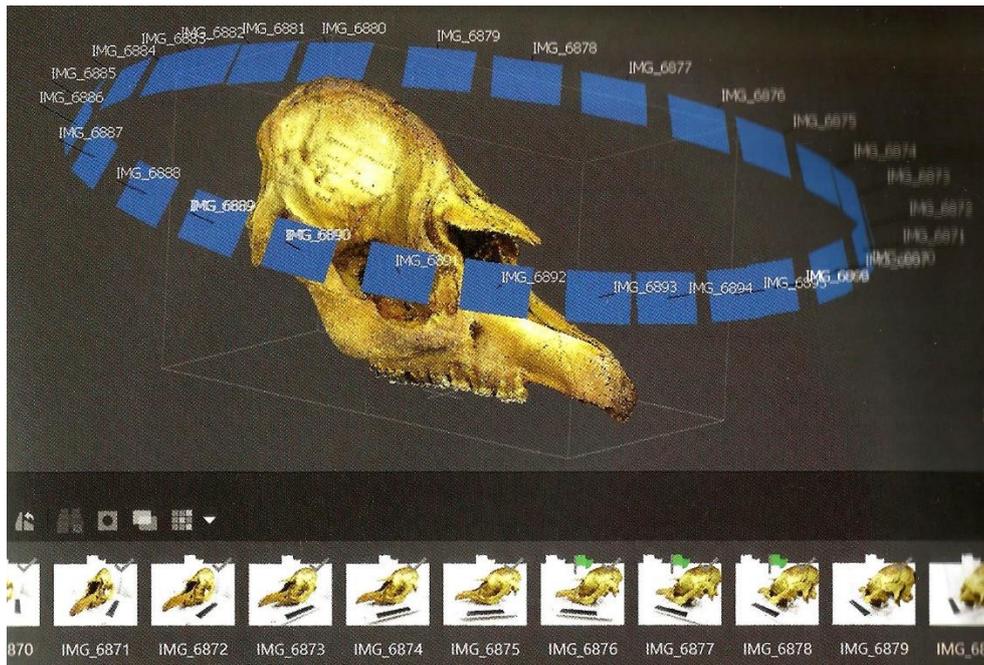


Figura 22: Sequência de imagens utilizadas para fotogrametria. Foto: Lopes *et al*, 2019.

Por trabalhar com fotografias, este processo permite também a captura das texturas e cores dos objetos digitalizados. Outro ponto interessante é o fato desta técnica apresentar o melhor custo benefício entre as formas de captura de superfícies tridimensionais, pois é necessário apenas uma câmera digital comum e um software especializado. Por estes motivos, a fotogrametria é a técnica de captura tridimensional mais utilizada pelos pesquisadores do Museu Nacional para digitalizar os artefatos do acervo.

### 3.1.2. Tomografia

A tomografia é um processo utilizado no campo da medicina diagnóstica para obter imagens das partes internas do paciente (órgãos, ossos e outras estruturas). O equipamento conhecido como tomógrafo emite feixes de raio x, produzindo radiografias transversais. Estas imagens bidimensionais são processadas e combinadas por um software especializado que as transforma em arquivos digitais tridimensionais.

A utilização do tomógrafo para digitalização tridimensional de artefatos históricos é algo mais recente, e se inicia de forma pioneira a nível mundial pela

parceria entre os pesquisadores Sérgio Azevedo do Museu Nacional e Jorge Lopes do Instituto Nacional de Tecnologia.

Os pesquisadores utilizaram um tomógrafo pela primeira vez na história para investigar internamente e digitalizar tridimensionalmente uma múmia egípcia, o caixão de Sha-amun-em-su, parte do acervo do Museu Nacional. O procedimento permitiu descobrir sua estrutura interna de forma não invasiva e não destrutiva, preservando totalmente sua integridade.

Podemos destacar a importância do campo do Design nesta iniciativa, graças ao seu caráter interdisciplinar e naturalidade em se pensar “fora da caixa”, além de conectar diferentes campos de conhecimento, criando esta ponte entre Medicina e Arqueologia através do Design.

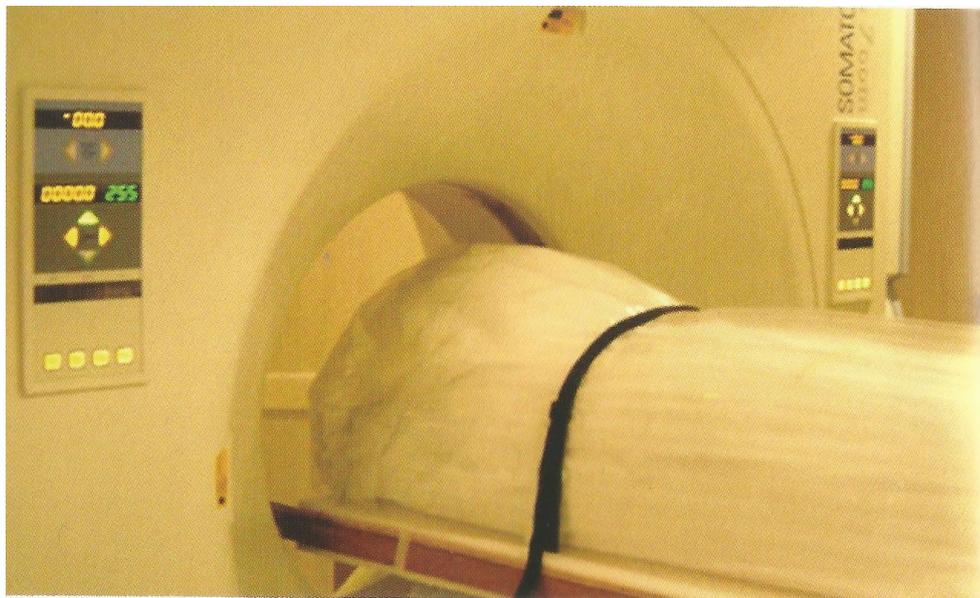


Figura 23: Caixão de Sha-Amun-em-su sendo tomografado. Foto: Lopes *et al*, 2019.

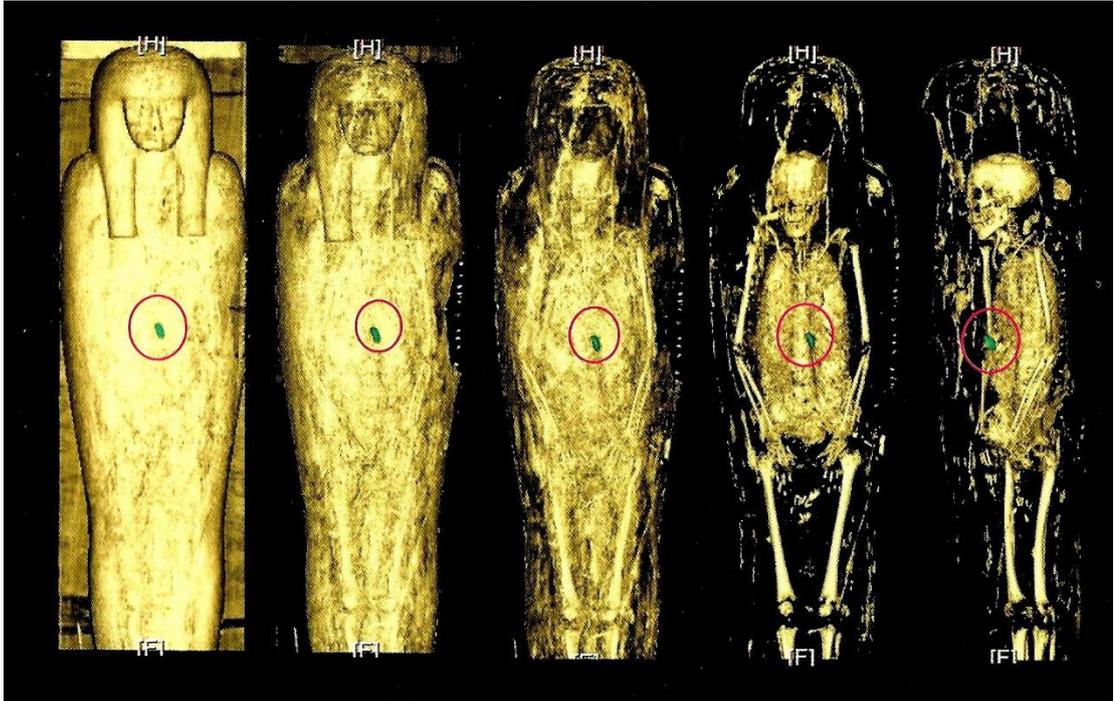


Figura 24: Tomografia do Caixão de Sha-Amun-em-su. Foto: Lopes *et al*, 2019.

Esta investigação interna permitiu a visualização da múmia e seu esqueleto pela primeira vez, já que o caixão estava lacrado, além de possibilitar a descoberta de uma série de amuletos em seu interior. Entre eles o escaravelho coração.

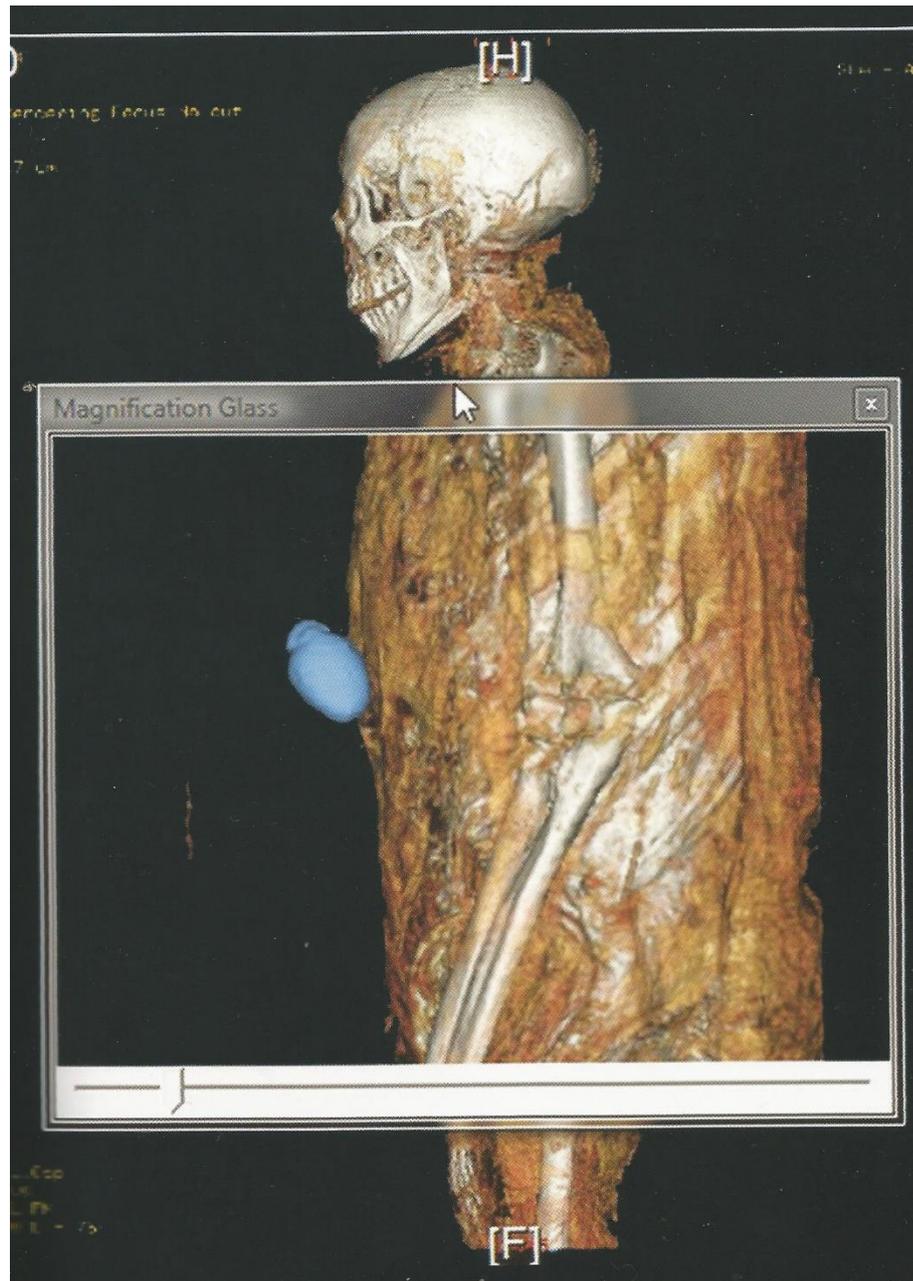


Figura 25: Escarvelho coração dentro do caixão de Sha-Amun-em-su. Foto: Lopes *et al*, 2019.

### 3.2. Processos de Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D, usa o design auxiliado por computador para criar objetos físicos, camada por camada, a partir de modelos digitais tridimensionais. Programas conhecidos como fatiadores (*slicers*) "cortam" modelos CAD em camadas e calculam a maneira como a

impressora 3D irá construir esses modelos, criando códigos de construção que irão controlar uma impressora 3D.

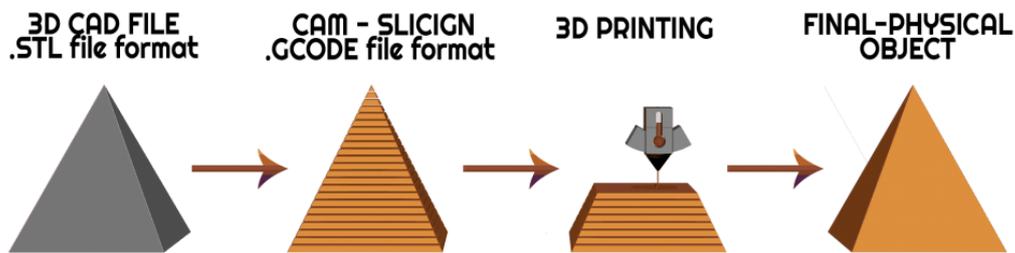


Figura 26: Etapas gerais do processo de manufatura aditiva. Fonte: my3dconcepts.com

A Manufatura Aditiva é na verdade um termo abrangente que engloba um grupo de processos de impressão 3D. A norma ISO/ASTM 52900, criada em 2015, tem como objetivo padronizar a terminologia e classificar cada um dos diferentes tipos de impressoras 3D. No total, nove categorias diferentes de processos de MA foram identificadas. São elas:

1. [\*Stereolithography \(SLA\)\*](#)
2. [\*Digital Light Processing \(DLP\)\*](#)
3. [\*Fused deposition Modeling \(FDM\)\*](#)
4. [\*Selective Laser Sintering \(SLS\)\*](#)
5. [\*Selective Laser Melting \(SLM\)\*](#)
6. [\*Electronic Beam Melting \(EBM\)\*](#)
7. [\*Laminated Object Manufacturing \(LOM\)\*](#)
8. [\*Binder Jetting \(BJ\)\*](#)
9. [\*Material Jetting \(MJ\)\*](#)

De maneira a objetivar este assunto, considerando que a proposta da pesquisa faz uso de algumas tecnologias específicas, primeiro por estarem disponíveis nos laboratórios que deram suporte para a sua realização, segundo pela possibilidade de suas matérias-primas originais serem misturadas as cinzas do MN, iremos descrever e exemplificar apenas as tecnologias utilizadas nas experimentações realizadas.

