



# **Acessibilidade ao património construído para pessoas com deficiência visual:** Modelos táteis acessíveis

**Raquel Ramos Flores | Licenciada**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura com Especialização em Interiores e  
Reabilitação do Edificado

## **Orientação Científica:**

Professor Doutor Luís Mateus

Professor Doutor Victor Ferreira

## **Júri:**

Presidente: Professora Doutora Luísa Reis Paulo

Vogal: Professor Doutor Luís Mateus

Vogal: Professora Doutora Ljiljana Cavic

## **Documento Definitivo**

Lisboa, FA ULisboa, Julho, 2023

# **Acessibilidade ao património construído para pessoas com deficiência visual:** Modelos táteis acessíveis

**Raquel Ramos Flores** | Licenciada

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura com Especialização em Interiores e Reabilitação do Edificado

## **Orientação Científica:**

Professor Doutor Luís Mateus

Professor Doutor Victor Ferreira

## **Júri:**

Presidente: Professora Doutora Luísa Reis Paulo

Vogal: Professor Doutor Luís Mateus

Vogal: Professora Doutora Ljiljana Cavic

## **Documento Definitivo**

Lisboa, FA ULisboa, Julho, 2023



*Todos os seres humanos nascem livres e iguais em dignidade e em direitos. Dotados de razão e de consciência, devem agir uns para com os outros em espírito de fraternidade.<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> ONU (1948). Declaração Universal dos Direitos Humanos, Artigo 1, pp.2



## Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todos aqueles que me apoiaram e contribuíram para a conclusão deste trabalho académico. Sem a sua ajuda, orientação e incentivo, este estudo não teria sido possível.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores, o Professor Luís Mateus e o Professor Victor Ferreira, pela sua orientação inestimável e apoio ao longo desta investigação. A sua experiência, feedback e paciência foram fundamentais para moldar e aperfeiçoar este estudo. Estou verdadeiramente grata pela sua orientação e pelas lições valiosas que aprendi sob a sua supervisão.

Gostaria também de agradecer aos participantes deste estudo, sem os quais esta pesquisa não teria sido possível. A sua disponibilidade em partilhar as suas experiências e perceções enriqueceu as descobertas e contribuiu para a qualidade geral deste trabalho.

Os meus agradecimentos estendem-se aos meus amigos e familiares, cujo apoio, encorajamento e compreensão inabaláveis foram cruciais durante os altos e baixos deste percurso. A sua motivação constante têm sido uma força motriz por trás da minha perseverança.

Em conclusão, gostaria de estender meus sinceros agradecimentos a todos os mencionados acima, bem como a todos que contribuíram de alguma forma, grande ou pequena, para este trabalho académico. O seu apoio e encorajamento foram inestimáveis.



## **Resumo**

Todos nós temos um igual direito de aceder à cultura e património. O desenvolvimento de meios para melhorar esta acessibilidade são fundamentais para criar uma sociedade mais inclusiva.

Este estudo teve como objetivo explorar como é que modelos táteis, impressos em 3D, do património construído poderiam melhorar a acessibilidade para pessoas com deficiências visuais. Apesar do esforço em tornar o património construído igualmente acessível para todos, concluiu-se que em Portugal este aspeto ainda está aquém.

De modo a atingir este objetivo, o estudo foi desenvolvido em três partes. Primeiro foi desenvolvida uma investigação dos conceitos, recomendações e exemplos no tema da acessibilidade para pessoas com deficiências visuais. Um exercício prático foi conduzido como segunda parte deste estudo. Em conjunto com um grupo de investigação, constituído pelos orientadores deste documento, a autora e duas alunas da FAUL, foram modelados e fabricados cinco modelos táteis de edifícios patrimoniais portugueses bem como detalhes dos mesmos, utilizando a tecnologia de impressão 3D FDM. Na terceira parte foram analisados os resultados e, feitas conclusões e recomendações.

Através da utilização de tecnologias de impressão 3D concluiu-se que podem ser feitos grandes avanços na área da acessibilidade, ajudando o património construído a ser mais acessível para todos.

## **Palavras-chave**

Acessibilidade | Património | Deficiências Visuais | Modelos Táteis | Fabricação 3D

## **Abstract**

Everyone has an equal right to access culture and heritage. Developing means to improve this accessibility are key to create a more inclusive society.

The aim of this study was to explore how 3D printed tactile models of built heritage sights could improve accessibility for the visual impaired. Despite the effort to make built heritage equally accessible to everyone, it was found that in Portugal this aspect is still lacking.

To achieve this aim, the study was developed in three parts. First a study was conducted on the concepts, guidelines, and examples on the topic of accessibility for the visual impaired. A practical project was conducted as a second part of this study. Together with an investigation group, consisting of the teacher advisors for this document, the author and two other students from FAUL, five tactile models of Portuguese heritage sights and pieces from them, were modelled and fabricated using FDM 3D printing technology. In the third part the results were analysed, and conclusions and recommendations were made.

It was concluded that by using 3D printing technologies, great advancements can be made in the accessibility field, helping built heritage become more accessible to all.

## **Keywords**

Accessibility | Heritage | Visual Impairments | Tactile Models | 3D Fabrication

# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	III
<b>Resumo</b> .....	V
Palavras-chave .....	V
<b>Abstract</b> .....	VI
Keywords .....	VI
<b>Índice</b> .....	VII
<b>Índice de Figuras</b> .....	X
<b>Índice de Tabelas</b> .....	XV
<b>Índice de Diagramas</b> .....	XV
<b>Índice de Gráficos</b> .....	XV
<b>Glossário de Siglas</b> .....	XVI
<b>Glossário de Conceitos</b> .....	XIX
<b>Introdução</b> .....	1
<b>Objetivos</b> .....	2
<b>Questões de Trabalho</b> .....	2
<b>Metodologia</b> .....	3
<b>PARTE 1 – ESTADO DO CONHECIMENTO</b> .....	7
1 Deficiência .....	7
1.1 Evolução histórica .....	7
1.2 Conceito .....	11
1.3 Deficiências visuais .....	13
2 Acessibilidade .....	17
2.1 Evolução Histórica .....	18
2.2 Obstáculos à Acessibilidade .....	22

2.3	Acessibilidade para pessoas com deficiências visuais .....	23
2.4	Acessibilidade ao Património .....	24
3	Materiais táteis .....	27
3.1	Originais .....	27
3.2	Reproduções .....	28
4	Técnicas de Modelação e Fabricação 3D .....	31
4.1	Modelação 3D .....	31
4.2	Fabricação 3D .....	41
5	Casos de Referência .....	51
5.1	Museo Tifológico de la ONCE – Madrid .....	51
5.2	Obra do Escultor Egbert Broerken .....	54
5.3	Escultura Tátil da Torre de Belém .....	57
5.4	Estúdio inkl.Design .....	59
6	O contexto português .....	61
6.1	Estatística populacional .....	61
6.2	Legislação .....	62
7	Síntese .....	69
<b>PARTE 2 - EXPERIÊNCIA PRÁTICA .....</b>		<b>73</b>
8	“Caderno de encargos” .....	75
9	Processo .....	77
9.1	Linha Cronológica .....	77
9.2	Recolha e análise das bases gráficas existentes .....	78
9.3	Análise das reuniões de testagem e avaliação dos modelos .....	79
9.4	Captura Fotogramétrica dos pormenores construtivos ou decorativos .....	87
9.5	Modelação CAD e preparação dos modelos para impressão .....	91
9.6	Revisão do processo de modelação e novos testes de impressão .....	97
9.7	Modelação final de todos os monumentos .....	98

9.8	Planificação e criação de assemblagens .....	99
9.9	Impressão 3D.....	100
9.10	Montagem no local nas mesas finais .....	107
10	Modelação 3D do Convento de Cristo (CC).....	109
10.1	Processo de modelação 3D .....	109
10.2	Exemplos de elementos simplificados na modelação .....	118
11	Interação do público com os materiais táteis .....	125
<b>PARTE 3 – Conclusões e recomendações .....</b>		<b>131</b>
12	Discussões.....	133
12.1	Benefícios dos modelos impressos em 3D para pessoas com deficiência visual.....	133
12.2	Vantagens e desvantagens de modelos táteis impressos em 3D.....	135
12.3	Considerações do processo de modelação .....	139
12.4	Limitações da investigação .....	140
13	Direções futuras de pesquisa.....	141
14	Conclusões .....	143
<b>Referências .....</b>		<b>145</b>
Publicações .....		145
Legislação .....		149
Sítios da Internet .....		151
<b>Anexos.....</b>		<b>157</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 - Alfabeto Braille. ....	15
Figura 2 - 'InSight' visitas temporárias ao American Art Museum. ....	27
Figura 3 - Projecto Arte Access: miniatura do coche.....	28
Figura 4 - Representação em relevo da Madonna del Prato.....	29
Figura 5 - Madonna del Prato - Raphael. ....	29
Figura 6- Martírio de S. Sebastião, Gregório Lopes, 1536-39.....	30
Figura 7- Representação em relevo do Martírio de S. Sebastião.....	30
Figura 8- Mapa tátil da Estação Central de Haia, Holanda. ....	30
Figura 9- Ivan Sutherland utilizando o Sketchpad. ....	32
Figura 10- Partes de um polígono.....	33
Figura 11- Curva (a) e Superfície (b) NURBS.....	34
Figura 12- Níveis de detalhe do modelo de um elefante utilizando mesh poligonal.....	35
Figura 13- Ilustração dos ambientes de trabalho utilizando programação. ....	37
Figura 14- Ilustração dos ambientes de trabalho utilizando programação visual. ....	38
Figura 15- Ilustração esquemática do processo de triangulação em fotogrametria. ....	39
Figura 16- Ilustração de diversos tipos de tornos ao longo dos anos.....	42
Figuras 17 e 18- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão Stereolithography tradicional (à esquerda) e do método invertido (à direita). ....	44
Figura 19- Fotografia de impressora FDM. ....	45
Figuras 20 e 21- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão LENS utilizando material em pó (à esquerda) e do método EBAM utilizando material em fio (à direita). ....	46
Figura 22- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão UV-cured Material Jetting. ....	47
Figura 23- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão de Jato de Aglutinante. ....	48

Figura 24- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão de Fusão em pó. ....	49
Figura 25- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão de Laminação de Folhas. .....	50
Figura 26– Pessoa cega a utilizar o telemóvel para aceder a uma peça musical. ....	51
Figura 27– Modelo do Templo Expiatório da Sagrada Família, Espanha, feito por Jordi Brunet Foraste em resina de poliuretano e madeira. ....	52
Figura 28– Modelo do Padrão dos Descobrimentos, Portugal, feito por Josefa León Tijero em resina de poliuretano e madeira. ....	52
Figura 29– Modelo da Torre de Pisa, Itália, feito por Josefa León Tijero em resina de poliuretano e madeira. ....	52
Figura 30– Fotografia da galeria de obras de artistas cegos e com deficiência visual grave. ....	53
Figura 31– Modelo da cidade de Münster, Alemanha.....	54
Figura 32– Egbert Broerken esculpindo os modelos iniciais em espuma de poliestireno .....	55
Figura 33– Felix Broerken esculpindo os modelos iniciais em espuma de poliestireno .....	55
Figuras 34 e 35– Modelo da Basílica de Santa Maria, Cracóvia, Polónia.....	56
Figuras 36 e 37- Fotografia do modelo acumulando água (à esquerda) e Fotografia do modelo acumulando poeiras (à direita). ....	57
Figuras 38 e 39- Fotografias do lixo acumulado no interior do modelo. ....	57
Figuras 40 e 41- Fotografia do modelo e texto informativo (à esquerda) e Fotografia do painel informativo (à direita). ....	58
Figuras 42 e 43- Fotografia de uma das peças da exposição (à esquerda) e Fotografia de um visitante a tocar amostras dos materiais da fachada (à direita). ....	59
Figura 44- Voluntário tateando excerto do busto de D. João V.....	81
Figura 45- Voluntário tateando excerto do busto de D. João V.....	82
Figura 46 Voluntária tateando os bustos de D. Pedro e D. Inês de Castro .....	84
Figura 47- Captura da reconstrução do pormenor das cordas da janela do Convento de Cristo.....	87

Figura 48- Captura da reconstrução do pormenor das cordas da janela do Convento de Cristo suavizada .....	87
Figura 49- Levantamento fotográfico do busto de D.João V .....	88
Figura 50- Modelo tridimensional do busto de D.João V .....	88
Figura 51- Levantamento fotográfico do Túmulo de D.Pedro .....	89
Figura 52- Levantamento fotográfico do Túmulo de D.Inês .....	89
Figura 53- Modelo tridimensional do Túmulo de D.Pedro .....	89
Figura 54- Modelo tridimensional do Túmulo de D.Inês .....	89
Figura 55- Levantamento fotográfico do Apóstolo .....	90
Figura 56- Modelo tridimensional do Apóstolo .....	90
Figura 57- Fotografia do modelo tátil do Cavaleiro junto da peça real .....	90
Figura 58- Fotografia do modelo tátil do Capitel junto da peça real .....	90
Figura 59- Captura do processo de modelação utilizando Grasshopper .....	92
Figura 60- Captura do processo de modelação utilizando Grasshopper .....	92
Figura 61- Captura de modelos criados utilizando Grasshopper .....	93
Figura 62- Captura de pormenores criados utilizando Grasshopper .....	93
Figuras 63, 64 e 65- Captura da separação do modelo do MNMC .....	95
Figuras 66 e 67- Captura do modelo do MB e MNMC mostrando os ocos e encaixes criados .....	96
Figura 68- Captura do Meshmixer com erros .....	96
Figura 69- Fotografia dos encaixes e testes de espaçamento .....	99
Figura 70- Fotografia dos encaixes do Apóstolo .....	99
Figura 71- Captura do slicer PrusaSilcer .....	100
Figura 72- Captura do G-Code gerado .....	101
Figura 73- Captura do slicer PrusaSilcer com indicação do material necessário para a impressão ....	101
Figura 74- Fotografia do processo de remoção de suportes .....	102