### 3.2.1.FDM (modelagem por deposição fundida)

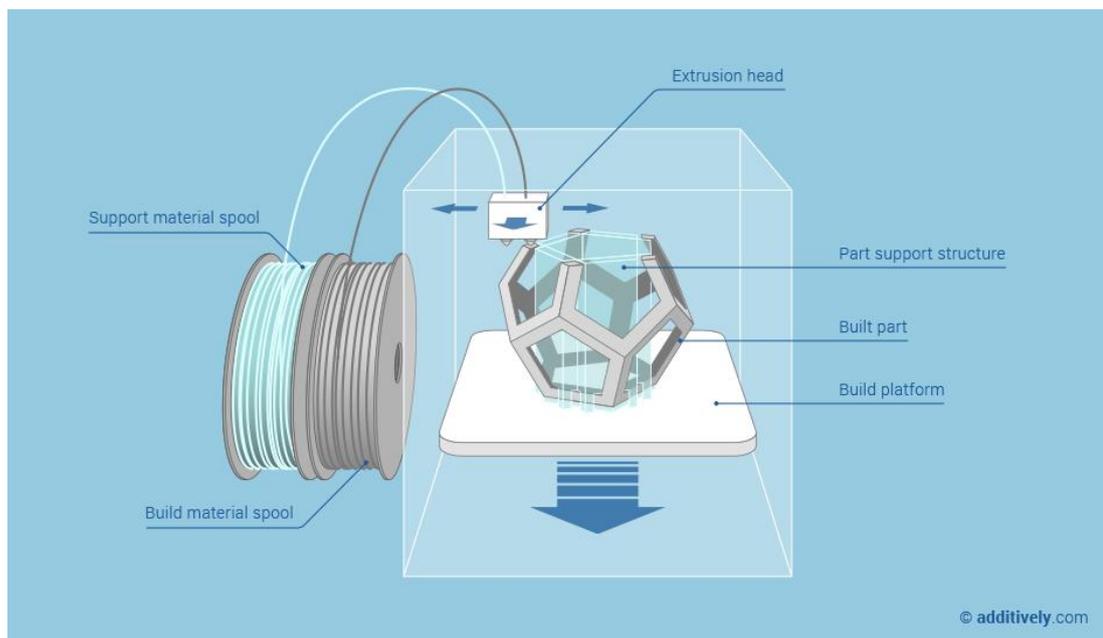


Figura 27: Desenho esquemático do processo de manufatura aditiva FDM. fonte: additively.com

A tecnologia conhecida como FDM, Foi criada em 1989 por Scott Crump, co-fundador da empresa *Stratasys*. O processo consiste na extrusão de material termoplástico em formato de filamento sólido armazenado em carretéis. Esse material é empurrado por um motor através de um bico aquecido que se movimentava nos eixos x e y e assim vai desenhando a camada transversal do objeto a ser construído. Ao passar pelo bico extrusor aquecido o material é derretido e depositado em uma plataforma de construção que se movimentava no eixo Z. Ao sair do bico extrusor o material esfria e volta a se solidificar formando camadas sucessivas sobrepostas.

O processo FDM, embora não tenha sido a primeira tecnologia de impressão 3D inventada, foi a tecnologia que mais se popularizou, sobretudo quanto ao uso doméstico. Isso ocorreu principalmente em função dos preços das máquinas e dos insumos serem consideravelmente mais acessíveis.

Existe uma grande variedade de fabricantes e modelos dessas máquinas, algumas delas com múltiplos bicos extrusores, possibilitando que a impressão dos suportes seja feita em outro tipo de material que é solúvel em água, facilitando de forma considerável sua retirada, e dando um acabamento superficial superior aos objetos impressos. Outra vantagem dos múltiplos bicos extrusores é a possibilidade

de, em um mesmo objeto impresso, se trabalhar com cores ou mesmo materiais de diferentes propriedades.

Existe uma vasta gama de materiais termoplásticos disponíveis comercialmente para essa tecnologia, incluindo uma grande variedade de cores e polímeros com propriedades distintas, como flexibilidade, resistência a tração e a temperaturas, reciclabilidade, transparência entre outras. Os polímeros mais comuns são o PLA, ABS, PET e TPU. Existem também materiais compostos, que misturados a esses polímeros resultam em cargas vegetais, minerais e metálicas, variando ainda mais suas propriedades físicas, como condução de energia e magnetismo, por exemplo, além de trazer outras possibilidades estéticas, como aparência de madeira, ou ainda propriedades sensoriais distintas, como cheiro, textura e temperatura de toque.

### 3.2.2.SLA (Estereolitografia)

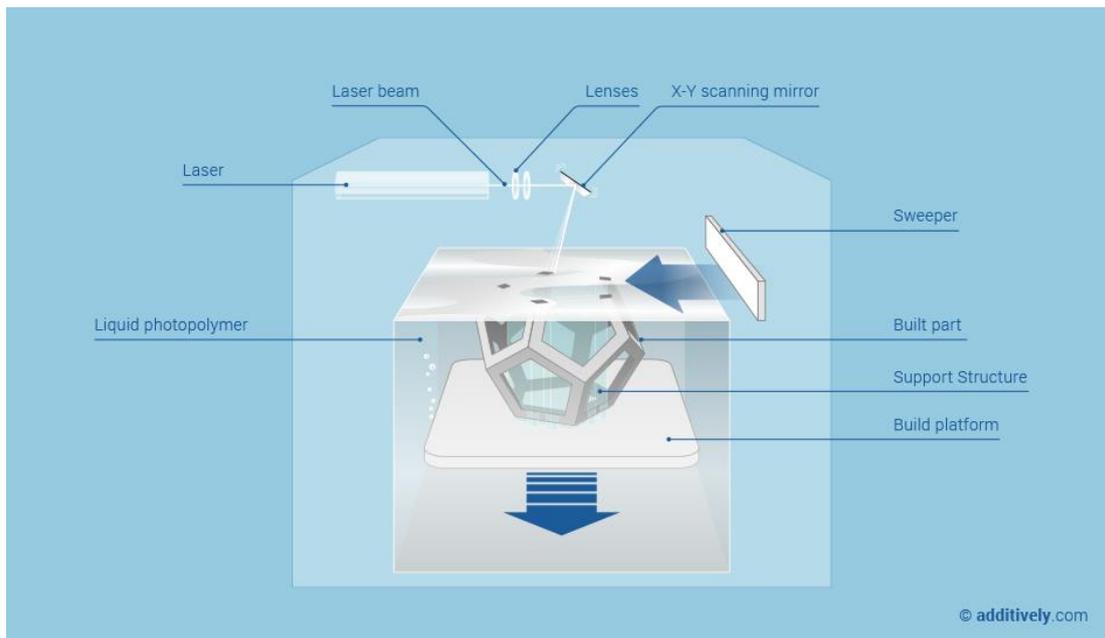


Figura 28: Desenho esquemático do processo de manufatura aditiva SLA. fonte: additively.com

A tecnologia conhecida como estereolitografia (SLA) foi a primeira tecnologia de impressão 3D desenvolvida. Inventada por Chuck Hull em 1986, que registrou uma patente sobre a tecnologia e fundou a empresa *3D Systems* para comercializá-la.

Uma impressora 3D SLA utiliza um canhão de laser refletido por espelhos posicionados nos eixos x e y, que direcionam o feixe de laser através de um tanque de resina líquida, solidificando seletivamente uma seção transversal do objeto onde cada camada ao ser construída se mantém imersa no fundo do tanque de resina. Esse objeto se fixa a uma base de construção que se movimenta no eixo z, construindo sucessivamente cada camada de cima para baixo.

A principal vantagem dessa tecnologia é a qualidade do acabamento superficial das peças. Como as camadas são muito finas, de 20 a 100 microns, quase não são perceptíveis a olho nu e nem ao toque, criando uma superfície contínua e lisa, em que não ocorre o efeito degrau como na tecnologia FDM.

As principais desvantagens ao uso dessa tecnologia são: a fragilidade, não sendo indicadas para confecção de peças mecânicas e que sofrerão esforços físicos; a instabilidade, principalmente quando expostas a luz do sol ou luz UV, pois as peças costumam empenar e deformar facilmente, sobretudo as muito planas e retas.

Outra desvantagem do processo é a necessidade de utilização de suportes para estruturar a construção das peças, e o fato destes suportes serem do mesmo material das peças. Isso obriga, necessariamente, que a retirada dos suportes seja feita de forma manual, o que, a depender da geometria da peça, pode tornar o processo trabalhoso.

Outro aspecto negativo são os altos custos das máquinas e dos insumos, o que explica o fato de, mesmo tendo sido a primeira tecnologia criada, não ter se popularizado tanto quanto a tecnologia FDM, principalmente para um uso doméstico.

Por fim, os elevados tempos de impressão devido ao fato dessa tecnologia utilizar um laser pontual, e para solidificar uma área maciça, esse laser tem que fazer uma varredura de preenchimento, o que aumenta consideravelmente o tempo de cada camada quando comparado ao DLP, que será visto a seguir.

### 3.2.3.DLP (processamento digital de luz)

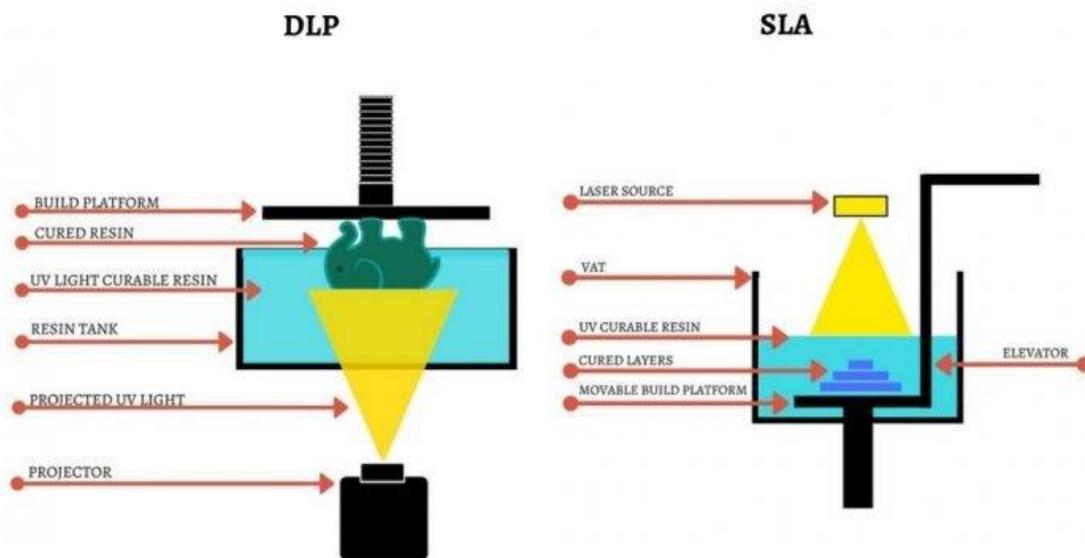


Figura 29: Comparativo entre os processos de MA, DLP e SLA. Fonte: manufactur3dmag.com

A primeira impressora 3D DLP foi desenvolvida no ano 2000 por Al Siblani e seu sócio Alexandr Shkolnik, fundadores da empresa *EnvisionTEC*. Dois anos depois, a empresa lançou no mercado a primeira máquina DLP, a impressora 3D *Perfactory*.

O processo DLP é quase idêntico ao SLA, com a estrutura das máquinas bastante similar, e ambas utilizam resinas fotopolimerizáveis como material de construção. A principal diferença entre esses tipos de tecnologia de impressão 3D é a fonte de luz utilizada para sinterizar a resina. Enquanto as impressoras SLA usam um laser pontual refletido por espelhos, as impressoras DLP utilizam uma fonte de luz ultravioleta que atravessa uma tela LCD posicionada logo abaixo do tanque de resina.

Esta tela LCD funciona como uma espécie de máscara que delimita o formato da luz que entrará em contato com a resina, desenhando a camada transversal do objeto de uma só vez, em uma espécie de flash temporizado de luz UV.

A grande vantagem do processo DLP em comparação ao SLA, é que o tempo de impressão de cada camada, e, conseqüentemente, o tempo total de impressão do objeto, é consideravelmente menor, uma vez que no processo SLA o

laser faz uma varredura para preencher a camada, enquanto no processo LCD a camada é impressa inteira.

Uma analogia que ajuda a entender essa comparação seria imaginar dois quadrados brancos a serem pintados. No processo SLA você usaria uma caneta hidrográfica para ir preenchendo ele aos poucos, enquanto no processo DLP você utilizaria um carimbo no formato exato do quadrado para preenche-lo de uma só vez.

Uma possível desvantagem na comparação, seria o fato da tela digital de LCD estar sujeita a níveis de resolução, a imagem de cada camada é composta por pixels quadrados, resultando em uma camada formada a partir de pequenos blocos retangulares chamados voxels.

Ao passo que o processo a laser é puramente ótico, existem alguns estudos que sugerem que o processo SLA daria uma qualidade melhor a superfície da peça impressa, e, muito provavelmente nas primeiras máquinas lançadas no mercado, isso deveria ser mais significativo. Da mesma forma que as primeiras máquinas de fotografia digital (imagem formada por pixels) tinham uma qualidade de imagem inferior se comparada as máquinas tradicionais analógicas (imagem ótica). Mas com o avanço da tecnologia essa diferença se tornou imperceptível.

### 3.2.4. BJ (Binder Jetting)

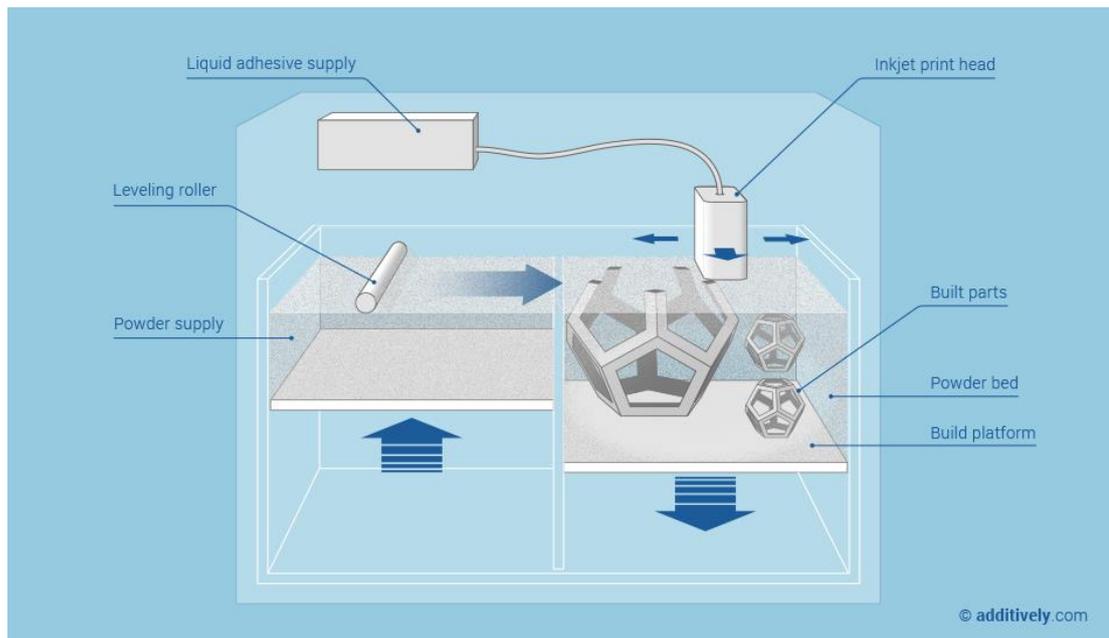


Figura 30: Desenho esquemático do processo de manufatura aditiva BJ. fonte: [additively.com](http://additively.com)

A tecnologia conhecida como *Binder Jetting* foi originalmente desenvolvida em 1993 pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Dois anos depois, a empresa americana *Z Corporation* adquiriu os direitos dessa tecnologia para utilização de materiais poliméricos (principalmente gesso). Anos mais tarde, a empresa *3D Systems* adquiriu a *Z Corporation*, e passou desde então a comercializar essa tecnologia, dando um passo significativo para se tornar um dos principais expoentes da indústria de impressoras 3D.

O *Binder Jetting* é um processo de impressão 3D em que um agente aglutinante líquido é borrifado através de cabeças de impressão de impressoras 2d jato de tinta convencionais, que se movimentam nos eixos x e y, ligando seletivamente partículas de pó em uma região pré-estabelecida sobre uma placa de construção que se movimenta no eixo Z.

O processo se inicia com uma fina camada de pó depositada sobre a placa de construção, e, em seguida, a cabeça de impressão deposita o líquido aglutinante desenhando seções transversais do objeto construído sobre essa camada de pó. A placa de construção abaixa e uma espécie de régua arrasta mais uma camada de pó cobrindo a camada recém impressa. O processo se repete sucessivamente camada

após camada, de maneira que no final da impressão o objeto construído fica totalmente recoberto sobre o pó na cuba de construção.

O objeto é então deixado no pó para secar e ganhar resistência durante algumas horas. Em seguida, a peça é retirada do leito e qualquer pó não ligado é removido manualmente com a utilização de pincéis e um aerógrafo de ar comprimido.

Existem modelos dessas máquinas que trabalham com múltiplas cabeças de impressão, o que possibilita a impressão de objetos coloridos com a utilização de líquidos aglutinantes CMYK (como impressoras 2D jato de tinta), ou mesmo se utilizando da própria tinta dos cartuchos coloridos de impressoras jato de tinta para tingir o aglutinante transparente.

Entre as vantagens desse processo estão a velocidade de impressão e o fato de não ser necessário a criação de suportes para estruturar a construção dos objetos impressos. Isso se dá em função do preenchimento total da cuba de impressão pelo material, de maneira que o pó não aglutinado proporciona a estruturação necessária para suporte das peças.

As desvantagens são a fragilidade do objeto construído após o processo de impressão e, principalmente, durante o processo de limpeza, feito manualmente e exige uma manipulação cuidadosa da peça. Após esse processo, as peças podem ser infiltradas com resinas que aumentam significativamente sua resistência. Para tal, as resinas mais comuns utilizadas são o cianoacrilato e resinas de base epóxi.

Uma característica do processo é que as camadas são relativamente finas (aproximadamente 100 microns) e praticamente não geram o efeito degrau como no processo FDM. Porém os objetos impressos têm um aspecto arenoso e de superfície áspera, o que dificulta processos posteriores de acabamento e pintura.

Outro ponto interessante dessa tecnologia é a possibilidade de utilização de materiais alternativos no processo de impressão. Existem empresas como Tethon 3D que comercializam uma gama de materiais argilosos em pó desenvolvidos para utilização nessa tecnologia.

### 3.3. Processo de digitalização tridimensional do acervo do Museu

Como já visto, o trabalho de digitalização tridimensional do acervo do Museu Nacional se inicia no ano 2000 pelo Laboratório de Processamento de Imagem Digital (LAPID) do Museu Nacional-UFRJ, coordenado pelo Professor Sérgio Alex Kugland de Azevedo, em parceria com o Laboratório de Modelos Tridimensionais (LAMOT) do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), coordenado a época pelo Professor Jorge Roberto Lopes dos Santos. Posteriormente, soma-se a essa parceria o Núcleo de Experimentação Tridimensional (NEXT), Laboratório híbrido do programa de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio. O campo do Design é importante nessa iniciativa devido ao seu caráter interdisciplinar, direcionamento projetual na busca por solucionar problemas e conectar diferentes áreas de conhecimento.

Os arquivos tridimensionais dos artefatos do acervo do MN utilizados por essa pesquisa foram cedidos pelo pesquisador Sérgio Azevedo, coordenador do LAPID/MN. Esses arquivos, em sua maioria, foram obtidos antes do incêndio e muitos dos artefatos originais se perderam neste episódio, restando apenas seus arquivos digitalizados. Este fato torna ainda mais relevante o trabalho desenvolvido pelo laboratório.

O trabalho de captura tridimensional realizado pelo LAPID não se resume apenas aos artefatos do acervo do MN. O laboratório já digitalizou a fachada do edifício histórico do museu, estátuas, sítios arqueológicos e até mesmo ilhas inteiras, numa grande contribuição para o meio científico em diversas áreas de pesquisa.

Alguns destes arquivos podem ser visualizados tridimensionalmente na página do laboratório ([sketchfab.com/lapid.mn](http://sketchfab.com/lapid.mn)). Abaixo alguns exemplos.

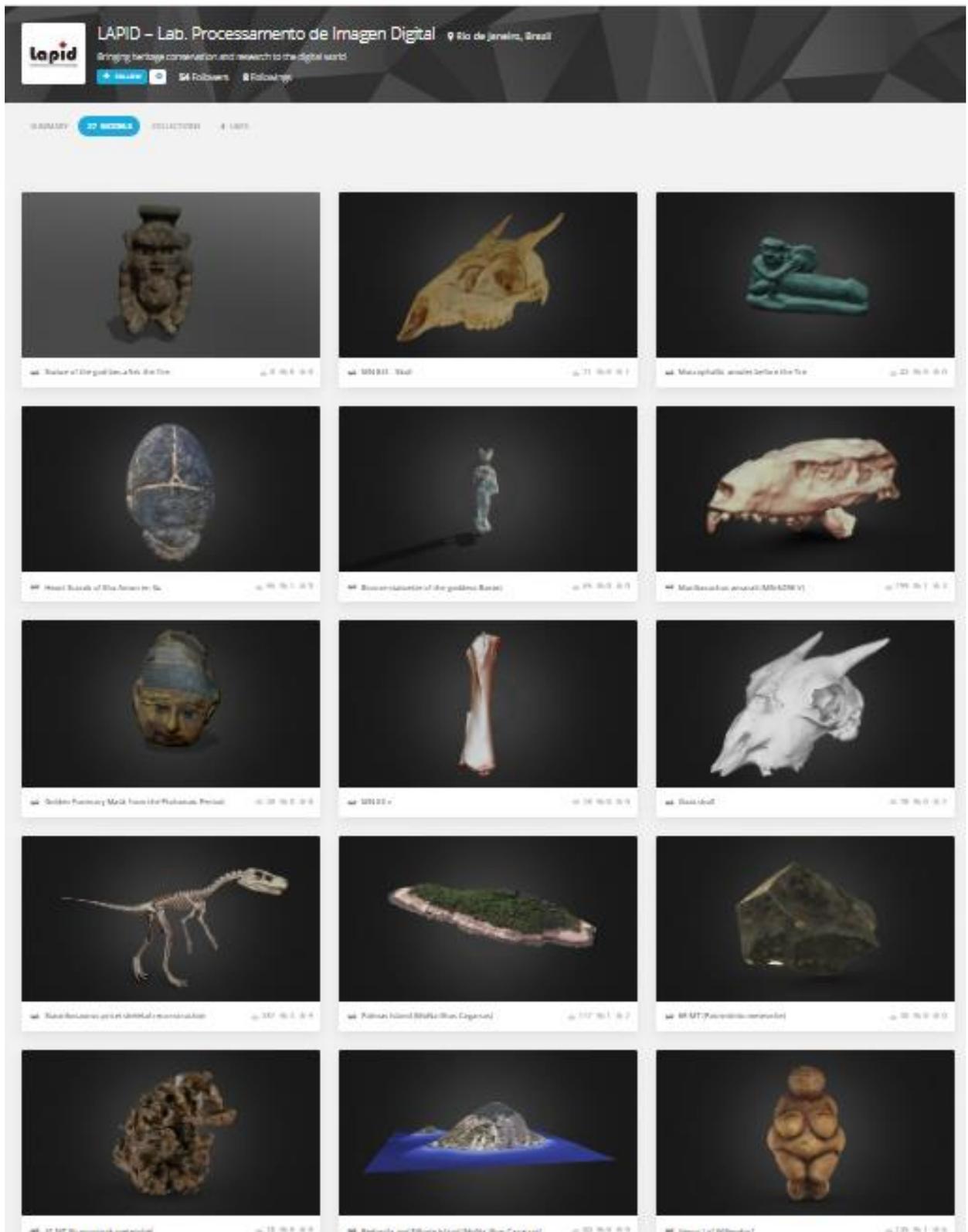


Figura 31: Página do laboratório Lapid / MN. Fonte: [sketchfab.com/lapid.mn](https://sketchfab.com/lapid.mn).

Entre os artefatos digitalizados, um que merece destaque é o amuleto escaravelho coração de Sha-Amun-en-su. Ao contrário da maioria dos artefatos que foram digitalizados previamente e perdidos no incêndio. Este amuleto foi achado e

digitalizado com precisão, justamente em função do próprio incêndio, pois o escaravelho coração ficava dentro do caixão lacrado da múmia de Sha-Amun-en-su.



Figura 32: Amuleto escaravelho coração de Sha-Amun-en-su. Foto: Lapid/MN.

Desta forma, nenhum pesquisador, nem mesmo algum outro ser humano vivo havia visto este artefato, já que ele ficou dentro do caixão por milhares de anos, passando a fazer parte do acervo como item individual após o incêndio, ao ser encontrado nas operações de resgate, em função do caixão ter sido destruído pelo fogo.

O escaravelho coração é um dos amuletos funerários egípcios de maior importância. Posicionados na região torácica da múmia, eram associados ao deus solar Khepri e tinham a função de garantir que o morto chegasse ao mundo inferior sem contratempos, bem como impedir que seu coração se levantasse contra ele em falso testemunho (BUFFA, 2009).

Com uma história tão singular, e por pertencer a cultura egípcia, este amuleto é um dos destaques entre os artefatos recriados por esta pesquisa. Sua

recriação inclusive é feita com as cinzas da própria sala do Egito do Museu Nacional.

## 4 Recriando com cinzas

Após o incêndio, as equipes de resgate se depararam com uma pilha de escombros carbonizados, referente a três andares compactados. As peças maiores e identificáveis como parte do acervo foram separadas e classificadas. Já pedaços da estrutura do prédio (vigas, lajes, assoalho e telhado), mobiliário e partes de equipamentos, foram retirados e separados para descarte.



Figura 33: Pesquisadora Ângela Rabelo trabalhando no resgate. Foto: arquivo Museu Nacional.

Conforme as partes maiores eram retiradas, sobraram grandes montes de detritos menores, que aos poucos foram peneirados. Os fragmentos retidos nessas peneiras são investigados de forma mais criteriosa, na busca por possíveis fragmentos que possam pertencer a alguma peça do acervo. Tudo que passa pela peneira com abertura de malha de 3mm é considerado resíduo para descarte. Embora esse material também contenha partículas pertencentes a peças do acervo, pelo seu tamanho ínfimo (menos de 3mm), são tratados como partes indistinguíveis

quanto a sua origem e possível pertencimento a alguma peça do acervo. Dessa forma, são considerados resíduos para descarte.

Quando descobrimos que o destino dos resíduos seria o lixão, ficamos com muita pena de jogar fora aquilo que fazia parte da estrutura do prédio, as madeiras, os telhados, os armários. Tem um lado emocional muito grande trabalhar com o que sobrou da estrutura do museu. É um patrimônio da humanidade queimado, não é um lixo comum. É difícil você ver o local onde trabalhou a vida toda queimar em um dia (AZEVEDO, 2019, p.11)<sup>12</sup>.

Sérgio passou a coletar parte desse material, pedaços de vigas carbonizadas de madeira Pinho de Riga (madeira nobre que não é mais comercializada nos dias atuais por ser uma árvore em extinção), partes do assoalho, mobiliário histórico, partes metálicas retorcidas pelo calor do incêndio e pelo desabamento, alguns detritos menores e cinzas. Materiais com grande valor histórico, sentimental e sobretudo simbólico. Assim, o professor Sérgio os recolheu, ainda sem saber exatamente o que fazer com eles, mas enxergando um potencial de trabalhar esse material de alguma forma.

Posteriormente, em conversas com o professor Jorge Lopes, buscaram formas de trabalhar com esses materiais. Numa dessas conversas surgiu a ideia de utilizar o material mais fino (as cinzas) como carga a ser misturada a uma resina fotossensível, em um processo de impressão 3D conhecido como SLA.

Como pesquisador do núcleo de experimentação tridimensional (NEXT/PUC-Rio) e ex-bolsista CNPQ do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), comecei a participar destes experimentos. Desta forma, fui convidado pelo professor Jorge a direcionar minha pesquisa para a continuação e ampliação desses experimentos.

#### **4.1.O material**

O material investigado por essa pesquisa é constituído por resíduos carbonizados do incêndio que destruiu a estrutura interna e a maior parte do acervo do Museu Nacional. A utilização do termo “cinzas” de forma genérica para esse resíduo se dá de maneira coloquial com o intuito de facilitar a compreensão do tema.

---

<sup>12</sup> Entrevista do professor Sérgio Alex Kugland de Azevedo à Revista Faperj. Disponível em [http://www.faperj.br/downloads/revista/rio\\_pesquisa\\_46\\_2019.pdf](http://www.faperj.br/downloads/revista/rio_pesquisa_46_2019.pdf)

Em função da diversidade do acervo, o material é composto tanto por objetos de origem natural –como esqueletos, fósseis, conchas, animais empalhados e rochas–, quanto por artefatos criados pelo homem em diversos materiais –como madeira, cerâmica, tecido, papel, metais e resinas–, somados a estrutura do edifício e seus acabamentos, mobiliário e equipamentos modernos.

Podemos compreender que, na verdade, essas cinzas são uma grande mistura de diferentes materiais, o que torna praticamente impossível a identificação de sua origem exata, de quais objetos eles pertenciam originalmente. Porém, em função da localização interna no museu de onde essas cinzas foram encontradas, observa-se algumas diferenças nesse material.



Figura 34: Alguns tipos de cinzas encontradas em áreas diferentes do museu. Foto: Autor

Na imagem acima se apresentam algumas variações de cinzas encontradas em áreas correspondentes a salas diferentes do museu. São elas, da esquerda para direita: paleovertebrados região de Araripe; paleovertebrados setor de mamíferos; sala do Egito; sala onde funcionava o laboratório Lapid, e, o armário onde ficava o crânio da Luzia. Podemos observar claramente que existem diferenças na coloração e no tamanho das partículas, se tratando, assim, de materiais diferentes.

As cinzas específicas que foram investigadas pela pesquisa são as encontradas na sala do Egito. Esse material foi cedido pelo professor Sergio Azevedo, pesquisador do Museu Nacional. Essa escolha se deu pelo fato de ser a área do museu em que o pesquisador Sergio e sua equipe trabalharam durante as atividades de resgate, e dessa forma foi o material que ele coletou em maior quantidade.



Figura 35: Cinzas encontradas na sala do Egito. Foto: Autor

#### **4.2. A camada física: analisando o material**

O material visualmente tem um aspecto arenoso, com partículas de concreto, detritos de madeira carbonizada e uma espécie de poeira bem fina de cor cinza, bastante leve que permeia e se aglutina na superfície dos demais fragmentos, e que se levanta facilmente no ar. É possível perceber também, em menor quantidade, partículas de brilho metalizado nas cores dourado e prata.

#### **4.3. O Primeiro contato é lúdico**

O corpo, antes mesmo de chegar a pensar, é sempre um organismo sensivelmente experimentador (EAGLETON, 1993, p. 20)

O processo se inicia de forma manual e empírica, movido pela curiosidade, observando e manipulando o material com as mãos, ganhando um aprendizado tátil e físico de como o material e suas diferentes partículas se comportam ao ser manipulado. Um processo criativo, bastante lúdico e que pode até mesmo aparentar uma certa ingenuidade, pois em princípio o que importa não é a composição do material, mas com o aprendizado de como ele se comporta e se apresenta fisicamente.