Figura 75- Desenhos técnicos das mesas expositivas .....	107
Figura 76- Fotografia do processo de montagem das peças .....	108
Figura 77- Fotografia do processo de montagem das peças .....	108
Figura 78- Fotografia aérea do Convento de Cristo .....	109
Figura 79- Planta do Convento de Cristo-identificação das formas principais, esc.1/4000,.....	109
Figura 80- Levantamento de elementos do Alçado Norte, bases -Instituto Português do Património Cultural, esc.1/1000 .....	110
Figura 81- Bases 2D orientadas .....	111
Figura 82- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	111
Figura 83- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	112
Figura 84- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	112
Figura 85- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	113
Figura 86- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	113
Figura 87- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	114
Figura 88- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	114
Figura 89- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	115
Figura 90- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	115
Figura 91- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	116
Figura 92- Modelo tridimensional do Convento de Cristo seccionado .....	116
Figura 93- Modelo tridimensional do Convento de Cristo separados nas respetivas peças de impressão .....	117
Figura 94- Modelo tridimensional do Convento de Cristo separados nas respetivas peças de impressão, mostrando os encaixes .....	117
Figura 95- Fotografia aérea do Convento de Cristo .....	118
Figura 96- Modelo tridimensional do Convento de Cristo .....	118
Figura 97- Fotografia do teste de impressão da muralha .....	118

Figura 98- Fotografia do modelo tátil do Convento de Cristo .....	118
Figura 99- Fotografia aérea do Convento de Cristo .....	119
Figura 100- Modelo tridimensional do Convento de Cristo.....	119
Figura 101- Fotografia do teste de impressão do alçado sul.....	119
Figura 102- Fotografia do teste de impressão do alçado sul.....	119
Figura 103- Fotografia do Claustro do Cemitério .....	120
Figura 104- Modelo tridimensional do Claustro do Cemitério.....	120
Figura 105- Fotografia do teste de impressão do Claustro da Hospedaria .....	120
Figura 106- Fotografia do Claustro dos Filipes .....	121
Figura 107- Modelo tridimensional do Claustro dos Filipes.....	121
Figura 108- Modelo tridimensional do Claustro dos Filipes, separação dos módulos .....	121
Figura 109- Fotografia do teste de impressão do Claustro dos Filipes .....	121
Figura 110- Fotografia das escadas principais.....	122
Figura 111- Modelo tridimensional das escadas principais.....	122
Figura 112- Fotografia da fachada norte do CC.....	122
Figura 113- Modelo tridimensional do Convento de Cristo.....	122
Figura 114- Fotografia aérea do Convento de Cristo .....	123
Figura 115- Modelo tridimensional do Convento de Cristo.....	123
Figura 116- Modelo tridimensional do Mosteiro da Batalha .....	123
Figuras 117, 118, 119 e 120- Fotografias retiradas dos vídeos de interação com o modelo tátil do Palácio Nacional de Mafra .....	126

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1 - Termos utilizados para definir pessoas com deficiência.....	10
Tabela 2 - Tipos de modelação 3D utilizada em cada Monumento ou Pormenor.....	91

## **Índice de Diagramas**

Diagrama 1 - CIDID (ICIDH), OMS, 1980 .....	11
Diagrama 2 - CIF (ICF), OMS, 2001 .....	12
Diagrama 3- Diagrama do processo de Fabricação 3D .....	41

## **Índice de Gráficos**

Gráfico 1- Distribuição da população com incapacidades por escalão etário .....	61
Gráfico 2- Dificuldades (nº) da população residente com dificuldades por tipo e grau de dificuldade ...	62
Gráfico 3- Linha cronológica da investigação .....	77
Gráfico 4- Estatísticas gerais de impressão.....	104

## **Glossário de Siglas**

**ABA** - Architectural Barriers Act

**ABS** - Acrylonitrile Butadiene Styrene

**ACAPO** - Associação dos Cegos e Amblíopes de Portugal

**ADA** - Americans with Disabilities Act

**ADAAG** - Americans with Disabilities Act Accessibility Guidelines

**AfA** - All for All

**AM** - Additive Manufacturing

**ArcHC\_3D** - Architectural Heritage Conservation Research Group

**CAD** - Computer Aided Design

**CAM** - Computer Aided Manufacturing

**CC** - Convento de Cristo

**CIAUD** - Centro de Investigação em Arquitetura Urbanismo e Design

**CID** - Classificação Internacional de Doenças

**CIDID (ICIDH)** - Classificação Internacional de Deficiências, Incapacidade e Desvantagens

**CIF (ICF)** - Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde

**CNC** - Controlo Numérico Computorizado

**CRPD** - Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência

**DED** - Directed Energy Deposition

**DGPC** - Direção Geral do Património Cultural

**DL** - Decreto de Lei

**DMLM** - Direct Metal Laser Melting

**DMLS** - Direct Metal Laser Sintering

**DOD** - Drop on Demand

**DOJ** - Department of Justice

**EAA** - European Accessibility Act (Lei Europeia de Acessibilidade)

**EBAM** - Electron Beam Additive Manufacture

**EBM** - Electron Beam Melting

**FAUL** - Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa

**FDM** - Fused Deposition Modelling

**FHAA** - Fair Housing Amendments Act

**GAM** - Grupo de Acessibilidade aos Museus

**LENS** - Laser Engineered Net Shape

**LOM** - Laminated Object Manufacturing

**MA** - Mosteiro de Alcobaça

**MB** - Mosteiro da Batalha

**MJF** - Multi Jet Fusion

**MNMC** - Museu Nacional Machado Castro

**NPJ** - Nano Particle Jetting

**NURBS** - Non-uniform rational B-spline

**OMS** - Organização Mundial de Saúde

**ONCE** - Organização Nacional dos Cegos em Espanha

**ONU** - Organização das Nações Unidas

**PBF** - Powder Bed Fusion

**PLA** - Polylactic acid

**PNM** - Palácio Nacional de Mafra

**QR** - Quick Response

**SHS** - Selective Heat Sintering

**SL** - Stereolithography

**SLM** - Selective Laser Melting

**SLS** - Selective Laser Sintering

**STL** - Standard Tessellation Language

**TOF** - Time of Flight

**UAM** - Ultrasonic Additive Manufacturing

**UFAS** - Uniform Federal Accessibility Standards

**UNESCO** - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

**UV** – Ultravioleta

## **Glossário de Conceitos**

**Cera perdida** - Cera perdida é um método de escultura de peças metálicas por moldagem. Consiste em fazer um modelo em cera que é revestido com refratário para formar um molde e então aquecido até a cera derreter e sair do molde. Na sequência, se derrama o metal líquido no molde vazio.

**Datilografia** - Arte de escrever à máquina.

**Escopo** - Limite ou abrangência de uma operação.

**Esmerilhar** - Polir com esmeril.

**Háptico** - Relativo ao tato ou ao toque.

**Iteração** - Ato ou efeito de iterar ou de repetir. Repetição de um segmento de código de programação.

**Renderização** - Obtenção de um produto (áudio, vídeo, etc.) resultante de um processamento digital.

**Scripts** - Conjunto de instruções em código para que uma função seja executada numa aplicação.

**Sinterização** - Operação que consiste na aglomeração e compactação de partículas ou pós a altas temperaturas, mas abaixo da temperatura de fusão, a fim de obter blocos ou peças sólidas.

**Slicing** - Significa converter o ficheiro do modelo 3D numa linguagem computacional que pode ser reconhecida pela impressora. Esta linguagem computacional é chamada de G-code.

**Taquigrafia** - Processo de escrever tão depressa como se fala, por meio de caracteres convencionados especiais; estenografia.

**Tiflogia** - Tratado ou estudo acerca da instrução intelectual e profissional dos cegos.

**Voxel** - Um voxel representa um valor em uma grelha regular num espaço tridimensional.



## Introdução

As deficiências fazem parte da condição humana. Estima-se que 1,3 bilhões de pessoas - cerca de 16% da população mundial - atualmente sofram com uma deficiência significativa. Quase todos nós, em algum momento da nossa vida, iremos experienciar uma deficiência, seja esta temporária ou permanente<sup>2</sup> Vejamos a possibilidade de aceder a um espaço, de o poder ver ou até mesmo ouvir, de poder experienciar a Arquitetura, Arte e Cultura com todos os nossos sentidos, a este conceito podemos chamar de acessibilidade ao património cultural. Esta possibilidade que, para muitos, pode ser tomada como garantida, para outros, é uma incerteza.

As barreiras arquitetónicas levam a que a acessibilidade ao património construído seja vista como algo difícil ou até mesmo impossível por muitas pessoas com deficiência, particularmente aquelas que apresentam deficiências sensoriais, isto leva a que as mesmas acabem por abdicar de um dos seus direitos fundamentais, que é o direito de acesso à cultura<sup>3</sup> No entanto, ao longo dos anos têm sido criadas, a nível mundial, leis e normas para permitir e melhorar a acessibilidade a estes locais ou objetos. No contexto português, existe ainda pouca legislação relativamente a este tema, sendo esta maioritariamente relativa à acessibilidade física, havendo apenas algumas recomendações relativas à acessibilidade sensorial.

Ao longo desta investigação será estudada a Acessibilidade à Arquitetura focada na Acessibilidade ao Património construído para pessoas com deficiências visuais, utilizando métodos de modelação e fabricação 3D para a criação de modelos táteis acessíveis.

---

<sup>2</sup> World Health Organization. (2021). Disability

<sup>3</sup> "Toda a pessoa tem o direito de tomar parte livremente na vida cultural da comunidade, de fruir as artes e de participar no progresso científico e nos benefícios que deste resultam." - ONU (1948). Declaração Universal dos Direitos Humanos, Artigo 27.º, Alínea 1, pp.8

## **Objetivos**

Esta investigação tem como objetivo principal a procura e criação de estratégias e metodologias para tornar Museus, Monumentos e Património construído mais acessível a pessoas com deficiências visuais através da criação de modelos táteis utilizando a impressão 3D FDM. E por fim a criação de um documento guia de recomendações.

## **Questões de Trabalho**

O fio condutor desta investigação é a procura de como melhorar a Acessibilidade ao Património para pessoas com deficiências visuais através da criação de modelos táteis, fabricados através da impressão 3D FDM, e quais as suas vantagens e desvantagens perante outros métodos. Pretende-se avaliar como é que esta pode ajudar na acessibilidade para pessoas com deficiências visuais e qual a metodologia mais correta a utilizar (escala específica, nível de informação, cor, entre outros).

## **Metodologia**

Esta dissertação inseriu-se no protocolo de cooperação técnico-científica entre a Direção-Geral do Património Cultural - DGPC e a Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa - FAUL com o objetivo principal de produção de modelos táteis de monumentos para cegos. A investigação insere-se nas atividades do grupo ArchHC\_3D do CIAUD.

A investigação foi dividida em diversos momentos, sendo composta maioritariamente por uma componente teórica, acompanhada de uma componente prática de desenvolvimento de modelos tridimensionais que posteriormente foram fabricados e testados por pessoas com deficiências visuais.

Num primeiro momento foi realizada uma pesquisa e consulta bibliográfica em livros, teses, artigos e outros documentos de apoio na área dos temas e conceitos da acessibilidade, deficiências e formas de acesso tátil. Foram estudados alguns casos de referência para apoio à criação de uma lista de recomendações de boas práticas, onde foram investigadas as metodologias utilizadas nos mesmos.

Num segundo momento foi feita a modelação 3D de um edifício pela autora desta dissertação, no caso, o Convento de Cristo, de uma lista de cinco Museus / Palácios / Monumentos definida pela Direção Geral de Património Cultural – DGPC, com simplificação adequada à escala de fabricação escolhida, uma limpeza e otimização do modelo 3D executado para o processo de fabricação escolhido, impressão 3D FDM. Em paralelo foram modelados quatro outros edifícios, da lista proposta pela DGPC, pelos restantes membros da investigação e foram realizadas reuniões de discussão e testagem dos materiais táteis, desenvolvidos pelos membros da equipa de investigação, com assistência de consultores da equipa da DGPC e da ACAPO e a correção dos mesmos tendo em conta os comentários registados nos testes efetuados.

Finalmente foi feita uma reflexão sobre o trabalho realizado e feitas recomendações para futuros procedimentos na abordagem da temática.