Essa é uma abordagem fenomenológica que acredito trazer um conhecimento quanto a natureza de como o material é na realidade. Talvez uma metodologia um tanto particular de minha personalidade que me acompanha desde a infância e do meu processo criativo, ou talvez oriundo da formação em Design. Essa particularidade traz uma característica de pesquisa-ação para o trabalho, pois existe uma forte intervenção de aspectos particulares do pesquisador no objeto pesquisado.

Acredito que esse processo traga percepções, que muitas vezes não se dão de forma tão clara e mensurável. São quase como um conjunto de sensações aprendidas no processo de manipular a matéria, o que, por sua vez, gera um aprendizado um tanto subjetivo e difícil de ser descrito, no qual o conhecimento aprendido se dá mais como um sentimento. Isso pode parecer demasiadamente etéreo e pouco científico como método, mas do ponto de vista criativo, gera um conhecimento tácito inicial que só a prática possibilita. Um aprendizado do fazer e do sentir.

Realizei pequenas experimentações de mistura com resinas e outros aglutinantes, observando o comportamento e vendo que algumas partículas mais pesadas se aglomeravam no fundo da mistura, enquanto outras mais leves flutuavam na mistura de resina, se acumulando na superfície. É possível observar na imagem abaixo um exemplo destas experimentações em que foram utilizadas tamanhos de partículas diferentes misturadas a resina epóxi.



Figura 36. Resina epóxi misturada com diferentes tamanhos de partículas. Foto: Autor.

#### 4.4. Pré-processamento

As cinzas chegaram bastante úmidas em função da água de rescaldo do incêndio e pelo fato de ter ficado exposta a intempérie. Essa umidade, além de alterar consideravelmente o peso do material (em torno de 75%) e dessa forma prejudicar a medição da proporção de cada material nas misturas, também seria problemática em outros sentidos, dificultando a homogeneização das misturas e gerando bolhas que fragilizam e prejudicam o acabamento das peças.

O primeiro passo foi secar esse material espalhando-o em bandejas metálicas em um forno elétrico a 80°C por volta de seis horas. Após essa secagem foi possível perceber que o material ficou com uma coloração mais clara, mais leve e as partículas mais soltas.

As partículas dessas cinzas obtidas são relativamente pequenas (3mm) se comparadas ao tamanho geral dos escombros, das peças da coleção ou mesmo de seus fragmentos identificáveis. Porém, quando analisadas como material a ser misturado a demais matérias-primas convencionais de Manufatura Aditiva, seu tamanho é consideravelmente grande, e logo foi percebida a necessidade de reduzir essas partículas para se obter misturas homogêneas com os diversos materiais tradicionalmente utilizados nas tecnologias experimentadas, criando compósitos passíveis de utilização nos seus respectivos processos.

Para diminuir essas partículas, nos testes iniciais foi utilizado um pilão manual de cerâmica. Ao dar prosseguimento aos experimentos, logo foi percebida a necessidade de otimizar esse processo, tornar as partículas mais homogêneas e aumentar o volume e a velocidade de preparo do material. Para isso foi utilizado um equipamento de moagem industrial conhecido como moinho de esferas.



Figura 37: Moinho de esferas. Foto: Autor.

O equipamento utilizado foi o modelo MA500 Marconi, emprestado pelo Laboratório de Tecnologia de Pós (LATEP) do INT. O equipamento consiste em um recipiente cerâmico cilíndrico no qual é colocado o material a ser moído juntamente com esferas cerâmicas de tamanhos variados.



Figura 38: Recipiente do moinho com esferas e cinzas. Foto: Autor

Esse recipiente é fechado e colocado sobre dois roletes giratórios que irão rotacionar o recipiente, fazendo com que as esferas ao se chocarem umas às outras

e com a parede do recipiente quebrem as partículas do material, progressivamente, transformando-as em pó. O tempo aproximado de moagem foi de seis horas.



Figura 39: Cinzas após moagem. Foto: Autor.

Podemos observar na imagem acima uma redução significativa no tamanho das partículas após seis horas de moagem. O material visivelmente possui um aspecto mais refinado, semelhante a um pó.

Ainda assim podemos observar uma variação no tamanho dessas partículas –principalmente quando manipuladas – em alguns dos processos experimentados como no caso da massa argilosa. Essa variação é considerada positiva, pois gera uma maior estruturação da massa e reduz a propagação de rachaduras. Mas para a criação do filamento, o ideal é que essas cinzas tivessem um tamanho de partícula mais preciso e controlado para facilitar a mistura e fusão ao termoplástico.

Para se ter um maior controle do tamanho dessas partículas foi utilizado um equipamento conhecido como agitador de peneira, que consiste em uma base vibratória com controle de intensidade e um temporizador. Sobre essa base são colocadas diversas peneiras com aberturas de malhas diferentes, dispostas de cima para baixo, das malhas maiores até a menor, conforme a imagem abaixo.

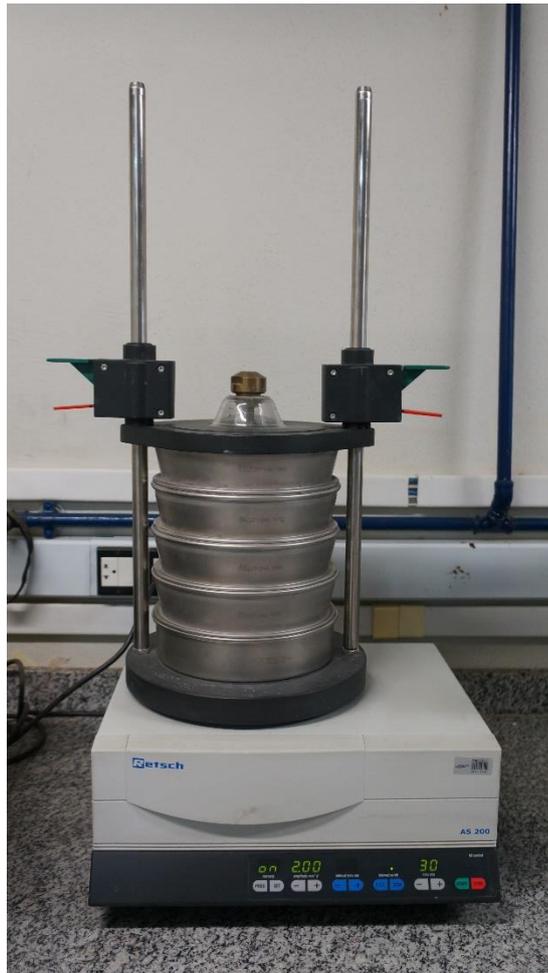


Figura 40: Agitador de peneiras. Foto: Autor.

O equipamento utilizado foi o modelo Retsch AS200, emprestado pelo Laboratório de Tecnologia de Materiais Poliméricos (LAMAP) do INT. As peneiras utilizadas foram de 150, 90, 45 e 20 micrômetros.

Foi observado que após a diminuição das partículas, as cinzas ficam mais suscetíveis a absorção de umidade atmosférica, o que altera seu peso e dificulta a homogeneização da mistura com os diferentes polímeros. Para evitar este problema, antes de serem misturadas aos polímeros se fez uma segunda secagem em estufa a 60° por 12 horas, tanto das cinzas quanto dos polímeros utilizados na mistura.

A temperatura mais baixa, tem o objetivo de evitar que ocorra alguma alteração nas partículas dos materiais poliméricos que poderiam se fundir em temperaturas maiores. O tempo de secagem superior é necessário pelo fato dos materiais poliméricos perderem umidade de forma mais lenta.

O recomendado é que se faça estas misturas logo após o processo de secagem. Caso não seja possível, é interessante guardar os materiais em recipientes

hermeticamente fechados ou ambientes com umidade controlada para evitar que voltem a absorver umidade atmosférica.

Assim, na tabela abaixo apresenta-se uma sequência de pré-processamento das cinzas para a realização dos experimentos. Os processos, tempos e temperaturas utilizados foram sugeridos por profissionais técnicos dos laboratórios que cederam o uso dos equipamentos e auxiliaram na realização das atividades. Após testes e adaptações chegou-se a essa sequência que se mostrou eficiente para as diversas misturas.

Étapas	Processos utilizados	Duração
1	Secagem em forno elétrico a 80°.	6 horas
2	Diminuição das partículas em moinho de esferas.	6 horas
3	Seleção de tamanhos de partículas por agitador de peneiras.	2 horas
4	Secagem em estufa a 60°.	12 horas
5	Mistura das cinzas com outros materiais por misturador Y.	2 horas

Tabela 1: Sequência de pré-processamento do material.

#### 4.5. Métodos e processos utilizados

A metodologia de experimentação utilizada é descrita por Sims (2013) em seu livro *How Breakthrough Ideas Emerge from Small Discoveries*. O conceito descrito na obra, como pequenas apostas, é o de criação de uma série de pequenos experimentos pouco custosos no sentido de abrir um leque de experimentação para saber o que vai dar certo.

A metodologia adotada se opõe à de grandes apostas, em que se gasta uma quantidade considerável de tempo e recursos em uma única idéia rígida, e espera que ela dê certo de qualquer jeito, embora nunca se sabe se irá dar certo ou não até fazer.

Nas pequenas apostas, se diversifica as possibilidades: se alguma delas não der certo, não há problema, uma vez que o custo não foi tão significativo. Ao passo que alguma destas pequenas apostas se mostre promissora, passa-se a investir mais tempo e recursos nelas, com conseqüente aprimoramento.

Dessa forma, quanto maior a quantidade de pequenas apostas, maior a chance de alguma delas se mostrar promissora. Por essa razão a pesquisa abre três caminhos de experimentação diferentes, mesmo que avance alguns passos em cada uma das linhas.

Caso optasse por desenvolver apenas uma linha, provavelmente se teria um avanço maior nela, porém, sem saber se ela iria dar certo ou não, o que poderia resultar em uma grande perda de tempo e recursos.

Conforme alguma destas pequenas apostas se mostrem promissoras, são selecionadas, passando-se a dedicar a elas mais atenção e recursos, avançando pequenos passos de cada vez nas direções que forem se mostrando mais interessantes. Com o tempo, a ideia é que alguma destas pequenas apostas se transforme em uma grande descoberta.

Esta metodologia focada na experimentação prática e no empirismo, mais do que aspectos demasiadamente teóricos e tecnicistas, vai de acordo com o caráter experimental e exploratório dos laboratórios onde a pesquisa foi realizada. O foco principal da atividade, por mais que envolva diversos conceitos e processos, está na materialização física tridimensional de objetos.

Podemos entender também, como uma metodologia de design projetual, de geração de alternativas, para que em algum momento futuro se possa escolher uma delas para prosseguir. Com isso, esta pesquisa se caracteriza como uma *pesquisa através do design* (FRAYLING, 1994).

A escolha dos processos de MA a serem experimentados se deu principalmente por dois fatores: (1) a disponibilidade dessas tecnologias nos laboratórios que serviram de base para a realização da pesquisa, e; (2) a possibilidade de utilização das cinzas do MN serem misturadas as matérias primas originais normalmente utilizadas nesses processos.

#### **4.6. Peças do Acervo reproduzidas**

As peças reproduzidas nos experimentos fazem parte do acervo digital tridimensional do MN, elaborado desde os anos 2000 pelo LAPID em parceria com o INT e a PUC-Rio, e que atualmente possui centenas de peças. A escolha das peças se deu principalmente pela viabilidade técnica em função da geometria do arquivo

3D e sua viabilidade de materialização devido as características dos processos de MA utilizados para cada linha de experimentação.

Outro aspecto de escolha relevante em alguns casos, foi em função da similaridade entre o material, ou processo de criação da peça original, e os materiais e o processo das experimentações, principalmente no caso da linha de experimentação em massa argilosa, em que a maioria das peças originais também foram feitas de algum tipo de argila.

Foram propositalmente escolhidos poucos exemplares como modelos para eliminar algumas variáveis de geometria das peças que poderiam ser limitantes nos processos, e assim direcionar o foco das experimentações no desenvolvimento destes processos.

#### **4.7. Experimentação em Manufatura Aditiva**

Conforme citado anteriormente, a ideia de utilizar as cinzas do Museu Nacional aplicadas a tecnologias de impressão 3D não foi uma associação inédita desta pesquisa. Essa experiência foi iniciada pelos pesquisadores Jorge Lopes (PUC/INT) e Sergio Azevedo (Museu Nacional). Assim sendo, a pesquisa aqui exposta, se apresenta como uma continuidade e expansão dessa experimentação.

Desta forma, primeiramente se apresenta as experimentações realizadas previamente pelos pesquisadores e seus respectivos laboratórios, de maneira a situar o contexto inicial que serviu como base para o desenvolvimento desta pesquisa, e, principalmente, esclarecer o que havia sido feito previamente, constituindo uma contribuição inédita desta pesquisa.

Nos experimentos iniciais realizados anteriormente, as cinzas utilizadas foram um pouco diferentes, se tratando de fragmentos de carvão apenas. Estes fragmentos foram moídos manualmente em um pilão de cerâmica e transformados em pó, misturado a uma resina transparente fotossensível própria para utilização na tecnologia de impressão 3D SLA.

Pela forte coloração preta desse pó de carvão, ao ser misturado a resina líquida transparente rapidamente saturava a mistura quanto a sua cor. Dessa forma, a quantidade de cinzas de carvão necessária era muito pequena.



Figura 41: Experimentação no processo SLA feita previamente pelos pesquisadores. Foto: Revista FAPERJ nº46. 2019, Jorge Lopes.

Na imagem acima é possível observar uma destas experimentações originais com as cinzas misturadas a uma resina líquida fotopolimerizável no processo SLA. O experimento foi realizado pelos pesquisadores Jorge e Sérgio e suas respectivas equipes. A esquerda a peça sendo impressa pela máquina, e a direita a peça já pronta.

Esses experimentos iniciais tiveram grande repercussão midiática e foram temas de diversas reportagens em veículos de comunicação nacionais e internacionais. Isso deu origem a uma série de iniciativas de exploração do uso das cinzas do museu.

Podemos citar como exemplos, dentre vários, o trabalho do artista plástico Vik Muniz, que se utilizou das cinzas para fazer desenhos de peças do acervo; a criação de instrumentos musicais pelo luthier Davi Lopes, com restos de madeira queimada da estrutura do prédio; o trabalho das artistas Isabella Aurora e Ariane Jouhaud, que utilizaram as cinzas do museu para criar um diamante artificial; o trabalho do estúdio belga Unfold, que propôs uma chamada aberta a outros participantes de reinterpretar e recriar um vaso peruano da cultura Chimú, pertencente ao acervo do museu, utilizando impressão 3D em cerâmica.

Para as experimentações realizadas nesta pesquisa, buscou-se seguir caminhos diferentes dos até então realizados, seguindo três linhas principais de

experimentação com a utilização de processos diferentes de Manufatura Aditiva, o que resultou no desenvolvimento de (1) filamento termoplástico extrudado para utilização no processo FDM; de uma (2) massa argilosa em pó para utilização no processo BJ e, na (3) utilização do processo DLP para impressões de matrizes para a produção de moldes em vácuo formagem, e utilização de resina epóxi e cinzas em detritos maiores.

#### 4.7.1. Filamento termoplástico para processo FDM

Para a criação de um filamento composto extrudado foram testados dois polímeros diferentes: Polipropileno (PP) em pellets e Poliamida em pó (Nylon), ambos misturados a cinzas peneiradas a 45 micrometros.