# PARTE 1

## ESTADO DO CONHECIMENTO



# PARTE 1 – ESTADO DO CONHECIMENTO

## 1 Deficiência

O conceito de deficiência e a forma como as pessoas com deficiência são consideradas sofreu grandes alterações ao longo dos anos. Neste capítulo irá ser feita uma breve análise histórica de como as pessoas com deficiência eram vistas pela sociedade ao longo dos anos, irão ser analisadas as classificações internacionais de deficiência e o conceito de deficiência de acordo com a Organização Mundial de Saúde, concluindo com a definição de deficiências visuais, como é que as pessoas com deficiência visual se adaptam à mesma e uma breve explicação do sistema de Braille.

### 1.1 Evolução histórica

A informação presente neste subcapítulo foi escrita com base em FIORANELLI, M. e Roccia, M.G. (2015).

Ao longo do tempo, as atitudes da sociedade para com as pessoas com deficiências, independentemente do seu tipo, sofreram grandes alterações.

No período da Antiguidade Clássica as pessoas com deficiências eram consideradas como seres inúteis ou abominações, era perfeitamente normal nestas sociedades haver uma separação dos seres inúteis dos saudáveis.

Na Grécia antiga aqueles que eram considerados inferiores, inúteis, ou malformados serviam o papel de bodes expiatórios para a comunidade. Quando uma cidade sofria devido à fome, pragas ou guerras, um ou mais destes tributos eram sacrificados, carregando com eles todos os pecados da população, servindo assim um propósito construtivo nas sociedades a que pertenciam. O termo grego utilizado para descrever estas vítimas era *pharmakós*, que tem a mesma etimologia da palavra *pharmakón*, que significa cura, neste sentido, o bode-expiatório tornava-se então numa cura milagrosa e potente que salvava a sua nação e povo.

Na Roma antiga, um recém-nascido que apresentasse uma deformação era imediatamente morto por afogamento ou sufocamento. Esta prática não era uma escolha, mas sim uma obrigação presente na Tábua IV<sup>4</sup> da Lei das XII Tábuas em que se encontrava escrito: *Cito necatus insignis ad deformiate puer esto* - “Se uma criança nascer com alguma deformidade deverá ser morta imediatamente”. De acordo com a lei presente nesta tábuas, o pai tinha, sobre a sua esposa e filhos o direito de vida, morte e de

---

<sup>4</sup> Wikipedia. (2005). Lei das Doze Tábuas

liberdade, assim o nascimento do bebê só era reconhecido quando o pai o pegasse nos braços e erguesse para o céu, *tollere liberum*<sup>5</sup> - “Erguer dos filhos”, era a expressão utilizada para a chegada deste novo ser humano ao mundo. Se o recém-nascido não fosse erguido pelo pai este não era reconhecido legalmente, sendo assim abandonado. O destino das crianças nascidas com deficiências que fossem visíveis à nascença estava ditado diretamente pela lei referida anteriormente, esta seria morta, mas o mesmo não acontecia no caso de deficiências “invisíveis” à nascença, quando as deficiências eram detetadas mais tarde na vida destas crianças, estas eram abandonadas ou segregadas da sociedade.

À semelhança destas crianças, os veteranos da guerra que regressassem a casa depois de terem desenvolvido uma deficiência ao lutar pelo seu império, passariam a ser considerados *deminutus*, deixariam de ser cidadãos modelo, mas sim relegados a um papel marginal na sociedade. Seria a personificação cruel do estigma do esplendor de Roma, mas devido à sua deficiência, eram simultaneamente um herói e um meio-homem. Surge assim o conceito de estigma: uma marca física, uma mancha duradoura que rotula permanentemente uma pessoa, para melhor ou para pior.

Nestas sociedades acreditava-se que os cegos eram capazes de prever o futuro, pois eram incapazes de ver o presente. Esta crença era atribuída devido aos seus outros sentidos altamente desenvolvidos, sendo considerado um sinal de um favor especial dos deuses.

Durante a Idade Média as atitudes da sociedade para com as pessoas com deficiência não viram melhoria. O nascimento de uma criança com deficiência era um ataque à perfeição da natureza, um tipo de punição divina e uma manifestação óbvia da ira de Deus. Nesta época tanto a mãe como a criança eram estigmatizadas, tendo inúmeras mulheres sido acusadas de bruxaria e de terem relações com o Demónio, sendo o seu destino, ser queimadas na estaca junto com os seus filhos.

Embora neste período não existissem leis, como no caso de Roma, em relação ao nascimento de crianças com deficiência, as pessoas que as recebiam no mundo, ainda controlavam o seu destino. Depois de superar o difícil obstáculo do parto, o seu destino dependia agora da situação financeira da sua família. Famílias ricas tinham a possibilidade de escolher entre manter a criança e criá-la segregada dentro de casa ou abandoná-la e deixá-la à sua própria sorte. Nos casos das famílias mais desfavorecidas, em que não havia a possibilidade de sustentar as necessidades deste novo ser, o seu destino era igualmente o abandono.

---

<sup>5</sup> <https://dizionari.simone.it/3/tollere-liberum>

Tendo-lhes sido assim negada a oportunidade de viver com honra, as pessoas com deficiência tinham o "direito" de existir mendigando, desde que cumprissem a regra de ter expostas as suas "deformações" para todos verem. Tornavam-se então essenciais para que a igreja e a comunidade desenvolvessem ações de caridade. O conceito de filantropia contribuiu diretamente para a ideia que deu origem aos primeiros hospitais e instituições especiais estabelecidos durante a Idade Média para cuidar e aliviar o sofrimento dos pobres. O objetivo de separar os "doentes" dos saudáveis era, à semelhança da Antiguidade Clássica, evidente.

O final do século XVIII marcou o início de um incrível período de desenvolvimento para a ciência médica, que se acelerou ao longo do século XIX. Graças a estes avanços científicos tornou-se possível identificar e classificar os diferentes tipos de deficiência ainda que de uma forma muito primitiva, no entanto, as doenças mentais, eram dificilmente reconhecidas, sendo raramente abordadas. Surgiu então no século XIX, o conceito de deficiência que desde então sofreu mudanças significativas.

Os períodos da Primeira e Segunda Guerras Mundiais foram uns dos piores na história da Humanidade. Como resultado estima-se que durante a Grande Guerra (1914–1918) houve 15 milhões de mortos, 8 milhões de inválidos, mutilados e cegos, sendo incontáveis os que desenvolveram traumas e doenças mentais. Esta catástrofe terrível e inédita teve a capacidade perturbadora de arrastar muitas pessoas, consideradas "normais" para o mundo dos deficientes (físicos, mentais e sensoriais).

A mesma história repetiu-se durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), tendo desta vez, os valores, aumentado drasticamente graças à devastação causada pela mesma. Diversas cidades foram afetadas ou destruídas, causando inúmeras casualidades civis juntamente com os soldados e combatentes que lutavam pelos seus países.

Após estes eventos, as sociedades começaram aos poucos a tornar-se mais inclusivas. Começaram a surgir e desenvolver-se serviços de saúde pública, segurança social e começou a haver uma integração das pessoas com deficiência no mercado de trabalho.

Em seguida é apresentada uma tabela, realizada por Oscar Luís Ferreira, que resume perfeitamente a evolução dos termos utilizados para identificar pessoas com deficiência, o seu significado e o valor dado às mesmas.

Tabela 1- Termos utilizados para definir pessoas com deficiência. Fonte: Oscar Luís Ferreira<sup>6</sup>

<i>Período</i>	<i>Termos</i>	<i>Significados</i>	<i>Valor das pessoas</i>
<i>Idade Antiga</i>	Monstros, portentos, anões, cegos, surdos, mudos, aleijados e loucos.	Pessoas sem valor.	Pessoas cujo direito a vida foi negado ou o direito a religião. Os indivíduos eram isolados, porém em alguns casos mantidos por suas próprias famílias.
<i>Idade Média</i>			
<i>Idade Moderna</i>	Idiotas, lunáticos, imbecis, anões, aberrações ( <i>freaks</i> ), loucos, aleijados, cegos, surdos, monstros.	Pessoas sem valor.	Os termos usados são na maior parte das vezes descritivos das condições das pessoas com deficiência e não apresentavam o caráter pejorativo que hoje possuem.
<i>Até 1960</i>	Incapazes ( <i>handicap</i> )	Pessoas sem capacidade de exercer suas atividades independentemente ou com alguma capacidade residual.	A deficiência retira do indivíduo a capacidade de viver independentemente, de exercer adequadamente uma profissão ou de se relacionar socialmente.
<i>1960 a 1980</i>	Defeituosos, Deficientes e Excepcionais.	Indivíduos com deformidade, ou com deficiências físicas ou mentais.	A sociedade passou a utilizar os três termos, que focalizam as deficiências em si sem reforçar o que as pessoas não são capazes de realizar. Crescem, neste período, também os movimentos sociais de defesa do direito das pessoas com deficiência.
<i>1980 a 1987</i>	Pessoas Deficientes.	Pela primeira vez, o substantivo “deficiente” passou a ser utilizado como um adjetivo (pessoa deficiente).	A construção gramatical foi proposta como forma de igualar direitos a partir do momento em que “deficientes” são na verdade “pessoas deficientes”, e, portanto, com os mesmos direitos de outras pessoas.
<i>Idade Contemporânea</i>			
<i>1987 a 1993</i>	Portadores de Deficiência, Pessoas com Necessidades Especiais, Pessoas Especiais.	O termo foi utilizado unicamente nos países de língua portuguesa.	A deficiência passou a ser um valor das pessoas. Este ainda é o termo legal utilizado no Brasil. No entanto, portar significa carregar ou trajar e, portanto, algo que pode ser facilmente abandonado ou mesmo esquecido.
<i>a partir de 1994</i>	Pessoas com Deficiências, Portadores de Direitos Especiais,	Termo usado pela declaração de Salamanca sobre a Educação Inclusiva	
<i>em 2002</i>	Portadores de Direitos Especiais.	O termo cuja sigla é PODE é de fato contraditório, pois as pessoas com deficiência desejam direitos iguais e não “especiais”.	Não há valor agregado pela utilização do termo.
<i>dias atuais</i>	Pessoas com Deficiência e Pessoas Portadoras de Deficiência.	Designação escolhida em Evento realizado pelas organizações de Pessoas com deficiência no ano 2000, em Recife.,	Valores agregados: 1) Uso do poder pessoal para fazer escolhas; 2) Responsabilidade de contribuir com seus talentos para mudar a sociedade numo à inclusão de todas as pessoas com ou sem deficiência.

<sup>6</sup> FERREIRA, O.L. (2011), pp.142

## 1.2 Conceito

Em 1980 a Organização Mundial da Saúde faz uma primeira tentativa de definir o conceito de deficiência com a introdução da CIDID (ICIDH) – Classificação Internacional de Deficiências, Incapacidade e Desvantagens, que seguia o seguinte modelo linear:

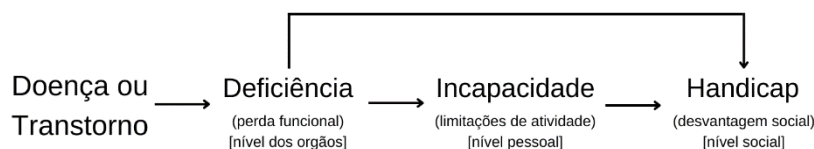


Diagrama 1- CIDID (ICIDH), OMS, 1980. Fonte: Autora (tradução livre)

Nela os seguintes conceitos eram definidos:

- **Deficiência** é 'qualquer perda ou anormalidade de uma estrutura ou função psicológica ou anatômica, sendo a perda física real que está situada ao nível dos órgãos';
- **Incapacidade** é 'qualquer restrição ou incapacidade (resultante de uma deficiência) de realizar uma atividade da maneira ou dentro do intervalo considerado normal para um ser humano.'

As deficiências são então descritas como limitações funcionais, ou restrições de atividade impostas pela deficiência que impede uma realização qualitativa do potencial das pessoas nas atividades cotidianas;

- **Handicap** é 'qualquer desvantagem para um determinado indivíduo, resultante de uma deficiência ou incapacidade que limite ou impeça o desempenho de uma função que é normal ... para aquele indivíduo.' Desvantagem está relacionado às circunstâncias sociais, culturais e ambientais que pode, mas não necessariamente, colocar o indivíduo com alguma deficiência em desvantagem. <sup>7</sup>

Este documento seguia, como referido anteriormente, um modelo linear, muito focado nas causas da deficiência a um nível patológico apresentando maioritariamente um ponto de vista médico, não considerando fatores ambientais ou a possibilidade da deficiência não ser permanente, mas sim temporária. Assim este primeiro documento sofreu críticas por parte de pessoas com deficiência e especialistas, tendo sido feitas diversas versões e revisões, até à sua versão final em 2001.

<sup>7</sup>DISCHINGER, M. (2000), pp. 20, Tradução Livre

Em 2001 foi publicada uma nova classificação que se passaria a chamar CIF (ICF) – Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde, este que seguia um modelo biopsicossocial, em que desapareceriam os termos Deficiência, Incapacidade e Handicap devido às suas conotações negativas, e seriam substituídos por termos mais inclusivos – Funções Corporais / Estrutura Corporal, Atividade, Participação, Fatores Ambientais e Pessoais.

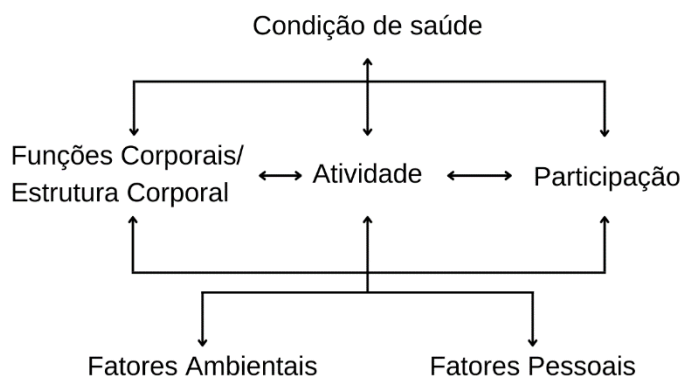


Diagrama 2- CIF (ICF), OMS, 2001. Fonte: Autora (tradução livre)

Assim e de acordo com a definição de Deficiência presente no site da OMS podemos afirmar que, “Deficiência é um termo abrangente, incluindo deficiências, limitações de atividades e restrições de participação. As deficiências são problemas nas funções ou estruturas do corpo, enquanto as limitações de atividade são dificuldades encontradas por um indivíduo na execução de tarefas ou ações. Os problemas experienciados por um indivíduo em situações do dia a dia são chamados de restrições de participação. Por outras palavras, deficiência não é apenas um problema de saúde. É um fenómeno complexo, refletindo a interação entre características do corpo de uma pessoa e características da sociedade em que ela vive.”<sup>8</sup>

A partir desta descrição, é possível reconhecer o esforço feito para abordar este tema considerando todas as variáveis. Devemos assim considerar que nós, como membros da sociedade, somos igualmente responsáveis para combater as barreiras (físicas, sociais ou psicológicas) criadas para com as pessoas com deficiência, ajudando e permitindo uma mais fácil inclusão na sociedade.

<sup>8</sup> World Health Organization. Disabilities, Tradução livre.

### 1.3 Deficiências visuais

De acordo com Classificação Internacional de Doenças (CID-11) da Organização Mundial da Saúde (OMS)<sup>9</sup> as deficiências visuais estão divididas em duas categorias, deficiências visuais à distância e ao perto. O grau de acuidade visual é medido através de testes realizados, a 6m (à distância) ou 0,40m (ao perto) com correções se necessário, aos dois olhos no caso de a pessoa apresentar dificuldades a nível binocular ou apenas um olho se apresentar dificuldades a nível monocular.

As deficiências visuais à distância são divididas em sete categorias:

- Sem deficiência visual (0) - quando apresenta uma acuidade visual maior ou igual a 6/12;
- Deficiência visual leve (1) - quando apresenta uma acuidade visual entre 6/12 e 6/18;
- Deficiência visual moderada (2) - quando apresenta uma acuidade visual entre 6/18 e 6/60;
- Deficiência visual grave (3) - quando apresenta uma acuidade visual entre 6/60 e 3/60;
- Cegueira (4) - quando apresenta uma acuidade visual melhor que 3/60 e tem percepção de luz e pior ou igual a 1/60 ou consegue contar dedos a um metro;
- Cegueira (5) - quando apresenta uma acuidade visual melhor que 1/60 e pior ou igual a ter apenas percepção de luz;
- Cegueira (6) - Sem percepção de luz;
- (9) - Indeterminado ou não especificado.

A visão ao perto refere-se à capacidade de executar tarefas que requerem visão detalhada a uma curta distância. A deficiência visual ao perto é apenas atribuída quando a uma pessoa apresenta uma acuidade visual ao perto pior que N6 ou M0.8<sup>10</sup>, com correções se necessário.

Para efeitos desta dissertação irão ser utilizados os termos Cego ou Cegueira quando referentes a pessoas com perda total de visão, não podendo fazer uso da mesma para identificar e distinguir formas, objetos ou cores, e os termos Pessoa com baixa visibilidade ou Baixa visibilidade quando referentes a pessoas com perda com perda parcial de visão, podendo fazer uso parcial da mesma para identificar e distinguir formas, objetos ou cores.

É importante também referir o termo Normovisual, utilizado em contraste aos anteriormente referidos, este é o termo utilizado para pessoas que não possuem qualquer deficiência visual que impeça o desempenho de atividades básicas do dia a dia.

---

<sup>9</sup> icd.who.int. (2023)

<sup>10</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Snellen\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Snellen_chart), consultado Novembro 2022

### **1.3.1 Adaptação às deficiências visuais**

O momento quando estas deficiências surgem numa pessoa determina a maneira como esta se irá adaptar às mesmas. Uma pessoa que nasça com, ou, desenvolva uma deficiência visual nos seus primeiros anos de vida irá, desde cedo, desenvolver os outros sentidos que lhe permitirão obter a informação que lhe é impossível de obter pela visão. Por contraste, uma pessoa que desenvolva uma deficiência visual mais tarde na sua vida, terá uma maior dificuldade a adaptar os outros sentidos à sua nova forma de viver pois, apesar de poder possuir uma representação mental do mundo que a rodeia, a realidade por si já apreendida passa a ser outra.

Esta necessidade de adaptação a uma nova forma de experienciar o mundo, levou à criação de ferramentas e tecnologias para uma maior inclusão e facilidade de comunicação de informações, para pessoas com deficiências visuais. As principais ferramentas de apoio utilizadas atualmente são a nível de mobilidade, cães de guia ou bengalas, e a nível de apoio à leitura e obtenção de informação, o sistema Braille, dispositivos de ampliação de imagem e sistemas de áudio, sendo estes últimos comumente obtidos através de aplicações no telemóvel da pessoa.

### 1.3.2 Sistema Braille

O Braille é um sistema de leitura e escrita utilizado por pessoas com deficiências visuais, trata-se de um código que pode ser aplicado às diferentes línguas, não sendo assim um idioma universal. Criado por Louis Braille, a ideia surgiu quando Louis estudava no Instituto para jovens cegos em Paris, fundado por Valentin Haüy, após ter perdido a visão quando ainda era criança. Haüy havia já criado um método que permitia aos jovens cegos ler através do sentido do tato, mas Louis, sendo um jovem inteligente não se contentava apenas com saber ler, desejando também escrever, inspirando-se então no sistema de pontos utilizado pelos soldados do exército para ler mensagens em locais sem iluminação, cria o sistema conhecido como Sistema Braille.

Este é então um sistema baseado em 6 pontos em alto relevo, dispostos em duas colunas de 3 pontos cada que, combinados entre si, resultam em 64 combinações / símbolos e permitem responder às diversas necessidades de representações escritas, como o alfabeto, a Matemática ou a Música. Estes seis pontos são designados por Célula Braille e estão numerados de acordo com a posição em que se encontram. Assim, temos: na coluna da esquerda, de cima para baixo, os pontos 1, 2 e 3; na coluna da direita, também de cima para baixo, os pontos 4, 5 e 6.<sup>11</sup>

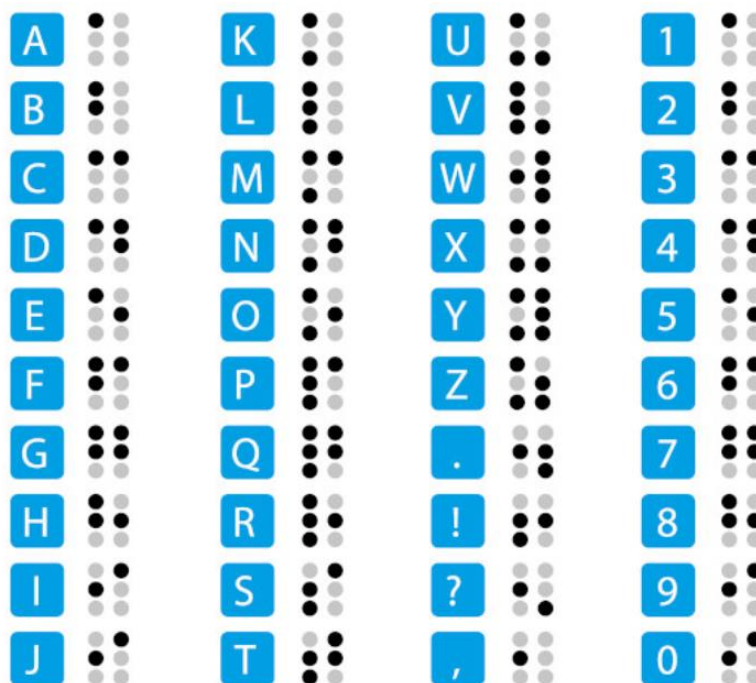


Figura 1- Alfabeto Braille. Fonte: <https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/do-botao-do-elevador-ao-menu-a-importancia-do-braille/>, consultado Maio 2022

<sup>11</sup> <https://www.acapo.pt/deficiencia-visual/perguntas-e-respostas/braille>, consultado Maio 2022



## 2 Acessibilidade

A acessibilidade é um tema que tem vindo a ganhar importância ao longo do tempo, após as grandes guerras e os movimentos civis dos anos 60 começaram a ser criadas novas normas, leis e recomendações com o objetivo de combater a exclusão social e a discriminação, estas que apesar de tudo ainda não são suficientes nos dias de hoje.

Como é dito por GABRILLI, M. (2011, pp.1) “(...) é fácil construir rampas - para isso basta cimento e pedra. No entanto, fazer com que as pessoas entendam a importância da acessibilidade na vida de outros indivíduos, como um idoso, um anão ou uma pessoa com deficiência física, intelectual, visual, auditiva ou múltipla é uma questão bem mais complexa, quase pedagógica.”

Segundo os sete princípios de design universal <sup>12</sup> criados em 1997 e ANDRADE I. *et al.* (2012, pp. 3841)<sup>13</sup>, a Acessibilidade pode ser definida de uma forma simples como desenhar edifícios, cidades e produtos que possam ser utilizados e apropriados com conforto, segurança e autonomia por todas as pessoas de forma igual, independentemente das suas capacidades ou limitações.

A acessibilidade é um conceito multidimensional que pode ser dividido em diversas áreas, correspondentes a diversos obstáculos, como acessibilidade física, acessibilidade sensorial, acessibilidade intelectual, acessibilidade financeira, acessibilidade cultural, acessibilidade emocional, entre outras.<sup>14</sup>

Neste capítulo irá ser feita uma breve análise da evolução histórica das principais normas, leis e documentos relevantes no âmbito da acessibilidade na América e na Europa. Serão também analisados alguns obstáculos à acessibilidade e finalmente analisada a acessibilidade ao património construído e a acessibilidade para pessoas com deficiências visuais.

---

<sup>12</sup> Podem ser consultados em <https://universaldesign.ie/what-is-universal-design/the-7-principles/the-7-principles.html>, consultado Novembro 2021

<sup>13</sup> Tradução livre, “Accessibility is design buildings, cities and products that can be used and appropriated with comfort, security and autonomy for all people equally, regardless of their abilities or limitations.”

<sup>14</sup> SANI M.(2017), pp.2

## 2.1 Evolução Histórica

### 2.1.1 América

Juntamente com o movimento dos direitos civis dos anos 60, o movimento das pessoas com deficiências levou à criação da primeira norma americana de acessibilidade a *A117.1 Accessible and Usable Buildings and Facilities*, publicada em 1961, pela *American Standards Association*, que previa soluções rudimentares para passeios, estacionamento, entradas e portas, casas de banho, bebedouros, telefones públicos e elevadores.<sup>15</sup> Sendo esta uma norma, não era obrigatória até ser adaptada e criada uma legislação pelas entidades estaduais, assim, após adaptação da mesma por vários estados americanos, foram criados<sup>16</sup>:

- Em 1968 o Architectural Barriers Act (ABA) que exigia que as instalações projetadas, construídas, alteradas ou alugadas com certos fundos federais fossem acessíveis a pessoas com deficiência;
- Em 1973 o Rehabilitation Act que proibia a discriminação com base nas deficiências em programas conduzidos por agências federais, em programas que recebessem apoios financeiros federais, em empregos federais e nas práticas de trabalho de empregados federais; Neste são destacadas a secção 504, que declara que “nenhum indivíduo qualificado que possua uma deficiência, nos Estados Unidos, deve ser excluído, negado os benefícios ou sujeito a discriminação sob” qualquer programa ou atividade que receba apoio financeiro federal ou seja conduzido por uma agência executiva ou o Serviço Postal dos Estados Unidos e a secção 508, que estabelece requisitos para a tecnologia eletrónica e de informação desenvolvida, mantida, adquirida ou usada pelo governo federal. A Seção 508 exige que a tecnologia eletrónica e de informação federal seja acessível a pessoas com deficiência, incluindo funcionários e membros do público;<sup>17</sup>
- Em 1984 o Uniform Federal Accessibility Standards (UFAS) que contém os objetivos de acessibilidade e os requisitos técnicos que implementam o Architectural Barriers Act (ABA) de 1968. O documento representa um acordo para minimizar as diferenças entre as normas utilizadas anteriormente pelas quatro agências (a Administração de Serviços Gerais, os Departamentos de Habitação e Desenvolvimento Urbano e Defesa e o Serviço Postal dos Estados Unidos) que estão autorizados a emitir normas sob o Architectural Barriers Act (ABA), e

---

<sup>15</sup> Com base em VIEIRA, A. (2018), pp.13

<sup>16</sup> [www.wbdg.org](http://www.wbdg.org) (2022)

<sup>17</sup> ADA (2022)

entre este e as normas de acessibilidade recomendadas para instalações que não são financiadas ou construídas pelo governo federal;

- Em 1988 o Fair Housing Amendments Act (FHAA) que retificou o Título VIII do Civil Rights Act de 1968 (que proíbe a discriminação com base em raça, cor, religião, sexo ou nacionalidade em vendas, alugueres ou financiamentos de imóveis) requerendo recursos adaptáveis em certas habitações multifamiliares com 4 ou mais unidades;
- Em 1990 o Americans with Disabilities Act (ADA) que proíbe a discriminação com base na deficiência. Estabelece requisitos de projeto para a construção ou alteração de instalações que devem ser acessíveis, abrangendo instalações do setor privado (locais de acomodação pública e instalações comerciais) e do setor público (instalações do governo estadual e local).