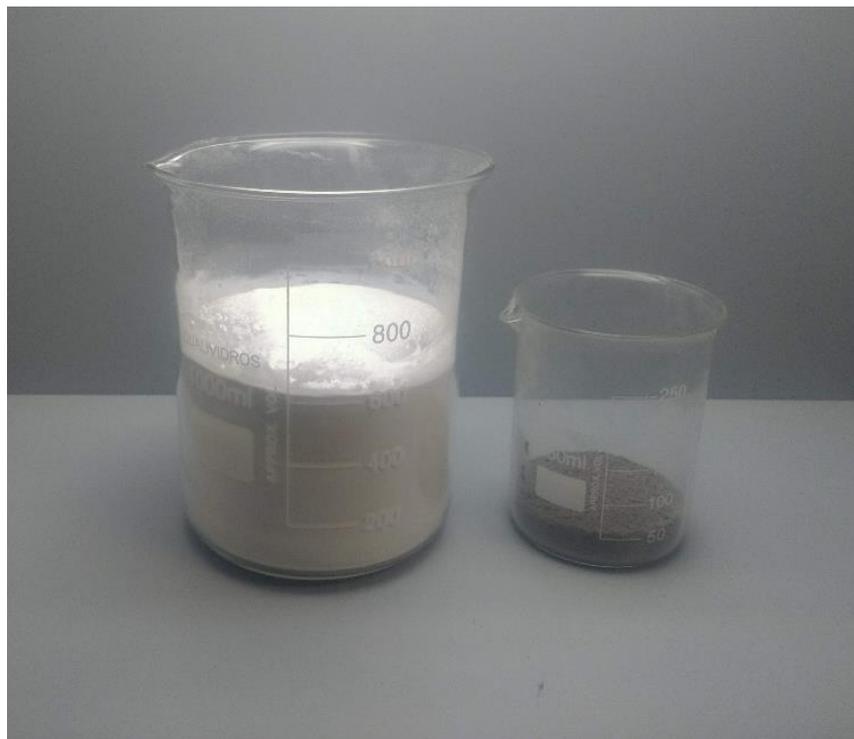


Figura 42: Materiais utilizados para criação de filamento, PA e cinzas do MN. Foto: Autor.

Na imagem acima é possível observar 300 gramas de poliamida em pó e 30 gramas de cinzas peneiradas a 75mícrons. Na imagem abaixo, temos 300 gramas de Polipropileno em pellets e 30 gramas de cinzas peneiradas a 75 micrometros.



Figura 43: Materiais utilizados para criação de filamento, PP e cinzas do MN. Foto: Autor.

A escolha destes polímeros se deu por fatores como disponibilidade dos materiais nos laboratórios, possibilidade de utilização destes polímeros como matéria prima para o processo FDM e pela facilidade de incorporar as cinzas como carga a ser misturada aos polímeros.

Os materiais antes de serem pesados e misturados, passam por um segundo processo de secagem em estufa a 60° por 12 horas. Essa segunda secagem é importante para eliminar a umidade que o material absorve da atmosfera. Sem esse processo, ao serem misturados os materiais acabam por grudar na parede do recipiente do misturador, gerando empedramentos o que inviabiliza a homogeneidade da mistura.



Figura 44: Equipamento utilizado para mistura dos materiais. Foto: Autor.

Para misturar as cinzas aos polímeros foi utilizado um homogeneizador em Y, modelo SL-148 Solab, como se observa da imagem acima. O equipamento foi cedido pelo LAMAP/ INT, e consiste em um recipiente em aço inox giratório a ser preenchido por elementos em pó ou pellets e um temporizador. O tempo total da mistura foi de duas horas, e após esse processo o material foi retirado para um recipiente conforme a imagem abaixo, já pronto para ser utilizado na extrusora de filamento.



Figura 45: Autor retirando material do misturador. Foto: Renato / LAMAP.

Para produção dos filamentos foi utilizada uma extrusora dupla rosca, da marca Extrusão Brasil / Sagec (figura 46). O equipamento foi cedido pelo LAMAP/ INT, e possui três partes principais: uma área de extrusão aquecida, com controle

de temperatura e velocidade; um tanque de água para resfriar o filamento, e um módulo motorizado triturador com controle de velocidade, que puxa o filamento após passar pelo tanque.



Figura 46: Extrusora utilizada para a criação do filamento. Foto: Autor

Este modelo de equipamento é utilizado para a produção de pellets, pequenos pedaços de polímeros utilizados como insumo na indústria de termoplásticos. Desta forma, o módulo que puxa o filamento também cumpre a função de triturá-los. Assim, o equipamento não é próprio para produção de filamentos voltados a impressão 3D.

Para utilização com essa finalidade foram feitas adaptações, no módulo triturador, sendo a principal delas a retirada da polia laminada que triturava o filamento, e a colocação de uma tampa protetora para evitar que o filamento se enrolasse no eixo exposto. Conforme demonstrado na imagem abaixo.



Figura 47: Adaptação feita na extrusora. Foto: Autor

Pode parecer algo simples e demasiadamente óbvio, mas foi uma intervenção desta pesquisa e do pensamento criativo de design. Esse pequeno detalhe já havia inviabilizado a produção de filamentos regulares o suficiente para utilização em impressão 3D em outras tentativas do laboratório com o uso desse mesmo equipamento.

Nas primeiras tentativas, esse módulo da máquina não foi utilizado, já que ele trituraria o material. Assim, essa puxada foi feita de forma manual ou com um carretel e uma manivela, não sendo possível atingir uma velocidade constante e controlada o suficiente para criar certa regularidade no diâmetro do filamento que possibilitasse sua utilização em impressoras 3D. Isso nos levou a cogitar, inclusive, a criação ou aquisição de outro módulo para fazer a função de puxar o filamento.

Feita a adaptação no equipamento foram feitos alguns testes de segurança e funcionamento com material polipropileno puro para averiguar se as adaptações funcionariam de forma adequada. Foram feitos também testes com variação dos parâmetros de controle do equipamento, como temperaturas e velocidades do módulo extrusor, e também do módulo puxador, para que se obtivesse parâmetros de base para produzir um filamento constante e próximo ao diâmetro de 1,75mm, que é o padrão para utilização na impressora 3D. Em função dos resultados promissores, deu-se prosseguimento aos testes com o material misturado às cinzas.

O material previamente misturado é depositado em um funil acoplado ao módulo extrusor. Dentro do módulo extrusor aquecido, o material é derretido e dois fusos rotatórios impulsionam o material fundido para saída em um orifício. O processo pode ser observado na sequência de imagens abaixo.



Figura 48: Colocação do material misturado na extrusora. Foto: Autor



Figura 49: Detalhe do módulo aquecido da extrusora. Foto: Autor

Após sair do módulo extrusor em estado pastoso, o fio passa por um tanque com água, que o resfria e o solidifica. Esse tanque possui dois roletes de madeira para alinhar e tensionar o fio. Este tensionamento é bastante importante durante o processo de resfriamento, pois evita que o fio se contorça e solidifique em um formato irregular.

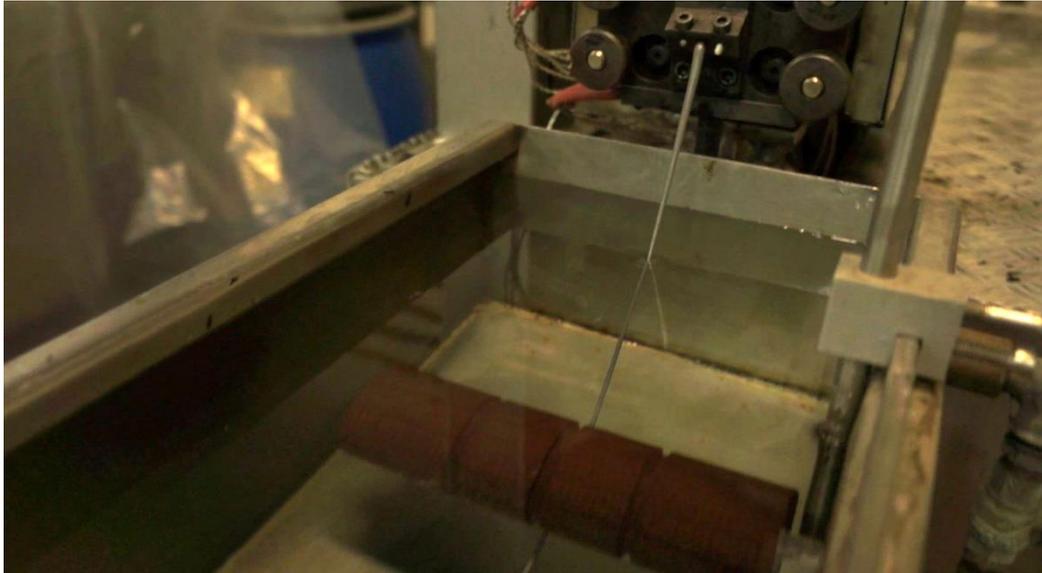


Figura 50: Detalhe do filamento entrando no tanque de resfriamento da extrusora. Foto: Autor



Figura 51: Detalhe do filamento saindo no tanque de resfriamento da extrusora. Foto: Autor

Ao sair do tanque de resfriamento, já em estado sólido, o fio é puxado pelo módulo motorizado de forma contínua. É de grande importância a relação entre a temperatura e velocidade do módulo de extrusão e a velocidade do módulo puxador para se obter uma boa metragem de filamento com diâmetro regular e fluxo constante.



Figura 52: Detalhe do módulo puxador da extrusora. Foto: Autor

Por mais que existam parâmetros pré-determinados para diferentes polímeros, ao adicionar as cinzas na mistura, eles necessitam ser revistos e adaptados. Para isso, foram gastos dezenas de metros de filamento e algumas horas de testes, até se conseguir alguns metros passíveis de serem testados na impressora. Na imagem abaixo podemos observar um exemplo da variação de diâmetro destes filamentos nos primeiros testes.



Figura 53: Exemplo dos primeiros testes de filamento Foto: Autor



Figura 54: Painel de controle com os parâmetros utilizados. Foto: Autor

Seguindo esses parâmetros, conseguiu-se produzir uma quantidade considerável de filamento em poliamida com uma variação de 1,65mm a 1,85mm, próximas ao ideal de 1,75mm para utilização na impressora. Essa variação foi verificada como limite aceitável, através de testes com pedaços dos filamentos iniciais produzidos.



Figura 55: Produção final de filamentos com os parâmetros adequados. Foto: Autor

Para os testes de impressão foi utilizada a máquina Felix Printer 3.0 (figura 56). O equipamento pertence ao laboratório NEXT da PUC-Rio, e é um dos modelos mais simples disponíveis comercialmente, e utiliza filamento padrão de 1.75 milímetros.

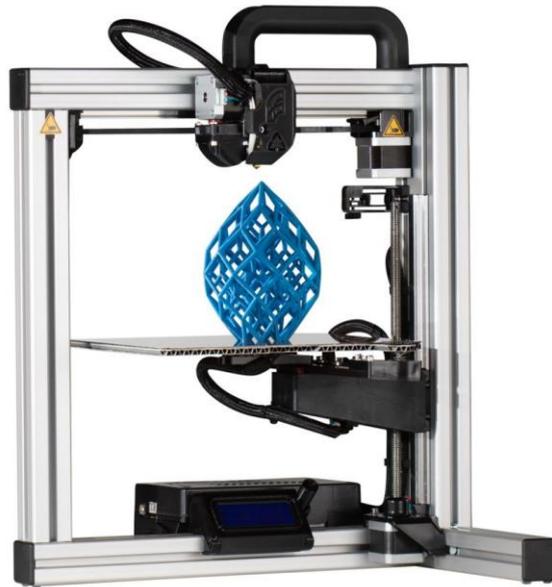


Figura 56: Felix printer 3.0. Foto: [www.felixprinters.com](http://www.felixprinters.com)

Pode-se observar alguns dos primeiros testes na impressora 3D FDM (figura 57), produzidos com a primeira leva de filamentos criados, em polipropileno e poliamida. Embora não se tenha conseguido concluir a impressão em nenhum deles, estes testes iniciais foram importantes para descobrir alguns fatores que direcionaram a produção da segunda leva de filamento. Como a variação aceitável de diâmetro do filamento e maior facilidade e qualidade de impressão do filamento em poliamida em comparação com o polipropileno.



Figura 57: Primeiros testes de impressão FDM. Foto: Autor.

Além dos testes mencionados, foram realizados também outros testes de configurações da própria impressora 3D, como parâmetros e velocidades de construção, temperatura do bico extrusor e da mesa, espessura de camada, entre outros.

A sequência de imagens abaixo, mostra algumas peças impressas com a segunda leva de filamento com diâmetro mais controlado em poliamida. Além das impressões terem sido concluídas nestes testes, podemos observar uma maior qualidade de acabamento dentro das possibilidades que a tecnologia FDM permite.



Figura 58: Processo de impressão com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.



Figura 59: Peça impressa em 3D com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.



Figura 60: Processo de impressão com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.



Figura 61: Peça impressa em 3D com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.



Figura 62: Processo de impressão com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.



Figura 63: Peça impressa em 3D com filamento de poliamida com cinzas do MN. Foto: Autor.

#### 4.7.2. Massa argilosa para processo BJ

A ideia para essa experimentação é inspirada no trabalho do professor de engenharia mecânica Mark Ganter, da Universidade de Washington. Em sua mais recente linha de pesquisa desenvolve junto a seus alunos insumos e materiais alternativos de base argilosa para serem utilizados na tecnologia *Binder Jetting*.

Esses materiais de insumo consistem basicamente em um líquido ativador, um agente aglutinante e um material em pó. Um dos aspectos mais interessantes do trabalho de Ganter é o baixo custo e facilidade de acesso aos materiais utilizados em sua pesquisa. Ao contrário dos materiais tradicionais, oficiais comercializados para esta tecnologia, que são importados e possuem alto custo, além de serem compostos por substâncias de uso restrito de laboratórios especializados.

Ganter divulga abertamente os resultados de sua pesquisa com todas as formulações e substâncias experimentadas e incentiva que demais pesquisadores desenvolvam novos materiais tendo como base sua pesquisa e também os disponibilizem.

Dessa forma, foram surgindo em fóruns online especializados em impressão 3D listas com receitas de diversos tipos de materiais alternativos desenvolvidos para essa tecnologia em várias partes do mundo. Esse potencial se amplifica pelo fato de Ganter utilizar materiais comuns, baratos e disponíveis globalmente, como amido de milho, álcool, açúcar e argila comum em pó.<sup>13</sup>

Outro ponto interessante é que alguns dos aglutinantes utilizados em sua pesquisa para uso em materiais cerâmicos, é a possibilidade de serem utilizados também em outros tipos de materiais em pó.

Baseado nisto, surge a ideia de utilizar estas substâncias aglutinantes em combinação com as cinzas do museu. As substâncias mais comuns que aparecem como aglutinante em diversas receitas é a maltodextrina combinada ao açúcar. A maltodextrina é uma variação de amido de milho, geralmente utilizada como suplemento alimentar.

A impressora 3D utilizada para o experimento pertence ao Museu Nacional e só não foi perdida no incêndio, pois estava em manutenção no INT, no laboratório LAMOT. A impressora da marca Zcorporation, modelo ZPrinter310 é uma das mais

---

<sup>13</sup> [reprap.org/wiki/Powder\\_Printer\\_Recipes](http://reprap.org/wiki/Powder_Printer_Recipes)

antigas máquinas que utilizam o processo *binder jetting*. E por isso, possui um sistema mais simples do que as máquinas mais modernas.