Título I - Acesso ao local de trabalho

Título II - Serviços do governo estadual e local

Título III - Locais de acomodações públicas e instalações comerciais

Título IV - Telecomunicações: deficiências auditivas ou de fala

Título V - Instruções diversas para agências federais que fazem cumprir a lei

- Departamento da Justiça dos EUA (DOJ) 1991 Padrões ADA para Design Acessível - Contém o escopo de acessibilidade e os requisitos técnicos que implementam a Lei dos Americanos com Deficiências de 1990. O DOJ adotou o ADAAG como seu padrão para novas construções e alterações do Título III do ADA.
- Em 1998 Diretrizes de acessibilidade da ADA foram alteradas para incluir diretrizes para instalações governamentais estaduais e locais
- Em 2000 Diretrizes de acessibilidade da ADA foram alteradas para incluir diretrizes para áreas de lazer
- Em 2002 Diretrizes de Acessibilidade da ADA foram alteradas para incluir diretrizes para instalações recreativas
- Em 2004 Diretrizes de acessibilidade da ADA e da ABA para edifícios e instalações foram atualizadas e publicadas pela última vez no Federal Register a 7 de maio de 2014

## 2.1.2 Europa

À semelhança do caso americano os movimentos dos direitos civis influenciaram igualmente a legislação europeia.

Em 1961 foi criada a Carta Social Europeia como contraparte da Convenção Europeia dos Direitos Humanos de 1950, esta referente aos direitos civis e políticos. A Carta Social Europeia é um tratado do Conselho da Europa que defende os direitos sociais e económicos fundamentais, garantindo diversos direitos humanos padrão, incluindo aqueles relativos à habitação, emprego, saúde, educação e proteção social. Em 1996 a Carta Social Europeia foi revista para incluir o protocolo opcional de 1988.<sup>18</sup>

Em 2003 foi publicado o Conceito Europeu de Acessibilidade, este trata-se de um conjunto de diretrizes para arquitetura e design, inicialmente criado em resposta a um pedido da Comissão Europeia em 1987. Os princípios do design universal serviram como base para a criação deste conceito. Estas diretrizes são destinadas a projetos de infraestruturas, edifícios, produtos de construção e consumo.<sup>19</sup>

Em 2006 a União Europeia assinou a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CRPD) e o seu protocolo opcional, que visam em promover, salvaguardar e garantir que todas as pessoas com deficiência tenham oportunidades iguais de desfrutar de todos os direitos humanos e liberdades fundamentais, bem como de promover o respeito pela sua dignidade.<sup>20</sup>

Em 2007 foi publicado o mandato M/420<sup>21</sup> em que os principais objetivos do mesmo eram:

- Facilitar o aprovisionamento público acessível do edificado, seguindo os princípios do Design for All, através do desenvolvimento de um conjunto de normas / especificações técnicas em que estavam contidos (I) um conjunto de requisitos funcionais europeus de acessibilidade ao edificado e (II) um conjunto de dados técnicos mínimos para atender a estes requisitos funcionais;
- Fornecer um mecanismo através do qual as entidades públicas tenham acesso a um kit de ferramentas online, permitindo-lhes fazer uso fácil desses requisitos no processo de aprovisionamento.

Em 2010 foi publicado o mandato M/473<sup>22</sup> em que os principais objetivos do mesmo eram:

---

<sup>18</sup> Council of Europe (2014)

<sup>19</sup> ENAT. (2006)

<sup>20</sup> ONU (2006)

<sup>21</sup> Standardisation Mandate M/420.(2007), pp.4

<sup>22</sup> Standardisation Mandate M/473.(2010), pp.7

- Iniciar um programa de trabalho standardizado para atender às necessidades das pessoas com deficiência e pessoas idosas na standardização europeia, lidando com acessibilidade aplicando a abordagem do Design for All;
- Atualizar uma série de padrões em áreas prioritárias de acordo com a abordagem do Design for All;
- Desenvolver um novo padrão que abordariam o desenvolvimento e processo de produção de bens e serviços de fornecimento em áreas prioritárias e que descreveria como considerar acessibilidade para pessoas com deficiência e idosos de acordo com a abordagem do Design for All.

Em 2010 a União Europeia ratificou a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CRPD).

No mesmo ano, a Estratégia Europeia para a Deficiência 2010 - 2020 foi criada no âmbito de possibilitar as pessoas com deficiência desfrutar de todos os seus direitos e beneficiar da participação em sociedade e igualdade de condições com os outros.<sup>23</sup>

Em 2011 foi proposta a Lei Europeia de Acessibilidade (EAA) pela Comissão Europeia, que procurou padronizar os requisitos de acessibilidade em toda a União Europeia e garantir que bens e serviços cotidianos fossem acessíveis a pessoas com deficiências. Em 2016 a Lei Europeia de Acessibilidade (EAA) foi aprovada tendo entrado em efeito em 2019 (Diretiva 2019/882). Após a sua entrada em vigor, todos os estados-membros devem aprovar as leis de implementação necessárias até 28 de junho de 2022 e garantir que medidas de acessibilidade contidas no EAA são implementadas até 28 de junho de 2025.<sup>24</sup>

Em 2021 foi criada a Estratégia Europeia para a Deficiência 2021 - 2030 com base nos resultados da Estratégia Europeia para a Deficiência 2010 - 2020 que apesar de demonstrarem um avanço no âmbito da acessibilidade para pessoas com deficiência, esta ainda não é suficiente.<sup>25</sup>

---

<sup>23</sup> European Commission. (2020)

<sup>24</sup> European Commission. (2019), Forbes. (2022)

<sup>25</sup> European Commission. (2021)

## **2.2 Obstáculos à Acessibilidade**

SANI M.(2017, pp.2) define, no seu artigo Making Heritage Accessible: Museums, Communities and Participation, a acessibilidade como sendo um conceito multifacetado com várias dimensões: física, intelectual, financeira, social, emocional, atitudinal, entre outras. Igualmente MINEIRO, C *et al.* (2004, pp.28 – 30) define em TEMAS DE MUSEOLOGIA- Museus e Acessibilidade, os obstáculos à acessibilidade como sendo: Físicos, Sensoriais, Intelectuais, Emocionais, Culturais e Financeiros. Estando estes definidos na publicação mencionada anteriormente, para efeitos deste documento serão apenas analisados os conceitos de acessibilidade física e de acessibilidade sensorial.

### **2.2.1 Acessibilidade Física**

A acessibilidade física pode ser definida como a readaptação da ergonomia dos edifícios ou espaços urbanos, promovendo a adequação espacial e a remoção de barreiras físicas e ambientais em locais públicos e privados. Isso significa derrubar barreiras à mobilidade e fornecer às pessoas com deficiência as ferramentas necessárias para se movimentar de forma autónoma.

Mas a realidade humana é muito mais variada. As pessoas têm estaturas e capacidades diferentes, bem como diversos graus de mobilidade física.<sup>26</sup> A acessibilidade física deve promover o uso seguro para todos, incluindo grávidas, pessoas com carrinho de bebé, idosos, crianças e todas outras eventuais situações particulares, temporárias ou definitivas.<sup>27</sup>

Na legislação portuguesa (será analisada mais aprofundadamente no capítulo 6), nomeadamente no Decreto-Lei n.º 163/2006, de 8 de agosto estão definidas as normas e recomendações referentes a acessibilidade física.

### **2.2.2 Acessibilidade Sensorial**

A acessibilidade sensorial diz respeito à possibilidade de aceder e experienciar o espaço através dos nossos sentidos. O objetivo da acessibilidade sensorial é garantir que todas as pessoas com ou sem limitações sensoriais possam aceder e experienciar o espaço e os vários ambientes, incluindo o património construído, de maneira significativa e inclusiva. Esta é principalmente focada em atender às necessidades sensoriais de indivíduos com deficiência, particularmente aqueles com deficiência visual ou auditiva.

---

<sup>26</sup> MINEIRO, C. *et al.* (2004), pp. 28

<sup>27</sup> VIEIRA, A. (2018), pp.16-17

Na legislação portuguesa não existem de momento normas ou leis específicas referentes à acessibilidade sensorial, existindo apenas algumas recomendações de práticas a poder ser tomadas, referentes a temas de acesso à cultura e património.

### **2.3 Acessibilidade para pessoas com deficiências visuais**

Atualmente, especialmente com os avanços tecnológicos, existem diversas formas de tornar um espaço acessível a pessoas com deficiências visuais, estas tecnologias possibilitaram que os arquitetos e designers criem edifícios mais acessíveis e permitem que os deficientes visuais tenham uma experiência mais imersiva da arquitetura e do espaço. Alguns exemplos de tecnologias utilizadas para tornar os espaços acessíveis a pessoas com deficiências visuais são, softwares text-to-speech, descrições áudio, descrições em Braille, textos com letras ampliadas e modelos táteis (este tópico irá ser desenvolvido no próximo capítulo). Além destas formas de acesso é igualmente importante que os museus e monumentos divulguem e informem os seus visitantes da existência destes elementos e informação que foi adaptada para responder às suas necessidades pois, poucas pessoas com deficiência visual consideram que os mesmos têm algo para oferecer.<sup>28</sup>

Nos capítulos seguintes, irão ser aprofundadas formas de tornar o património construído acessível para pessoas com deficiência visual. Explorando caso de referência, práticas e abordagens inovadoras e tecnologias que visam tornar o património construído mais inclusivos e acessíveis para todos.

---

<sup>28</sup> Afirmação com base nas opiniões presentes em HENRIQUES, R. M. V., (2015), pp.48-54 e dos voluntários da ACAPO presentes nas reuniões de testagem dos modelos criados no âmbito desta investigação.

## 2.4 Acessibilidade ao Património

Património é um conceito que engloba a herança coletiva da humanidade, compreendendo elementos tangíveis e imateriais considerados significativos e valiosos. Representa o nosso passado comum e a nossa identidade cultural, servindo de ponte entre gerações e promovendo o sentimento de inclusão. A acessibilidade e preservação do património são cruciais para manter a diversidade cultural, promover o turismo e garantir a transmissão de conhecimentos e tradições. Este tópico, irá ser focado especificamente no conceito de património construído e na importância da acessibilidade a estes locais.

A Convenção do Património Mundial, estabelecida em 1972 pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), fornece uma estrutura para a identificação, proteção e preservação do património cultural e natural de valor universal excepcional. Reconhece a importância dos locais patrimoniais na representação da diversidade das civilizações humanas e na promoção da cooperação internacional para sua conservação.

O património pode ser classificado em duas categorias principais: material e imaterial. O Património tangível ou material refere-se a estruturas físicas, monumentos, sítios arqueológicos, paisagens e artefactos. Estes elementos são muitas vezes o produto da criatividade humana e testemunham as conquistas e aspirações das sociedades do passado. O património imaterial, por outro lado, engloba tradições, expressões orais, artes cénicas, rituais e práticas sociais que são transmitidas de geração em geração.

No domínio do património material, o património construído ocupa um lugar de destaque. Este engloba estruturas arquitetónicas, edifícios, paisagens urbanas e bairros históricos que incorporam estilos arquitetónicos, técnicas de construção e valores culturais de períodos específicos. O património construído serve como um testemunho tangível da memória coletiva de uma sociedade e fornece informações valiosas sobre sua história social, económica, política e religiosa.

Preservar o património construído não é apenas manter as estruturas físicas; mas também implica salvaguardar a autenticidade, integridade e significado cultural desses locais. A conservação do património construído envolve uma abordagem multidisciplinar que combina a arquitetura, arqueologia, engenharia e estudos culturais. Esta requer pesquisa cuidadosa, documentação e implementação de estratégias apropriadas de restauração e manutenção para garantir a longevidade e acessibilidade desses locais.

Melhorar a acessibilidade ao património construído é importante por várias razões. Em primeiro lugar, garante que todos, independentemente de suas habilidades, possam experimentar e apreciar o

significado cultural e histórico desses locais. Promove a inclusão e igualdade de oportunidades para diversão e educação. Além disso, tornar os sítios patrimoniais acessíveis ajuda a preservá-los e protegê-los, promovendo o turismo e o interesse de um público mais amplo.

Acessibilidade ao património construído refere-se à medida em que os locais históricos, monumentos e edifícios podem ser acedidos, compreendidos e apreciados por todos os indivíduos de diversas origens e habilidades, incluindo aqueles com deficiências ou limitações. Acessibilidade refere-se à remoção de barreiras físicas, sensoriais, sociais e culturais que impedem os indivíduos de participar e vivenciar plenamente os espaços patrimoniais.