Figura 64: Impressora 3D ZPrinter310. Foto: 3dprinterlog.blogspot.com

O ponto negativo desse modelo é a dificuldade em se comprar peças de reposição e cartuchos de impressão, por se tratar de um modelo descontinuado comercialmente. Em contrapartida, a simplicidade de seu sistema facilita o uso de materiais alternativos. Essa possibilidade trouxe uma recente sobrevida a esse modelo específico, principalmente com o uso de materiais cerâmicos, diferente do material original (um tipo de gesso comercial) para qual a tecnologia foi originalmente criada.

O experimento inicial foi inspirado em algumas receitas que sugerem o uso de 1000 partes de argila em pó, 250 partes de maltodextrina e 250 partes de açúcar refinado. O primeiro teste seguiu as mesmas proporções, apenas substituindo a argila em pó pelas cinzas.

Neste experimento ainda não tínhamos à disposição um agitador de peneira e dessa forma não foi possível o controle mais preciso da granulometria das partículas em uma quantidade mínima que possibilitasse o experimento. Mas como

uma certa variação desses tamanhos é positiva do ponto de vista estrutural, e, visualmente, o material aparentava ser semelhante aos materiais convencionais próprios a tecnologia, julgou-se válido a realização deste teste mesmo sem esse controle preciso.

Desta forma, como material do primeiro experimento temos: 1000 partes de cinzas em pó, 250 partes de maltodextrina e 250 partes de açúcar refinado. O líquido ativador utilizado foi um convencional disponível no laboratório, próprio para a tecnologia.

Na imagem abaixo podemos observar uma seção transversal de algumas peças sendo impressas. Aparentemente, a mistura se comporta muito bem na máquina, com o material espalhado de forma regular, com camadas homogêneas e sem empedramentos, e as áreas que recebem o líquido ativador demonstram um forte contraste e não são arrastadas pela régua de nivelamento. Não foi observado nenhum dos problemas comuns referentes a essa tecnologia que sinalizariam falha da impressão.



Figura 65: Processo de impressão 3D BJ com as cinzas. Foto: Autor.

Entretanto, o que se observou, ao retirar as peças da impressora e limpá-las, é que elas ficaram grudadas na base de impressão e o líquido ativador não ficou contido na área de deposição referente a geometria das peças. Assim as peças cresceram de tamanho e perderam definição de detalhes.



Figura 66: Resultados dos primeiros testes de impressão 3D BJ com as cinzas. Foto: Autor.

Um ponto positivo foi que a maltodextrina e o açúcar aglutinaram muito bem às partículas das cinzas e as peças ficaram bastante resistentes e sólidas após a secagem. Além disso, resistiram ao processo de retirada da máquina, manipulação e limpeza sem quebrar ou esfarelar.

Em função das observações deste teste inicial, buscou-se uma comparação mais cuidadosa em relação ao tamanho das partículas das cinzas e o tamanho das partículas de argila. Foi percebido que, de fato, a argila tem um aspecto um pouco mais fino, e, acredita-se que o tamanho superior das partículas das cinzas criou espaços vazios entre elas, o que permitiu que o líquido se espalhasse além da área desejada.

Essa teoria ganhou força, sobretudo na comparação com outros testes de impressão satisfatórios, feitos previamente apenas com argila em pó, sem as cinzas, como se observa da imagem a seguir.



Figura 67: Impressão 3D BJ em argila de peças variadas. Foto: Autor.

Para testar esta teoria, diante da impossibilidade de se ter um maior controle do tamanho das partículas das cinzas, num segundo teste de impressão foi adicionado 50% de argila em pó a mistura, com o objetivo de que as partículas menores da argila preenchessem os espaços vazios entre as partículas das cinzas.

As imagens seguintes mostram o resultado desse segundo teste. A massa se comportou de maneira similar durante o processo de impressão na máquina, mas o resultado das peças foi bem diferente. As geometrias dos arquivos foram respeitadas e a definição e qualidade das peças foi bem superior.



Figura 68: Impressão 3D BJ de Medalhão italiano de 1867 em argila e cinzas. Foto: Autor.



Figura 69: Impressão 3D BJ de Medalhão italiano de 1867 em argila e cinzas. Foto: Autor.



Figura 70: Impressão 3D BJ de amuleto fálico egípcio em argila e cinzas. Foto: Autor.

#### 4.7.3. DLP, vácuo formagem e resina.

A ideia para o desenvolvimento dessa linha surge das primeiras experimentações lúdicas de manipulação dos detritos do museu *in-natura*, da maneira que eles foram obtidos pelo pesquisador. Dessa forma, as partículas são maiores, variando em torno de 2 milímetros antes de serem submetidas ao pré-processamento. A experimentação nesse processo foi abordada de forma mais ampla, o que permitiu a incorporação de outros processos de fabricação analógica em combinação com os processos de fabricação digital.

É um caminho de experimentação que toma certas liberdades criativas, mas se mantém focado na estética final das peças, nos aspectos do design emocional, e

na capacidade que o objeto criado potencialmente terá em transmitir os diferentes simbolismos que a história do material possa trazer.

Para essa linha, foi utilizada a tecnologia de impressão 3D DLP. A máquina utilizada foi uma anycubic Photon (figura 71). A escolha dessa tecnologia, se deu por sua alta resolução e qualidade de acabamento, uma vez que está entre as maiores resoluções dentre todas as tecnologias de Manufatura Aditiva disponíveis comercialmente. Essa característica foi fundamental para a realização dessa experimentação, pois as peças impressas serviriam como matrizes para a obtenção de moldes.



Figura 71: Impressora 3D DLP Photon. Foto: [www.anycubic.com](http://www.anycubic.com)

As peças foram impressas na maior resolução que a tecnologia permite, com camadas de 25 Micrometros, o que não torna possível a identificação das camadas de construção a olho nu. As peças impressas nesta resolução já saem da máquina com um excelente acabamento superficial, sem a necessidade de processos posteriores de acabamento para deixa-las lisas, em que, fatalmente, se perderia detalhes da geometria dos arquivos.



Figura 72: Escaravelho coração impresso em DLP. Foto: Autor



Figura 73: Caixaõ de Sha-Amun-em-su impresso em DLP. Foto: Autor

Para a confecção dos moldes foi utilizada uma máquina de vácuo formagem para moldeiras odontológicas Bio-art, modelo PlastVac P7, pertencente ao laboratório NEXT PUC-Rio. Essa máquina utiliza um material de moldagem em placas, conhecido como eva borrachóide, que por sua flexibilidade possibilita uma excelente qualidade na cópia de superfícies em seus mínimos detalhes, além de possibilitar uma flexão que facilita a retirada das peças moldadas.



Figura 74: Máquina de vácuo formagem odontológica Bio-art plastvac P7. Foto: Autor.



Figura 75: Confeção do molde do Escaravelho coração. Foto: Autor.



Figura 76: Confeção do molde do caixão de Sha-Amun-em-su. Foto: Autor.

Para a mistura com os detritos foi utilizado uma resina epóxi, a escolha desta resina se deu por alguns fatores, como sua transparência que permite enxergar as diferentes partículas dos detritos através da resina. Por seu baixo índice de contração pois do contrário formariam-se trincas no processo de cura. E por entregar um acabamento de superfície liso sem a necessidade de polimento posterior. Dessa forma as peças já saem prontas do molde.

Outro ponto interessante desta linha de experimentação é que ela permite uma reprodução seriada. Ou seja, com o uso de uma única matriz impressa em 3D é possível fazer vários moldes, e com cada molde é possível reproduzir uma boa quantidade de peças de forma rápida, escalável e com baixos custos de produção.

Na sequência de imagens seguintes podemos observar o resultado final das peças reproduzidas.



Figura 77: Reprodução do Escaravelho coração em resina epóxi e detritos do MN. Foto: Autor.



Figura 78: Caixão de Sha-Amun-em-su em resina epóxi e detritos do MN. Foto: Autor.



Figura 79: Caixão de Sha-Amun-em-su em resina epóxi e detritos do MN. Foto: Autor.



Figura 80: Reprodução seriada em resina epóxi e detritos do MN. Foto: Autor.

## 5

### A camada simbólica: o que vai além do material

Símbolo - sm

1. Qualquer coisa usada para representar ou substituir outra, estabelecendo uma correspondência ou relação entre elas.
2. Aquilo que, em determinada cultura, apresenta valor evocatório ou místico.
3. Ser, objeto ou imagem ao qual se pode atribuir mais de um significado.  
(Dicionário Michaelis online)

Embora um elevado grau de fidelidade nas geometrias das peças seja inerente aos processos utilizados e desejável como objetivo, principalmente pela facilidade de associação as peças originais e qualidade final do objeto reproduzido, é importante destacar que a proposta da pesquisa não é a de que os objetos desenvolvidos em seu decorrer sejam réplicas fiéis aos originais, por isso é utilizado aqui o termo *recriações* para descrevê-las.

Uma réplica, por mais fiel que seja, não possui a “aura” da peça original, não possui a temporalidade do ato da criação e não possui o caráter único, a autenticidade e singularidade como objeto. E dessa forma é considerado algo de valor inferior artisticamente e mesmo comercialmente (BENJAMIN, 1969).

Ao acrescentar as cinzas do museu nas peças recriadas, incorpora-se aspectos de sua composição original, da memória da instituição, e da tragédia enfrentada por ela. Isso traz em algum nível o conceito de “aura” do objeto original citado por Benjamin.

Para Cardoso (2013, p. 111), “as aparências dos objetos sempre são carregadas de significados, isso quer dizer que todo artefato material é comunicação, informação e signo, ou seja, todo artefato material possui também uma dimensão imaterial de informação.” Sendo assim, todo objeto, produto ou artefato é um signo cultural pois faz parte de um contexto, deixando o papel do designer ainda mais carregado de responsabilidade (SILVA & SADER, 2019, p. 120).

Todo produto industrial tem uma aparência sensorialmente perceptível, determinada por elementos de configuração, forma, cor, superfície etc. Possui também uma função estética que definimos como aspecto psicológico da percepção sensorial durante o uso. A esta função estética pode-se juntar a função prática, a função simbólica ou ambas. Sempre porém uma das funções terá prevalência sobre as outras (LÖBACH, 2001, p. 67).

No caso da pesquisa, como o enfoque é a recriação de objetos físicos, essa construção se dá na nossa forma de se relacionar e interpretar esses objetos. Para isso recorreu-se ao design emocional, com o objetivo de compreender melhor os diferentes aspectos envolvidos na construção dos significados que edificam a base para um objeto atingir o patamar de representação que o caracteriza como símbolo.

### 5.1. Design emocional

Em seu livro “Design Emocional: Porque adoramos ou detestamos os objetos do dia-a-dia.” Donald A. Norman (2008) apresenta um estudo, baseado em nosso sistema cognitivo e emocional de percepção dos objetos com os quais nos relacionamos, e propõe uma classificação em três níveis:

1. Nível Visceral	aparência
2. Nível Comportamental	prazer e efetividade do uso
3. Nível Reflexivo	autoimagem, satisfação pessoal, lembranças

Tabela 2: Níveis percepção. Fonte: NORMAN, 2008, p. 59

O Nível Visceral diz respeito as reações instantâneas que as pessoas têm ao se deparar pela primeira vez com um determinado objeto. A grosso modo, está relacionado a aparência (cor, formas, texturas, tamanho), mas outros aspectos de percepção imediata como cheiro e temperatura também se inserem nessa classificação. Dessa forma, podemos considerar que esse nível se refere aos aspectos físicos do objeto que geram uma reação de atração ou repulsa imediata no indivíduo, e até mesmo inconsciente, no primeiro momento de contato com o objeto. (NORMAN, 2008, p.56)

Como exemplo da reação a esses aspectos físicos, podemos citar a ação de comprar por impulso, que está diretamente ligada a esse nível: a pessoa ao olhar para determinado objeto, sem pensar, simplesmente se apaixona e passa a desejar-lo. Muitas vezes isso ocorre antes mesmo de saber exatamente para que ele serve, sem maiores informações técnicas, sem tê-lo testado, sem outras referências sobre sua qualidade e tampouco sem uma necessidade real e objetiva de se precisar da funcionalidade que o objeto vai desempenhar.

O Nível Comportamental está intrinsicamente ligado a funcionalidade do objeto, e tem um caráter de avaliação mais pragmático, relacionado a usabilidade e a experiência do usuário ao utilizar o objeto para desempenhar a função para qual ele foi projetado. Dessa forma, se o objeto é intuitivo e prático de utilizar e desempenha bem a sua função, a experiência é positiva e prazerosa, independentemente de sua aparência. Da mesma forma que, se o objeto não realizar de maneira satisfatória sua função, ou for difícil de ser utilizado, requerendo um esforço maior do usuário para realizar determinada atividade, a experiência é frustrante e negativa. Assim como no nível visceral, essas reações positivas ou negativas do indivíduo perante o objeto são puramente uma resposta emocional e inconsciente, não atingindo o nível cognitivo (*Ibid.*, p. 56)

O Nível Reflexivo é o único em que a relação com os objetos se dá de forma consciente. É onde ocorre a interpretação, a compreensão e o raciocínio, e quando os níveis mais elevados de emoções e cognição são despertados. É nesse nível que utilizamos nosso sistema cognitivo para construir opiniões e visões críticas sobre os objetos. A emoção despertada nos níveis anteriores é confrontada pela razão, e ao pensar sobre a experiência com o objeto de forma mais ampla podemos reduzir a importância, ou mesmo anular a significância dos demais níveis puramente emotivos (*Ibid.*, p. 57).

O reflexivo é o nível de maior complexidade dos três, pois está mais sujeito a variabilidades como diferenças culturais, intelectuais, particularidades e experiências vividas pelo indivíduo, que afetarão sua interpretação dos objetos. Para Norman “(...) por meio da reflexão você se lembra do passado e considera o futuro. O design reflexivo, portanto, tem a ver com relações de longo prazo, com os sentimentos de satisfação produzidos por ter, exhibir e usar um produto”. (*Ibid.*, p. 58). Ou seja, o interessante é que, ao contrário dos demais níveis em que a relação temporal se dá no “agora” (presente), seja no primeiro contato visual com o objeto, ou no momento de sua utilização, o nível reflexivo se estende por muito mais tempo, podendo até mesmo adquirir um caráter atemporal.

## 5.2. O Funcionalismo e a expansão do simbólico

As peças originais reproduzidas nas experimentações têm um forte caráter simbólico de representação para os povos e culturas que as criaram. Muitas delas

nem mesmo tinham uma função prática determinada em sua criação, como no caso de estatuetas e amuletos, por exemplo. Dessa forma foram criadas exclusivamente como símbolos de representação de aspectos particulares dessas culturas.

Mesmo os artefatos que originalmente foram criados como objetos utilitários e desempenhavam uma função prática na realização de alguma atividade, como ferramentas, urnas funerárias, garrafas ou cachimbos, muitas vezes são repletas de elementos e adornos que trazem para esses objetos também um caráter simbólico.

Com o passar dos anos e com os avanços tecnológicos, esse caráter funcional do artefato original vai perdendo relevância para as sociedades subsequentes em suas reinterpretações e nas relações que criamos com esses artefatos representantes de outras culturas. Esse aspecto de distanciamento da função se intensifica com o distanciamento cronológico do momento de criação do artefato. Assim, quanto mais tempo se passa e o contexto cultural e tecnológico se modifica, menos a funcionalidade desse objeto importa a nível prático.

É importante ressaltar que, do ponto de vista arqueológico e histórico, de buscar compreender a cultura que criou a peça original, o fato do objeto originalmente ter sido criado para desempenhar uma função prática, tem grande importância para o estudo daquela cultura. Muito do conhecimento que temos hoje atualmente sobre civilizações antigas, seus hábitos, tradições e tecnologias existe justamente por identificarmos nestas culturas objetos e ferramentas que desempenhavam determinadas funções.