A acessibilidade física envolve a inclusão de infraestruturas inclusivas, como rampas, elevadores e mapas táteis, para permitir que pessoas com deficiência naveguem pelos espaços de forma independente. Inclui também projetar percursos, sinalização e materiais interpretativos de maneira compreensível e utilizável por indivíduos com deficiências visuais, auditivas ou cognitivas.

Além da acessibilidade física, a acessibilidade social e cultural concentra-se na criação de um ambiente inclusivo e acolhedor para todos os visitantes. Isto envolve promover a consciencialização e a compreensão de diversas práticas e patrimónios culturais, além de promover o diálogo e o envolvimento entre visitantes de diferentes origens. Envolve também a incorporação de múltiplas perspetivas e narrativas na interpretação de sítios patrimoniais.

O património construído serve como um elo de ligação tangível com o nosso passado, conectando-nos com as gerações anteriores e moldando nossa identidade cultural. Garantir a acessibilidade a estes locais é fundamental para permitir que um público mais amplo se envolva e beneficie da rica herança que eles possuem. Ao adotar os princípios de acessibilidade, podemos promover a inclusão, a diversidade e a equidade na conservação do património, promovendo, em última instância, uma compreensão e valorização mais abrangente da nossa herança coletiva.



### 3 Materiais táteis

As formas de acesso tátil referidas de seguida foram baseadas nos diagnósticos e recomendações presentes em MINEIRO, C. et al. (2004, pp.65-67), estas devem ser acompanhadas de uma descrição, que ajude a melhor interpretar a representação tátil. Esta pode ser disponibilizada em braille, letras ampliadas ou descrição áudio.

#### 3.1 Originais

O original é a forma de contacto ideal, não só do ponto de vista de não haver erros, como pode ser o caso numa reprodução, mas também por permitir ao visitante ver e contactar um objeto genuíno, inestimável ou historicamente significativo.

Mas esta realidade é, em grande parte dos casos, impossível de praticar, seja por razões de segurança ou conservação. Como vemos em muitos museus o contacto direto com as peças originais não é facilitado, os expositores são fechados ou existe uma distância de segurança exigida ao visitante. Contudo, existem exceções, como eventos ou exposições temporárias ou até mesmo certos objetos poderem ser tocados no seu local habitual se forem tomadas as devidas medidas de proteção.

Um museu que pretenda tornar a sua coleção mais acessível através do contacto físico, deverá selecionar peças emblemáticas, do seu acervo, suscetíveis de poderem ser tocadas (fig.2).



Figura 2- 'InSight' visitas temporárias ao American Art Museum. Fonte: <https://www.museumnext.com/article/making-museums-accessible-to-visually-impaired-visitors/>, consultado Janeiro 2022

## 3.2 Reproduções

As reproduções são alternativas às peças originais quando estas não podem ser tocadas, seja pela sua dimensão, fragilidade, valor ou condições de conservação. Esta alternativa tem as suas vantagens e desvantagens dentro de cada metodologia, sendo algumas referidas de seguida.

### 3.2.1 Réplicas

Réplica trata-se da representação mais exata possível do objeto original, porém este método é muitas vezes dispendioso ou demasiado complexo. Assim, sempre que não é possível utilizar os materiais originais é recomendado a utilização de uma amostra do material usado no original associada à réplica.

### 3.2.2 Miniaturas / Ampliações

Certas peças devido às suas dimensões não permitem um acesso ao toque ou uma interpretação correta e conveniente. Assim podem ser feitas ampliações, quando os pormenores do original são difíceis de identificar com os dedos, ou miniaturas das peças originais (fig.3) para tornar as mesmas acessíveis ao tato, quando o original é demasiado grande para ser identificado.

Em ambos os casos, estas devem ser acompanhadas de elementos que permitam entender o seu tamanho original e é recomendada a utilização de materiais originais ou materiais que forneçam um toque semelhante.

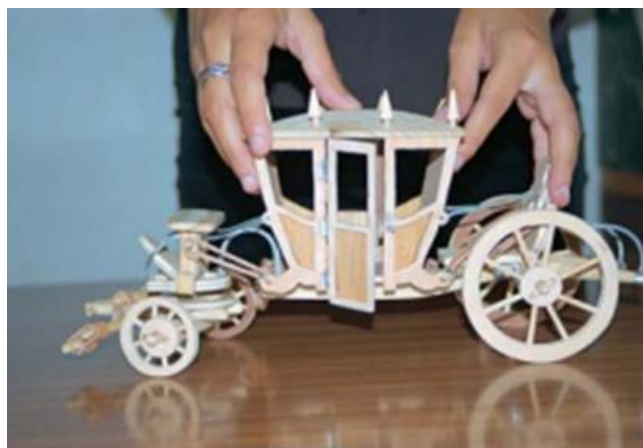


Figura 3- Projecto Arte Access: miniatura do coche. Fonte: MINEIRO, C. et al. (2004), pp.8, consultado Janeiro 2022

### 3.2.3 Representações em relevo

Para as pessoas com deficiências visuais é, na maioria dos casos, impossível perceber representações 2D como pinturas e imagens (fig.5 e 6) ou mapas, uma das maneiras de tornar as mesmas acessíveis a pessoas com deficiências visuais é a sua representação em relevo (fig.7). Esta pode ser feita criando uma representação 2.5D da imagem (fig.4), através da sombra e formas presentes na mesma, sem ser feita qualquer simplificação.

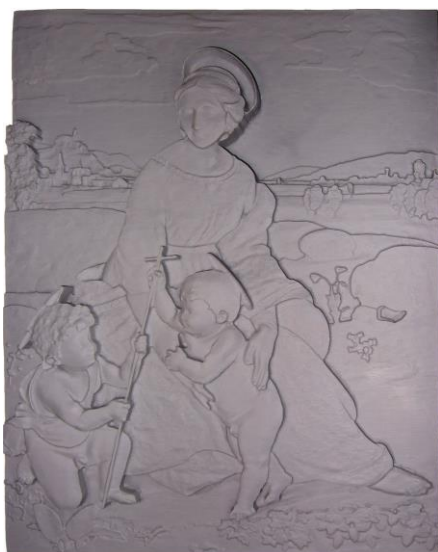


Figura 4- Representação em relevo da Madonna del Prato. Fonte: REICHINGER, A. et al., (2012) pp.5, consultado Abril 2022



Figura 5- Madonna del Prato - Raphael, © Kunsthistorisches Museum. Fonte: REICHINGER, A. et al., (2012), pp.5, consultado Abril 2022

Outra alternativa é a representação da imagem em relevo através de uma simplificação, selecionando os elementos principais para a interpretação da imagem em questão, remoção de informação que possa causar “ruído visual”. Esta “nova” imagem é então adaptada ao tato, utilizando diversas texturas e linhas em relevo, normalmente numa cor contrastante com a cor de fundo.

A semelhança das imagens em relevo, podemos também criar mapas em relevo de espaços ou edifícios, permitindo assim uma melhor compreensão dos mesmos por pessoas com deficiências visuais, estes são criados com linhas e texturas em relevo e utilizando cores contrastantes (fig.8), facilitando a sua interpretação tanto para cegos como pessoas com baixa visibilidade.



Figura 6- Martírio de S. Sebastião, Gregório Lopes, 1536-39. Museu Nacional de Arte Antiga, inv. n.º 80 Pint. Fonte: MINEIRO, C. et al. (2004), pp.66, consultado Janeiro 2022

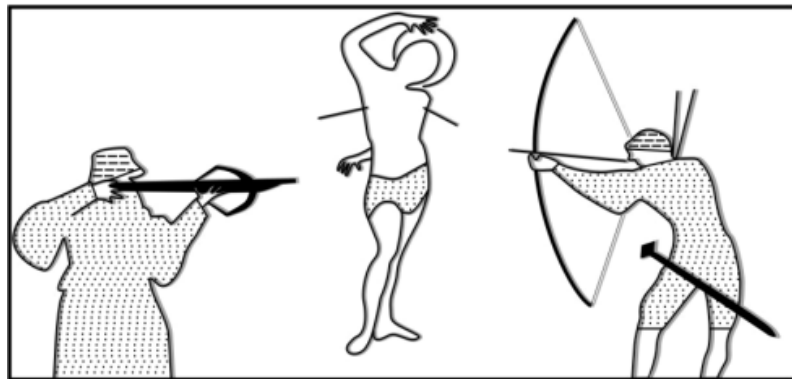


Figura 7- Representação em relevo do Martírio de S. Sebastião. Fonte: MINEIRO, C. et al. (2004), pp.66, consultado Janeiro 2022

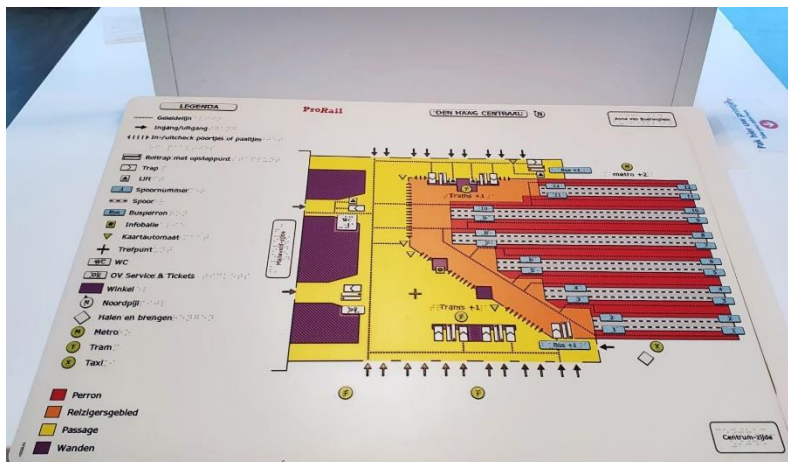


Figura 8- Mapa tátil da Estação Central de Haia, Holanda. Fonte: Fotografia da Autora, Agosto 2022

## 4 Técnicas de Modelação e Fabricação 3D

### 4.1 Modelação 3D

A modelação 3D é uma abordagem de computação gráfica utilizada para criar uma representação digital 3D de qualquer objeto ou superfície utilizando softwares de modelação 3D, estes são por norma criados na sua escala real e posteriormente fabricados à escala desejada. Uma vantagem desta metodologia é a possibilidade de utilizar o mesmo modelo para produzir peças em diversas escalas com diferentes níveis de pormenor. A modelação 3D é utilizada numa variedade de setores, como jogos de vídeo, cinema, arquitetura, design, engenharia e publicidade, bem como aplicações como renderização, simulação, animação e fabricação.

A modelação 3D teve a sua origem antes da introdução do computador pessoal. Os fundamentos matemáticos que sustentam a visualização 3D foram o ponto de partida para a criação da mesma. Euclides, conhecido como o "criador da geometria", é responsável por inúmeros conceitos geométricos essenciais. Em 1600, René Descartes desenvolveu a geometria analítica, também conhecida como geometria cartesiana, que permitia determinar distâncias exatas e posições. Na segunda metade do século XVIII, o matemático inglês James Joseph Sylvester desenvolveu a matemática matricial que é atualmente utilizada em todos os domínios da computação gráfica para representar transformações geométricas e representar e manipular imagens geradas por computador.

Os computadores foram inventados na década de 1950 sendo que eram maioritariamente utilizados na área da matemática, principalmente para objetivos militares e científicos. Isto mudou com a introdução do Sketchpad (fig.9), a primeira ferramenta interativa de design auxiliado por computador (CAD), criado pelo engenheiro americano Ivan Sutherland para o seu projeto de tese de doutoramento no início dos anos 1960. O Sketchpad foi definido como "Um Sistema de Comunicação Gráfica Homem-Máquina".

O Sketchpad é um dos programas mais importantes já inventados. Este foi inicialmente projetado para avaliar a interação Homem-computador, começando como um programa que permitia aos designers utilizar uma caneta de luz para gerar primitivas simples de desenho bidimensional, como pontos, linhas e arcos. Foi um recurso inovador que facilitava a ligação de objetos. Por exemplo, se duas linhas ou dois vetores fossem traçadas a partir do mesmo ponto, P, todas as mudanças em P implicavam uma alteração na extensão e direção das linhas. Para criar interações entre objetos, restrições como pontos podiam ser unidas, superando assim os limites da lógica do desenho convencional. Com a continuação do seu desenvolvimento, passou também a permitir a criação e modificação de objetos tridimensionais, sendo possível visualizar os mesmos através de quatro vistas diferentes, vista de topo, frontal, lateral e em

perspetiva, à semelhança dos atuais programas de modelação tridimensional. O programa incluía ainda alguns dos recursos CAD, que atualmente são considerados padrão, como snaps, zoom e gestão de blocos. Podemos assim afirmar que o Sketchpad é responsável pelo desenvolvimento de todas as interfaces de utilizador que utilizamos hoje.

Após esta conquista, Sutherland juntamente com o seu colega David Evans formaram o primeiro departamento de tecnologias de computação da Universidade de Utah. Em 1968 foi fundada a Evans & Sutherland, tornando-se a primeira empresa de computação gráfica 3D, abrindo o caminho para a democratização da indústria da computação gráfica 3D.



Figura 9- Ivan Sutherland utilizando o Sketchpad. Fonte: <https://computacaograficaecinema.wordpress.com/2013/07/05/historia-da-computacao-grafica-sketchpad-a-man-machine-graphical-communication-system-2/>, consultado Dezembro 2022

A maioria das geometrias utilizada na computação gráfica começam com um ponto simples, três coordenadas no espaço euclidiano ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Estas podem ser criadas utilizando uma variedade de abordagens sendo algumas das formas mais comuns de modelação 3D referidas de seguida.

### 4.1.1 Modelação Poligonal

Um polígono (fig. 10) é uma forma geométrica com  $n$  lados, é definido pelos seus cantos (vértices) e pelas linhas retas que os ligam (arestas). A área interna definida pelos seus vértices e arestas é chamada de face. Assim, um polígono individual é geralmente conhecido como uma face. Nesta metodologia, os polígonos comumente usados são, triângulos e quadriláteros ("quads"). Os polígonos podem partilhar os seus vértices e arestas com outros polígonos, formando uma malha tridimensional - mesh. Também conhecida como mesh poligonal, é formada por formas, que por sua vez são formadas por um grande número de polígonos ligados, esta pode conter vários tipos de polígonos (triângulos, quadrados,  $n$ -lados).

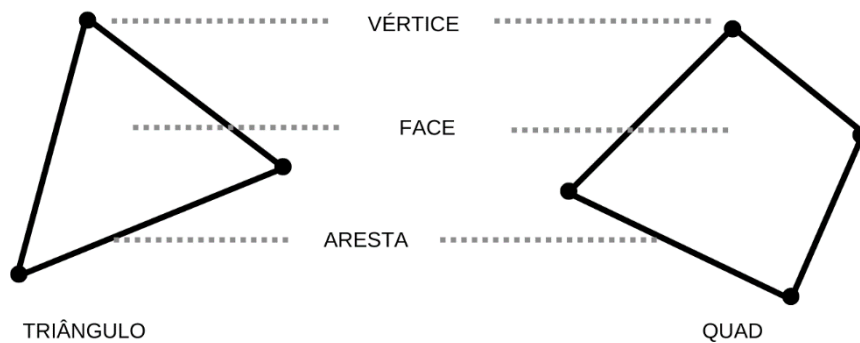


Figura 10- Partes de um polígono Fonte: Autora

Este tipo de modelação depende muito da resolução do modelo, pois consiste num grupo de polígonos. Quanto mais detalhes forem pretendidos, maior será o número de polígonos necessários e, conseqüentemente, maior será o tamanho do ficheiro. Com este método, não é possível obter superfícies curvas perfeitas pelo facto de os polígonos criarem superfícies planas. Apesar de tudo esta metodologia é a mais utilizada devido à sua flexibilidade e rapidez de renderização.

#### 4.1.2 Modelação NURBS

A modelação NURBS é outro tipo de modelação que utiliza curvas para criar superfícies (fig.11), estas são geradas através de um modelo matemático podendo ser consideradas uma generalização das curvas de Bézier. Ao modelar utilizando esta abordagem, são utilizadas curvas, que são manipuladas através de pontos de controlo, e respetivos pesos associados, que modificam as equações matemáticas que as representam. Esta abordagem matemática permite uma flexibilidade e precisão significativas durante todo o processo de modelação 3D. Por extensão, uma superfície tridimensional pode ser criada modificando curvas que a definem.

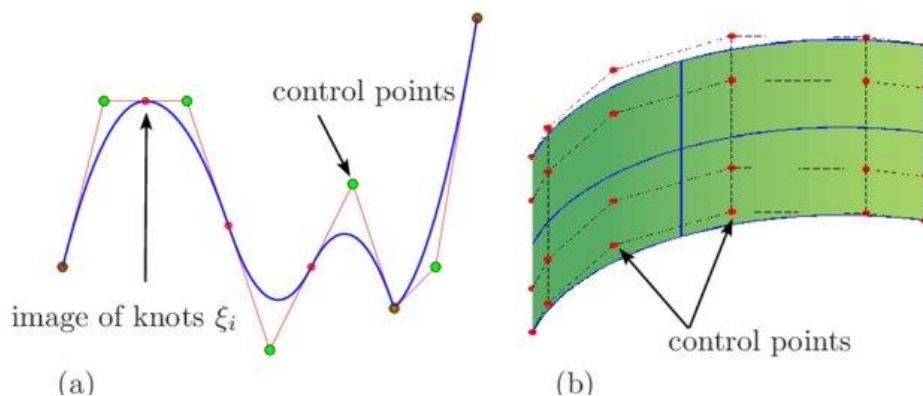


Figura 11- Curva (a) e Superfície (b) NURBS, Vinh Phu Nguyen. Fonte: [https://www.researchgate.net/publication/236688075\\_Isogeometric\\_cohesive\\_elements\\_for\\_two\\_and\\_three\\_dimensional\\_composite\\_delamination\\_analysis/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/236688075_Isogeometric_cohesive_elements_for_two_and_three_dimensional_composite_delamination_analysis/figures?lo=1), consultado Dezembro 2022

### 4.1.3 Escultura Digital

Como referido anteriormente, a maior parte das ferramentas de escultura digital atualmente disponíveis utilizam geometria baseada em mesh, na qual um objeto é representado por uma superfície em mesh com um número variável de polígonos. De certa forma, este processo reflete o procedimento de martelar placas de cobre para produzir objetos em relevo.

Os softwares baseados em mesh, como o Zbrush<sup>29</sup>, Maya<sup>30</sup>, Mudbox<sup>31</sup> ou Blender<sup>32</sup>, tem a vantagem de permitir diferentes níveis de resolução num único modelo. Muitos programas baseados em mesh poligonal permitem a edição da mesh poligonal em vários graus de complexidade (fig.12), e as alterações feitas a um nível afetarão as alterações feitas noutros níveis mais baixos e mais altos de detalhes do modelo. Áreas de maior pormenor do modelo podem ter polígonos mais pequenos, enquanto polígonos maiores podem ser utilizados em áreas de menor detalhe. A topologia fixa da mesh poligonal é uma desvantagem da escultura baseada em mesh poligonal pois a forma como os polígonos são estruturados pode limitar os detalhes que podem ser adicionados ou alterados.

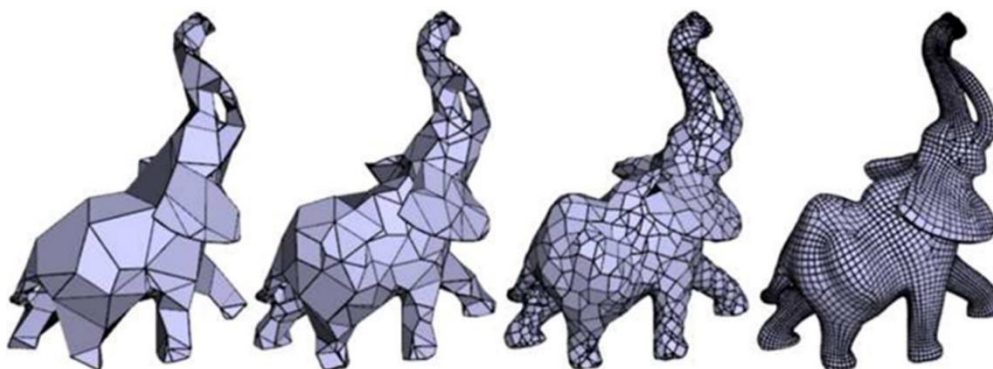


Figura 12- Níveis de detalhe do modelo de um elefante utilizando mesh poligonal. Fonte: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097849312000623#0005>, consultado Dezembro 2022

Outros softwares de escultura digital, como o 3DCoat<sup>33</sup>, empregam geometria baseada em voxels, na qual o volume de um objeto é o componente principal. Neste caso o “material” pode ser adicionado e removido da mesma maneira que é feita uma escultura em barro.

Uma vantagem da escultura baseada em voxels é a liberdade nas formas que os voxels permitem, como a forma de um modelo pode ser continuamente modificada à medida que o material é adicionado e removido, o escultor fica livre de ter de se preocupar com a organização dos polígonos na superfície do

<sup>29</sup> <https://pixologic.com/zclassroom/course/getting-started>

<sup>30</sup> <https://www.autodesk.pt/products/maya/overview>

<sup>31</sup> <https://www.autodesk.pt/products/mudbox/overview>

<sup>32</sup> <https://www.blender.org/features/>

<sup>33</sup> <https://3dcoat.com/articles/article/sculpting-in-3dcoat/>

modelo. No entanto, a capacidade dos voxels em lidar com vários níveis de detalhe é mais limitada. Ao contrário da modelação baseada em mesh poligonal, grandes transformações nos voxels a um baixo nível de detalhe podem danificar completamente os aspetos mais detalhados.<sup>34</sup>

#### **4.1.4 Modelação Paramétrica / Algorítmica**

Segundo TEDESCHI, A. (2014) a modelação paramétrica / algorítmica é uma ferramenta de design auxiliado por computador (CAD) que garante uma grande economia de tempo ao modelar, pois elimina a necessidade de redesenhar o mesmo projeto sempre que um dos parâmetros muda. Anteriormente, qualquer alteração de um dos elementos do objeto 3D implicava a atualização das outras partes do mesmo de que essa dependesse, enquanto que, através da modelação paramétrica / algorítmica as alterações são realizadas automaticamente. Este tipo de modelação pode ser feita através de programação (scripts) ou programação visual (scripts visuais).

#### **Programação (Scripts)**

Um algoritmo é um conjunto de instruções que utilizam um conjunto de inputs, alteram-nos (através de uma função ou funções) e geram um output. Um exemplo informal disto é uma receita culinária, esta pega numa coleção de inputs, chamados de ingredientes, e manipula-os seguindo um conjunto de instruções para criar um output comestível. Os algoritmos podem ser sequências de instruções simples, instruções com pontos de decisão ou iterações.

Desta forma, é possível gerar geometrias através de algoritmos. Uma linha, por exemplo, pode ser definida por dois pontos, um no início e outro no fim, os pontos, por sua vez, podem ser definidos pelas suas coordenadas (x, y, z) que, por sua vez, podem depender de restrições várias, como por exemplo estarem contidas num intervalo específico de valores.

Os objetos deixam então de ser manipulados com o rato e passam a ser definidos por procedimentos escritos numa linguagem de programação especializada, como Auto Lisp no Autocad, RhinoScript no Rhinoceros, MEL no Maya ou outras linguagens de multiplataforma como Python ou C#. Este método, conhecido como scripting, tem vindo a ganhar maior popularidade nos anos mais recentes, apesar de já existir há décadas.

---

<sup>34</sup> <https://3dcoat.com/articles/article/sculpting-in-3dcoat/>

Esta metodologia consiste em dois ambientes de trabalho:

- o editor (A);
- o ambiente de modelação 3D (B).

E produz dois outputs:

- o algoritmo;
- o output do algoritmo, este constituído por geometria associativa 3D ou 2D.

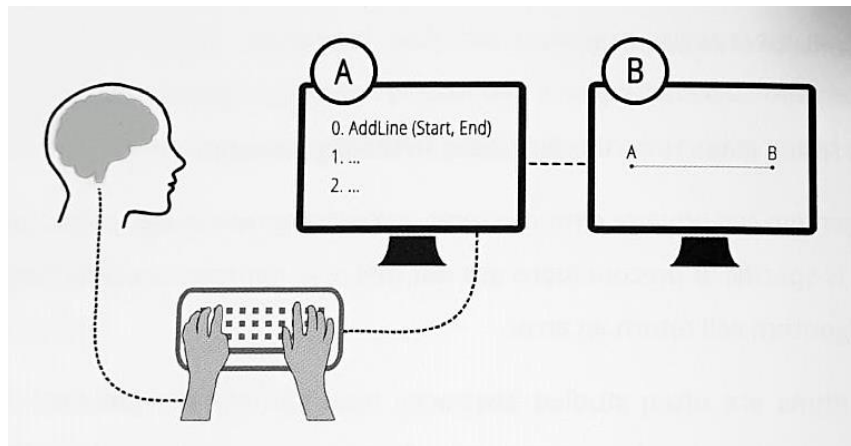


Figura 13- Ilustração dos ambientes de trabalho utilizando programação, Arturo Tedeschi. Fonte: Tedeschi, A. (2014), pp.24, consultado Dezembro 2022

## Programação visual (scripts visuais)

Têm vindo a ser criadas novas ferramentas de programação visual, nos últimos anos, no âmbito de tornar a programação mais acessível para utilizadores com pouca ou nenhuma experiência em programação. Estas ferramentas definem as instruções e relações da programação através de um interface gráfico (ou "Visual"). Em vez de se escrever instruções textualmente, conectam-se entre si, "nós" pré-definidos, definindo um "diagrama". Muitas destas aplicações permitem que os utilizadores interajam com objetos digitais diretamente ou por meio de diagramas paramétricos baseados em nós. Os softwares baseados em nós, como o Grasshopper<sup>35</sup> da Robert McNeel & Associates ou o Autodesk Dynamo<sup>36</sup>, permitem que os utilizadores construam geometrias complexas associando primitivas paramétricas. Através do controlo dos parâmetros de entrada, o diagrama paramétrico tem o potencial de gerar modelos associativos que exploram diversas configurações e resultados.

À semelhança da programação, a programação visual é baseada em dois ambientes de trabalho principais:

- o editor visual (A);
- o ambiente de modelação 3D (B).