Ao considerar determinada sociedade antiga mais evoluída que outra, nos baseamos nas suas capacidades linguísticas, feitos arquitetônicos, tecnologias, processos e técnicas de se trabalhar a matéria, através do estudo de objetos funcionais dessas culturas.

Mas a nossa sociedade ao reinterpretar esse objeto e se relacionar com ele, não faz mais uso de sua funcionalidade original. A nossa relação com esse objeto a nível físico é apenas contemplativa e de natureza reflexiva. Assim podemos compreender que mesmo esse caráter funcional originário do objeto, para a nossa sociedade, também se torna simbólico. Um símbolo, entre outros, que nos permite afirmar que determinada cultura era mais evoluída tecnologicamente em comparação a outra da mesma época, que não era capaz de produzir esses artefatos funcionais.

Enquanto a funcionalidade desses artefatos vai caindo em desuso, no sentido que não mais utilizamos esse objeto para desempenhar nenhuma ação de ordem prática propriamente, o valor simbólico desses artefatos na nossa reinterpretação, tende a se expandir. Isto ocorre principalmente por dois fatores: (I) pela transformação dos aspectos que antes eram funcionais e simbólicos como um marco de classificação evolutiva das sociedades antigas, e; (II) pela síntese de representação de todo conhecimento cultural, linguístico, tecnológico e histórico que adquirimos de determinada sociedade antiga, ser condensada na representação simbólica de qualquer artefato, reconhecível por nós como pertencente aquela cultura.

### 5.3. O Imagético representativo

Ao conjunto de lembranças visuais que nos remetem a determinado assunto, local, pessoa, cultura, época, instituição, etc., podemos dar o nome de repertório imagético afetivo. Quando falamos em objetos e artefatos históricos, a construção desse repertório imagético representativo associado a determinada cultura muito se dá em função do aprendizado e reconhecimento de certos elementos estéticos, comuns a diversos artefatos que sabemos que pertencem a essa cultura.

Dessa forma, mesmo quando nos deparamos com um artefato que nunca havíamos visto, mas que identificamos esses elementos estéticos que em nosso imaginário remetem a certa cultura, automaticamente associamos esse artefato como pertencente a ela. E nessa associação reconhecemos o objeto como um símbolo que sintetiza e remete a todo conhecimento que possuímos associados a determinada cultura. Artefatos que muitas vezes representavam apenas um aspecto particular daquela cultura, como por exemplo, um ritual específico ou um amuleto de proteção foram se expandindo através de nossa reinterpretação para uma representação simbólica da cultura daquela civilização como um todo.

É verdade também que existe uma certa generalização nesse processo, e talvez alguns significados mais particulares deixem de ser percebidos e se percam nessa generalização. Por outro lado, talvez outros aspectos sejam somados nessa síntese, mesmo que de forma errônea, por falta de um conhecimento mais apurado

dessas culturas. Até mesmo artefatos de culturas diferentes, mas que possuem certa similaridade estética, podem ser confundidos como pertencentes a mesma cultura.

Independente da assertividade desse processo, é inegável que exista uma expansão desse simbolismo em nossa reinterpretação, principalmente para o público em geral, que por não se tratar de especialistas no estudo de culturas antigas tem um conhecimento relativamente superficial em relação ao assunto.

Quando pensamos nas pessoas que frequentam o museu, a maior parte desse público são pessoas comuns e não especialistas. Nesse contexto, é de extrema importância a maneira que essas pessoas irão interpretar esses artefatos. Talvez a maior importância de um museu seja justamente dialogar com esse grande público e ser um ambiente de difusão e expansão de conhecimento e cultura para o maior número de pessoas possível.

Ao visitar um museu somos impactados visualmente por seu acervo. Embora haja informações de grande relevância que demonstre a importância dos artefatos e da história por trás deles, como o local onde foram encontrados, a época e cultura a qual pertenciam, etc., o público em geral que visita o museu pouco absorve destas informações. Arrisco até mesmo a dizer, que a maioria desse público nem mesmo lê estes descritivos. Mesmo quando lêem, pouco compreendem e assimilam dessa informação e em um curto período de tempo, já terão esquecido o que leram. Mas certamente, lembram do que viram: do colorido dos desenhos no caixão da múmia; da grandiosidade do esqueleto do dinossauro, ou da diversidade de formatos de conchas, etc.

Dito isso, qualquer pessoa independentemente da idade ou grau de conhecimento que visitou o Museu Nacional em algum momento de sua vida tem alguma lembrança do que viu. Seja um esqueleto de dinossauro, uma múmia, um meteorito ou um cocar indígena. Cada um lembra das coisas que por algum motivo, consciente ou não, foram mais significativas para elas. Mesmo que não tenham lido ou não se lembrem das histórias por trás desses artefatos, lembram da aparência deles. São como fotografias registradas na memória. Essas imagens de que lembramos, podemos chamar de imagético representativo.

Cada visitante cria, mesmo que de forma inconsciente, seu imagético representativo particular. Isso irá variar em função de aspectos particulares de cada pessoa, seja de ordem cultural, intelectual ou mesmo de ordem fisiológica e neurológica. Esses repertórios imagéticos construídos podem ser maiores ou

menores na quantidade de exemplos, e podem ser mais amplos ou restritos em relação a natureza e diversidade dos objetos que são expostos, sejam eles naturais ou criados pelo homem. Isso depende do que foi mais impactante para cada pessoa.

O que temos em comum a todos esses imaginários particulares é o fato de todos representarem e evocarem a lembrança do Museu Nacional para essas pessoas, pois foi o local onde essas elas conheceram esses objetos. Assim, esses artefatos que fazem parte do acervo do museu, independentemente de sua natureza, juntamente com o edifício histórico, são as partes que constituem todo o potencial imagético representativo da instituição.

#### **5.4. As diferentes camadas de simbolismos**

Mesmo antes de adicionar as cinzas do museu, ou até mesmo antes de reproduzi-los, já temos na própria reinterpretação destes artefatos originais uma expansão de simbolismos e da representatividade das culturas originárias a qual pertenciam.

Quando adicionamos as cinzas do Museu Nacional na recriação desses artefatos adicionamos ainda mais algumas camadas de simbolismos a esses objetos: toda importância histórica, cultural e científica da instituição que é o Museu Nacional, primeira instituição histórica e científica do país, é adicionada.

Mesmo a nível físico, as cinzas são uma grande mistura de materiais: compostas por diversos fragmentos do prédio do museu, que acredita-se ser a maioria de sua composição, mas também por fragmentos das diversas peças do acervo que se perderam com o incêndio e o desabamento. Assim, de um ponto de vista virtual, existe a possibilidade desse material conter partes físicas de qualquer artefato pertencente ao acervo e trazer consigo esse simbolismo representativo na matéria, seja dos artefatos criados pelo homem e suas culturas representativas ou mesmo dos objetos de origem natural.

Representa o símbolo do desespero e impotência diante de toda a magnitude da tragédia do incêndio, a tristeza pelas perdas irreparáveis de artefatos históricos do acervo, da estrutura histórica do edifício e do trabalho de várias gerações de pesquisadores que dedicaram sua vida a ciência e a difusão do conhecimento.

O símbolo de perseverança no esforço incansável dos pesquisadores e dos profissionais que atuaram nas atividades de resgate. O símbolo de esperança na reconstrução do Museu Nacional e a expectativa que venha a ser uma instituição ainda melhor e mais valorizada, não apenas no meio científico -como nunca deixou de ser, mas que seja mais valorizada e cuidada como patrimônio por nossos governantes.

O próprio ato de recriar estes artefatos com suas próprias cinzas, é um símbolo de renovação e superação e remete a um conceito de renascimento após um evento trágico, traduzida na expressão popular “renascer das cinzas”. Expressão esta originada em mitos de várias culturas ao longo da história, como a Fênix na cultura grega ou Benu na cultura egípcia, ambas aves mitológicas que ao final de seu ciclo de vida entram em combustão, para renascer das próprias cinzas e iniciar um novo ciclo de vida.

Esta atividade de criação é também um símbolo de resiliência, ao reagir de forma perspicaz e propositiva diante de uma tragédia. Não arrisco dizer que é enxergar uma oportunidade ou sugerir uma postura positivista, pois é algo que abre brechas para uma interpretação de frieza e diminuição da gravidade da tragédia. Assim pode parecer algo oportunista em um sentido pejorativo, mas é um sentimento de, passado o momento do luto, reunir forças e seguir em frente de forma inteligente. Recuperar o que for possível e utilizar toda criatividade para reaproveitar e resignificar o que não for. Reconstruir-se com os recursos que passaram a existir em abundância nessa nova configuração da realidade.

Existe até mesmo um valor simbólico de sustentabilidade nesse processo de recriação com as cinzas, pois se trata da reutilização de resíduos não orgânicos que iriam para o lixo comum e seriam depositados em aterros sanitários, o que do ponto de vista ambiental não é muito adequado, pois existem metais pesados extremamente poluentes nesse material.

Porém, não há outra alternativa para o descarte, pois esse material é composto de partículas muito pequenas de diversos elementos, e os processos para a separação destes elementos seriam extremamente custosos, logo não viáveis comercialmente para a cadeia produtiva de empresas de reciclagem. Desta forma este material, na prática, não é reciclável.

Assim a melhor maneira, ambientalmente falando, de dar um destino a esse material é de fato o reaproveitamento e reutilização desses resíduos e sua

transformação em um bem durável. Coincidentemente é exatamente o que a pesquisa propõe com a criação de objetos utilizando as cinzas resgatadas do Museu Nacional.

## 6 Considerações Finais

Em função dos resultados obtidos por meio das análises e experimentações, podemos concluir que as cinzas do MN funcionam muito bem como carga a ser misturada em uma gama de materiais poliméricos. Isso acontece por ser um material carbonizado, e dessa forma ter sido submetido a altas temperaturas em função do incêndio, o que eliminou os resíduos orgânicos, caracterizando-as como um material inerte e de base mineral.

As análises TGA, apresentadas no anexo ao final dessa dissertação, indicam uma perda em torno de 75% de seu peso após serem submetidas a uma temperatura de 1000c°, o que poderia indicar uma perda de matéria orgânica, mas na verdade indicam uma perda de umidade proveniente da água de rescaldo do incêndio e do fato do material ter ficado exposto a intempérie, além de tratar de partículas muito pequenas, absorvendo bastante umidade atmosférica.

Os resultados obtidos nas três linhas principais de experimentação (I) filamento termoplástico extrudado, (II) massa argilosa e (III) resina epóxi com detritos, foram considerados satisfatórios e atingiram o objetivo principal de confirmar sua viabilidade técnica. Porém todas as três linhas utilizadas necessitam de um desenvolvimento posterior para seu aprimoramento e otimização como matéria-prima estável a ser utilizada em tecnologias de MA.

Como forma de aprimorar esses resultados em um eventual desdobramento da pesquisa, sugere-se a realização de alguns testes laboratoriais em cada um dos três materiais desenvolvidos: (I) teste de saturação da proporção de cinzas; (II) testes mecânicos em corpos de prova para avaliar sua resistência e dureza e, (III) testes de estabilidade química em suas formulações para avaliar sua durabilidade.

Outro ponto a ser considerado está relacionado aos equipamentos utilizados para realizar as misturas dos materiais e as experimentações. Em função do baixo orçamento que a pesquisa dispunha não foi possível a compra de equipamentos ideais para a realizar o preparo dos materiais. A alternativa encontrada foi a utilização e adaptação de equipamentos existentes nos laboratórios onde a pesquisa

foi realizada. Porém, muitos dos equipamentos necessários principalmente para pré-processamento e preparo das misturas não estavam disponíveis nestes laboratórios.

Dessa forma foi gasto uma quantidade considerável de tempo na busca por outras parcerias que pudessem suprir essas necessidades. Muitas das experimentações foram feitas de forma improvisada, com equipamentos antigos e adaptados, o que não inviabilizou a obtenção dos resultados desejados. Entretanto, o tempo necessário para atingir esses resultados foi consideravelmente maior, em função da necessidade de buscar outras parcerias para a realização de algumas etapas da experimentação, bem como para consertar e adaptar alguns equipamentos.

Sobre as três linhas de experimentação desenvolvidas:

A linha de filamentos termoplásticos extrudados para o processo FDM atingiu resultados significativos dentro do limite da tecnologia disponível para os testes. Entretanto, seria interessante desenvolver mais testes de filamentos com outros polímeros, principalmente o PLA, realizar mais testes de variação dos parâmetros de construção, e a utilização do filamento criado em outros modelos mais sofisticados de impressoras 3D FDM que apresentem resultados superiores de acabamento.

A linha de massa argilosa para utilização no processo *binder jetting*, é a que carece de maior aprimoramento. Durante o desenvolvimento desta linha, a pesquisa ainda não dispunha de equipamentos para seleção mais controlada dos tamanhos das partículas das cinzas. Acredita-se que, com essa seleção, será possível imprimir peças utilizando apenas as cinzas e os aglutinantes. Dessa forma, de todas as tecnologias experimentadas essa seria a que entrega peças com a maior porcentagem de cinzas em sua composição final.

Quanto a linha de matriz impressa em DLP, vácuo formagem e resina epóxi com detritos, embora seja uma linha de maior simplicidade de desenvolvimento do processo, é sem sombra de dúvidas a que entrega uma melhor qualidade de acabamento e um resultado estético mais interessante entre todas as peças finais recriadas.

Isto fica bastante evidente se compararmos as peças finais das três linhas desenvolvidas. Nas duas primeiras linhas, as cinzas apenas alteram a cor final das peças impressas, variando em tons homogêneos de cinza e preto. Esteticamente, essas peças em nada diferem da utilização de materiais tradicionais nestas mesmas cores.

Já as peças com os detritos maiores apresentam uma intrigante e complexa riqueza de texturas. Acredita-se que estas peças tem o poder de comunicar melhor visualmente, do ponto de vista semiótico, toda complexidade das diferentes camadas de simbolismos que envolvem o material das cinzas e sua origem.

Do ponto de vista do design emocional essas peças são as que mais estimulam o nível visceral -pelo impacto estético, e o nível reflexivo, fazendo com que o indivíduo, ao contemplar a peça, possa imaginar de onde vem cada uma das partículas de cores, tamanhos e texturas diferentes, e divagar sobre o possível pertencimento destas partículas, as peças do acervo, do edifício, de equipamentos, etc.

Como exemplo que corrobora a grande capacidade destas peças em comunicar estes simbolismos e conseqüentemente transmitir estas emoções, podemos citar um fato ocorrido no evento VII SEMNA – Semana de Egiptologia do Museu Nacional, que ocorreu entre os dias 30 de setembro a 4 de outubro de 2019, onde foram dadas de presente para alguns dos palestrantes, convidados e organizadores do evento algumas destas peças produzidas. Isso gerou uma grande repercussão entre os participantes de forma geral, sobretudo aos presenteados, que demonstraram grande emoção, fascínio, curiosidade e agradecimento diante do presente. Teve até mesmo quem se emocionasse ao ponto de começar a chorar ao receber o presente.

Muitas pessoas que não receberam queriam comprar as peças e foram sugeridas a realização de venda direta, leilões e exposições. Isso comprova que esse potencial comunicacional do objeto em transmitir esses simbolismos, principalmente nesta terceira linha de desenvolvimento, também foi atingido pela pesquisa, e sugere possibilidades promissoras de desdobramentos futuros.

A exploração do caráter simbólico do uso das cinzas do Museu Nacional na recriação de peças do acervo não foi uma associação inédita dessa pesquisa, pois já foi citado em entrevistas e artigos anteriores que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho. Porém, acredita-se que o presente estudo trouxe novas contribuições na percepção das diferentes camadas de simbolismos envolvidos, desmembrando esses significados e fazendo novas ponderações que enriquecem e trazem outros aspectos a discussão desse tema.

Acredita-se que a pesquisa apresentada atingiu também seu objetivo técnico principal na validação das três linhas de materiais e tecnologias exploradas. Ainda

que aparente uma certa simplicidade no desenvolvimento, avançando alguns passos em cada uma das linhas, concluiu-se sobre cada linha desenvolvida a etapa de materializar modelos físicos impressos em 3D. Isso comprovou o caráter factível da utilização das cinzas do MN combinadas aos materiais e processos diferentes. Dessa forma, a pesquisa apresentada não se conclui em um sentido de fechamento, muito pelo contrário, ela abre três grandes possibilidades projetuais para desenvolvimento futuro, que necessitarão de mais recursos financeiros, equipamentos e tempo. Porém, com os dados e os modelos físicos apresentados nesta pesquisa fica comprovado que é possível e viável atingir resultados satisfatórios. E fica claro que com um pouco mais de recursos e estrutura serão atingidos resultados ainda superiores.

Para isso, faz-se necessário a articulação para a captação desses recursos junto a entidades e instituições governamentais, privadas ou mesmo outras formas de financiamento coletivo e colaborativo, o que por si só, já é um grande trabalho e envolve muitas parcerias para a criação de um ou mais projetos específicos. Ainda assim, o trabalho aqui exposto se apresenta como uma boa base para essa iniciativa e aponta alguns caminhos a serem percorridos para esse desenvolvimento.

Para finalizar fica a sugestão e o desejo de realizar uma exposição de artefatos do acervo do museu recriados com as cinzas. Essa exposição poderia ser parte do evento de reinauguração do Museu Nacional, ou um outro evento específico.

Aproveito o espaço para me oferecer como possível colaborador nessa empreitada e dizer que ficaria bastante honrado e orgulhoso em poder contribuir com essa ideia de alguma forma, apresentando algumas das peças e processos aqui expostos ou mesmo com o desenvolvimento de outras peças ainda mais significativas, seguindo as linhas de experimentações apresentadas.

## 7

### Referências Bibliográficas

BAXTER, Mike. Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. 2. ed. São Paulo: Blucher, (2000).

BENJAMIN, Walter. The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction, New York: Schocken Books, 1969.

BUFFA, Marina César. O Escaravelho-Coração nas Práticas e Rituais Funerários do Antigo Egito. 2009

BLIZARD, R. The Art of Photogrammetry: How To Take Your Photos . 2014. <<https://www.tested.com/art/makers/460142-art-photogrammetry-how-take-your-photos/>> acesso em 15 de agosto de 2018.

CARDOSO, Rafael. Design para um mundo complexo. São Paulo. Cosac Naify, 2013.

EAGLETON, Terry. A Ideologia da estética: Jorge Zahar Editor Ltda, 1993.

FELIX, Carlos Eduardo, LOPES, Jorge, AZEVEDO, Sergio Alex. Emotional Replicas: Replicating Art, Cahiers de Mariemont, 2021

O Museu Nacional. São Paulo: Banco Safra. (2007)

NORMAN, Donald. A. Design Emocional: Por que adoramos (ou detestamos) os objetos do dia-a-dia. (2008)

LOPES, Jorge: JR. WERNER, Heron: AZEVEDO, Sergio Alex: JR. BRANCAGLION, Antonio. Seen unseen 3d visualization. (2019)

SANTOS, Jorge R.L. ...[et al.]. Tecnologias 3D: desvendando o passado, modelando o future. (2013)

FRAYLING, Christopher, Monograph, Research in Art and Design (Royal College of Art Research Papers, Vol 1, No 1, 1993/4) Other. Royal College of Art, London. (1994)

Ganter, M.; Storti, D.; Marchelli, G.; Gramling, A. "3D-printing of glass ceramic composites." <i>Proceedings of Society for the Advancement of Material and Process Engineering Conference</i>, Seattle, WA, June 2014.

GUIRAUD, Pierre. A Semântica. 3. ed. Rio de Janeiro: Difel: Difusão Editorial, (1980).

VOLPATO, Neri. Manufatura aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D.(2017)

GIBSON, Ian; ROSEN, David W.; STUCKER, Brent. Additive Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing.(2009)

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa.(2002)

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de Metodologia Científica.(2003)

PEIRCE, Charles Sanders. Semiótica. 3. ed. São Paulo: Perspectiva,(1999).

SIMS, Peter. How Breakthrough Ideas Emerge from Small Discoveries, (2013)

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.(2013)

## 8 Anexo único

A seguir, apresenta-se uma análise laboratorial do resíduo das cinzas da sala do Egito do Museu Nacional, utilizadas como material desta pesquisa. São informações técnicas que fogem do caráter psicológico, afetivo e emocional e constituem dados interessantes, sobretudo para o aprimoramento dos materiais compósitos apresentados e possibilidades de pesquisas futuras.

### **Estabilidade Térmica - Análise Termogravimétrica – TGA**

As análises termogravimétricas (TGA) foram realizadas em um analisador termogravimétrico NETZSCH STA 409 PC Luxx, utilizando cerca de 8 a 12 mg de amostras pesadas em termobalança com resolução de 0,001 mg, utilizando porta amostra de alumina, faixa de temperatura de 30-1000°C, razão de aquecimento de 20°C/min sob atmosfera de nitrogênio a 60 ml/min.

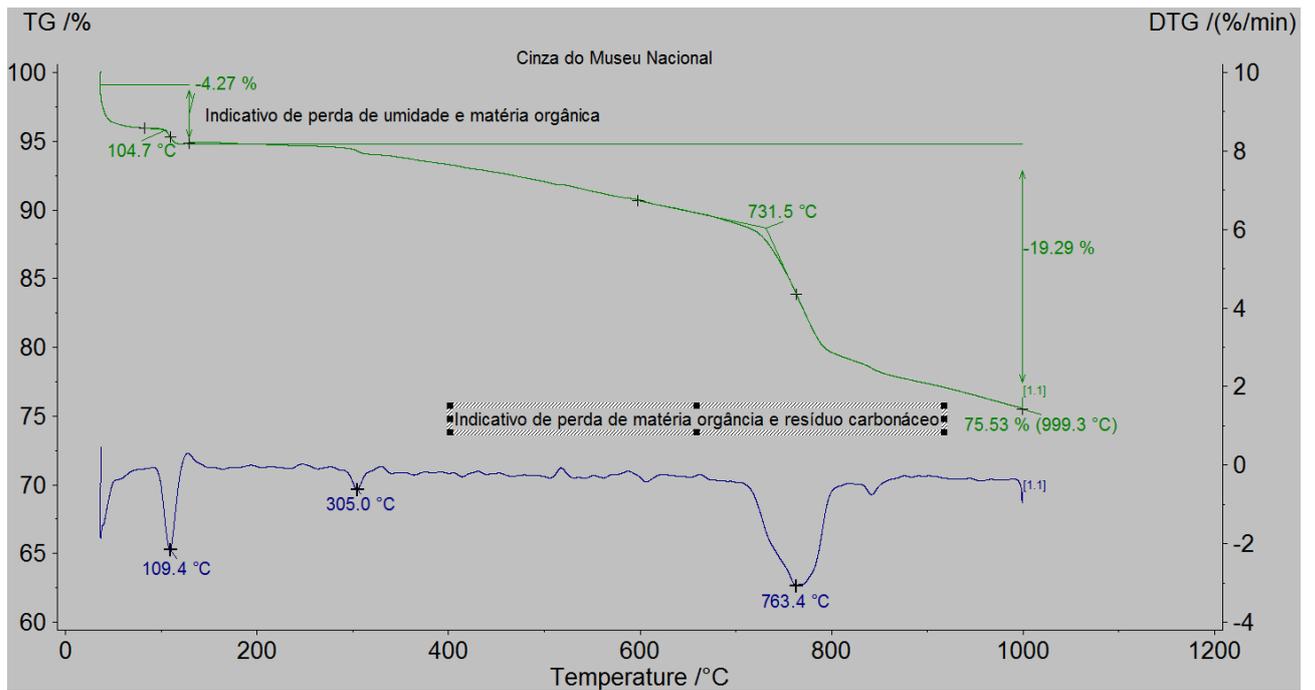


Figura 81: TG e DTG da cinza do museu nacional. Fonte: CENANO/INT.

## Morfologia - Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

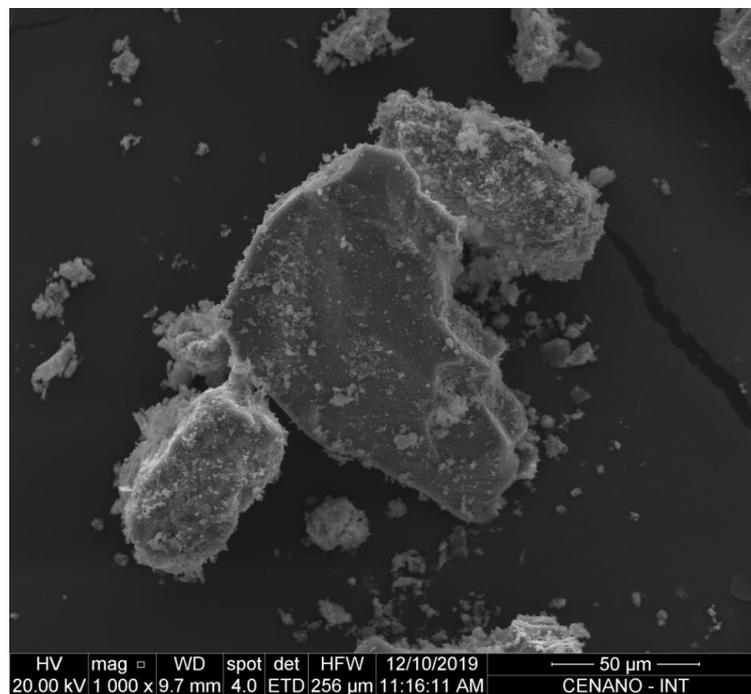


Figura 82: Resíduo da cinza do Museu Nacional com aumento de 1000 x. Foto: CENANO/INT.

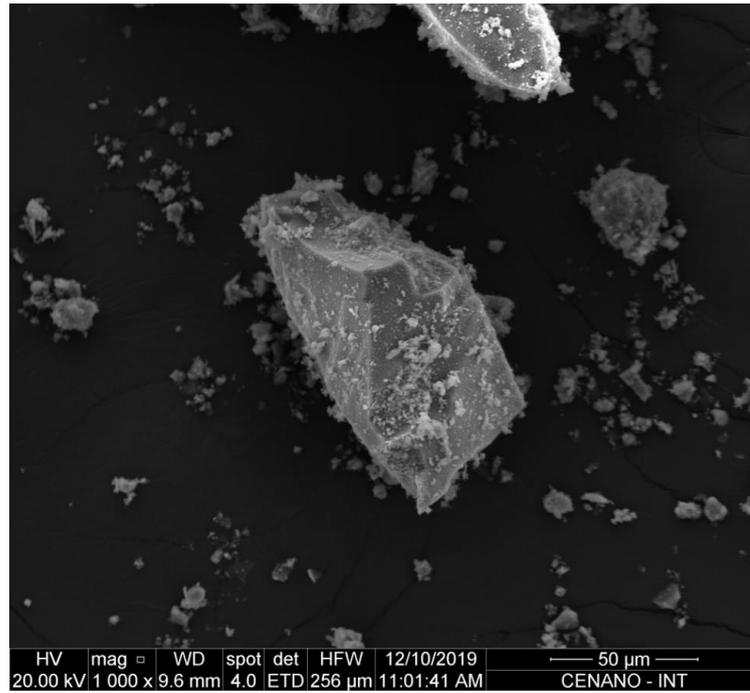


Figura 83: Resíduo da cinza do Museu Macional com aumento de 1000 x. Foto: CENANO/INT.

## Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV-EDS

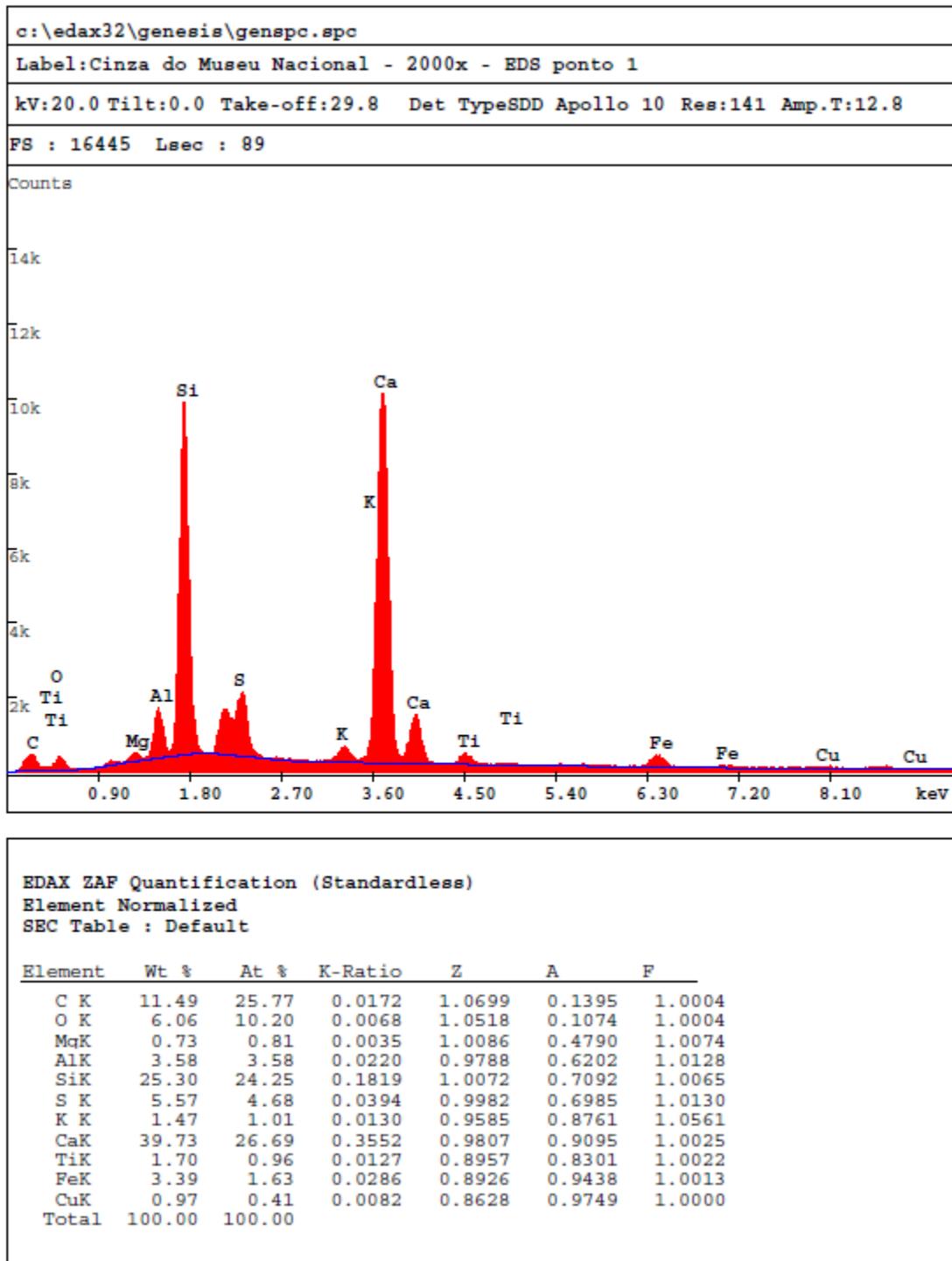


Figura 84: Gráfico quantitativo sinalizando os elementos que compõem as cinzas. Fonte: CENANO/INT.