Tal processo gera dois outputs:

- o diagrama de nós, também chamado de diagrama paramétrico ou algoritmo visual;
- a saída do diagrama paramétrico constituído por geometria paramétrica 3D ou 2D.

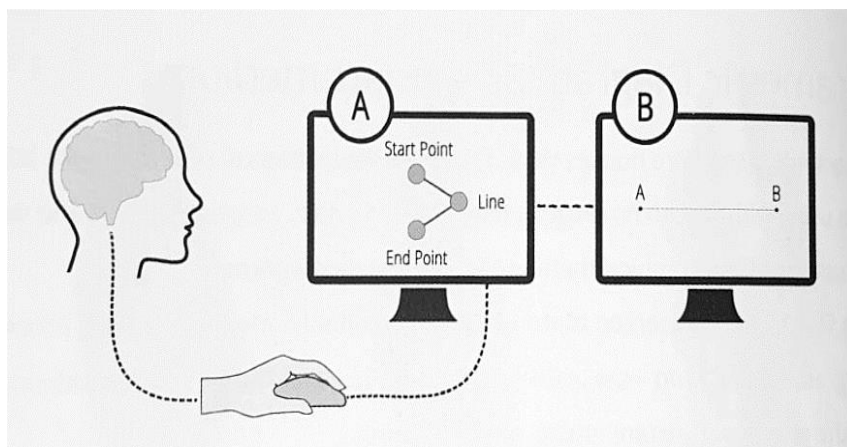


Figura 14- Ilustração dos ambientes de trabalho utilizando programação visual, Arturo Tedeschi. Fonte: Tedeschi, A. (2014), pp.28, consultado Dezembro 2022

<sup>35</sup> <https://www.grasshopper3d.com/>

<sup>36</sup> <https://dynamobim.org/>

#### 4.1.5 Fotogrametria e Varrimento laser

A fotogrametria é a ciência de obter informações confiáveis sobre as propriedades de superfícies e objetos sem contato físico com os objetos e de medir e interpretar essas informações.<sup>37</sup>

A partir da simples aquisição de imagens fotográficas, o operador pode extrair informações espaciais dos objetos presentes numa cena através da aquisição e processamento de inúmeras fotografias. O princípio base da fotogrametria designa-se por triangulação. Resumidamente a triangulação consiste em recuperar a geometria relativa dos feixes de raios visuais e das posições das câmaras no espaço no momento da captura das mesmas (fig.15). Através da triangulação pode reconstruir-se posição espacial de um número quase ilimitado de pontos, a que pode ser associada informação de controlo visando reconstituir a escala e orientação do modelo. O resultado final é uma nuvem de pontos 3D, preservando as características cromáticas do objeto estudado.

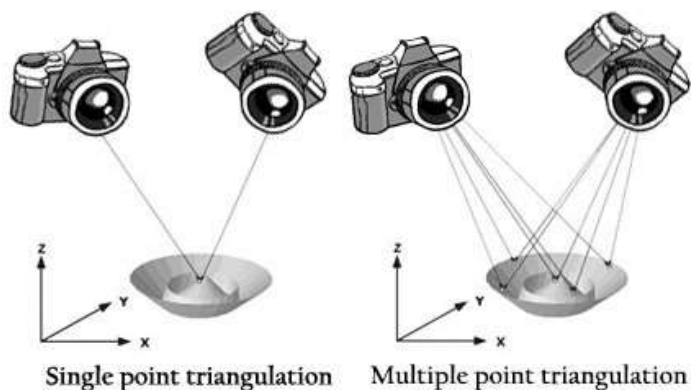


Figura 15- Ilustração esquemática do processo de triangulação em fotogrametria, Galdies Charles. Fonte: [https://www.researchgate.net/publication/322307805\\_Investigating\\_the\\_Use\\_of\\_UAV\\_Systems\\_for\\_Photogrammetric\\_Applications\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_Ramla\\_Bay\\_Gozo\\_Malta/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/322307805_Investigating_the_Use_of_UAV_Systems_for_Photogrammetric_Applications_A_Case_Study_of_Ramla_Bay_Gozo_Malta/figures?lo=1), consultado Dezembro 2022

A Fotogrametria pode ser subdividida em categorias relativamente à forma como são obtidas as imagens, i) fotogrametria aérea (ou Aerofotogrametria), na qual as fotografias do terreno são tiradas por uma câmara de precisão montada numa plataforma aérea (avião, drone ou balão); ii).fotogrametria terrestre, na qual as imagens são tiradas utilizando uma plataforma localizada ao nível do terreno; .iii) fotogrametria espacial que compreende todos os casos de fotografias ou imagens extraterrestres e as medições subsequentes, nas quais a câmara está fixada, na lua, num planeta ou num satélite artificial; iv) fotogrametria a curta-distância (close range) que é utilizada na Arquitetura, Medicina, Indústria, Engenharia, e pressupõe a proximidade entre a câmara e o objeto a ser fotografado.<sup>38</sup>

<sup>37</sup> SCHENK, T., (2005), pp.3, Tradução livre

<sup>38</sup> TOMMASELLI, A. M. G., (2009), pp.2

O varrimento laser é um método ativo de medição, que utiliza a radiação laser para efetuar medições (distâncias) dos objetos. Os scanners a laser registam medições angulares tanto no plano horizontal como vertical que, conjuntamente com a medição de distâncias, permitem definir posições de pontos num espaço cartesiano tridimensional. Genericamente, um scanner laser projeta um feixe laser, num determinado comprimento de onda (entre o verde e o infravermelho), que varre as superfícies dos objetos a medir. Os objetos no caminho do laser refletem parte do feixe de volta para o scanner, fornecendo a geometria usada para gerar os dados 3D.

À semelhança da fotogrametria, também há vários critérios de classificação dos sistemas de varrimento laser, sendo o princípio de medição um deles: i) nos sistemas de tempo de voo (TOF), o scanner a laser mede e calcula a distância entre o laser e a superfície do objeto; ii) nos sistemas de comparação das formas de onda transmitidas e recebidas a distância é calculada através da diferença de fase entre estas ondas; e iii) nos sistemas de triangulação as distâncias são calculadas através do princípio de triangulação ótica tendo por base a distância, no dispositivo, entre a emissão e a receção do feixe laser.

O método de tempo de voo é o sistema de levantamento mais utilizado, permitindo um alcance máximo de várias centenas de metros com a precisão de alguns milímetros a alguns centímetros, dependendo da sua extensão e alcance máximo. O método de comparação das formas de onda é outra abordagem frequentemente utilizada para alcances de até 100 m com precisão de alguns milímetros. O método da triangulação é geralmente utilizado para captura de detalhes.

Quando utilizamos estes métodos, tanto fotogrametria como varrimento laser, é importante ter em consideração o material, a textura da superfície, a cor e a iluminação dos objetos, pois estes fatores podem afetar a precisão dos resultados.

Embora as nuvens de pontos obtidas através destas técnicas possam ser renderizadas diretamente, estas são frequentemente transformadas em modelos de mesh poligonal ou modelos de superfície NURBS por meio de um processo conhecido como reconstrução de superfícies antes de serem convertidos em modelos 3D finais. Isso pode ser feito utilizando o software de fotogrametria, ou então software específico como CloudCompare<sup>39</sup> ou MeshLab<sup>40</sup>, onde podem ser limpos (removendo pontos duplicados ou informações desnecessárias), manipulados e completados (corrigindo erros e adicionando informações em falta) e, finalmente, convertidos numa mesh.

---

<sup>39</sup> <https://www.danielgm.net/cc/>

<sup>40</sup> <https://www.meshlab.net/>

## 4.2 Fabricação 3D

Com os avanços tecnológicos e o uso de tecnologias digitais que tem vindo a aumentar drasticamente ao longo dos últimos anos, surgiram novos cenários e oportunidades na área da fabricação 3D e prototipagem rápida.

A prototipagem rápida é um processo que permite a fabricação de réplicas físicas de objetos com geometrias complicadas diretamente de um modelo matemático digital de maneira rápida, utilizando máquinas CNC. O custo de produção de peças com fabricação 3D tem vindo a baixar nos últimos anos, devido à queda de custos de aquisição de software e hardware, deixando de estar limitado a usos industriais, tendo-se tornado acessível a praticamente todos.

O processo começa com a criação do modelo digital da peça a fabricar, utilizando o software e técnicas referidas no tópico anterior. Após a criação destes modelos, os mesmos são guardados em formato STL (Standard Tessellation Language) e em seguida importados num software de *slicing* onde serão cortados em diversas camadas para a sua fabricação, este tipo de software converte a informação do modelo em G-code, linguagem de programação utilizada pelas diferentes máquinas utilizadas nos diversos processos de fabricação 3D. Depois de ler o ficheiro, a máquina constrói o objeto de acordo com o processo de fabricação desejado. Em alguns casos, após a criação da peça desejada, pode ser necessário proceder a trabalhos de pós-produção como limpeza das peças, remoção de suportes, entre outros.

Estes modelos – primeiro digitais, depois físicos – criam novas possibilidades para aceder, categorizar e estudar bens culturais, uma vez que servem como base para análises visuais e quantitativas de qualquer artefacto, tanto de uma perspetiva artística quanto histórica.



Diagrama 3- Diagrama do processo de Fabricação. 3D Fonte: Autora

## 4.2.1 Fabricação Subtrativa

No processo de fabricação subtrativa o produto final é obtido, como o nome sugere, removendo qualquer material indesejado de um bloco de matéria-prima. Com o auxílio de várias pontas de diversos formatos, os tornos e fresadoras são ferramentas que possibilitam retirar o excesso de material de um bloco.

Este é um processo já utilizado há vários séculos, usado pelos antigos gregos e egípcios sendo estes os primeiros registos da utilização de tornos. O primeiro torno hidráulico data de há mais de 500 anos. (fig.16)

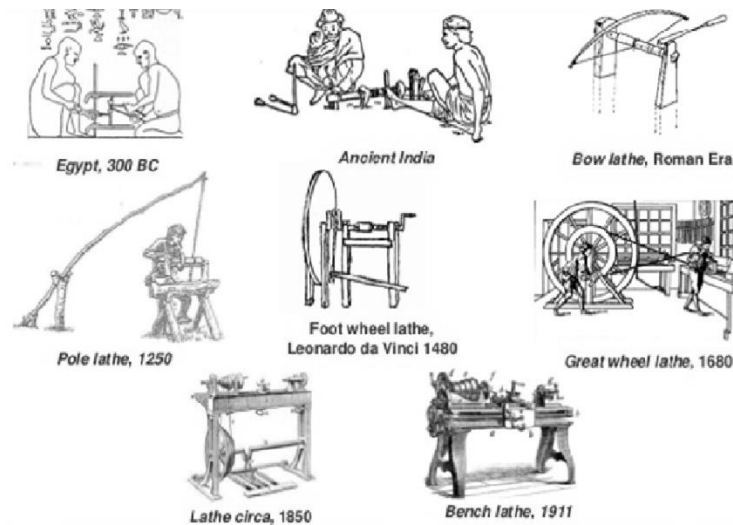


Figura 16- Ilustração de diversos tipos de tornos ao longo dos anos. Fonte: <https://www.linkedin.com/pulse/types-lathes-praagyavardhan-rathore/>, consultado Fevereiro 2022

Os tornos e fresadoras eram, como pode ser visto na imagem anterior, ferramentas operadas manualmente, mas com os avanços tecnológicos, máquinas controladas numericamente conhecidas como CNC (Computer Numerical Control) foram desenvolvidas. As CNC são controladas por computadores e através da informação G-code de um modelo, seguem um conjunto de instruções produzindo um objeto.

Alguns dos processos seguidos pelas CNC são:

- Fresagem, onde a fresa funciona de forma semelhante a uma broca, exceto que gira lateralmente em vez de furar com a ponta da ferramenta, removendo assim o material desejado;
- Torneamento, onde uma peça cilíndrica gira enquanto uma ferramenta fixa remove o material;
- Perfuração, onde uma broca cria furos numa peça;
- Esmerilhamento, onde uma roda abrasiva remove pequenas quantidades de material;
- Serragem, onde o material é cortado em partes com uma lâmina.
- Limagem, onde são removidas pequenas quantidades de material utilizando limas;
- Polimento e escovagem, onde uma superfície lisa ou brilhante é criada com processo abrasivo.

## **4.2.2 Fabricação Aditiva**

No processo de fabricação aditiva (AM), as peças são construídas adicionando material camada a camada de forma aditiva. Este processo é igualmente conhecido como impressão 3D. As impressoras 3D são também máquinas CNC; a única diferença é que estas adicionam material em vez de removê-lo.

Existem diversas técnicas de fabricação aditiva, podendo ser divididas, de uma forma geral, em sete categorias principais: i) Fotopolimerização Vat, ii) Extrusão de materiais, iii) Deposição de Energia Direcionada, iv) Jato de materiais, v) Jato de Binder, vi) Fusão em pó e, vii) Laminação de folhas.

### **4.2.2.1 Fotopolimerização Vat**

Nesta metodologia são utilizadas resinas ou fotopolímeros curáveis por radiação para criar objetos tridimensionais, expondo-os a luz ultravioleta (UV). Na fotopolimerização, os materiais sofrem uma reação química quando expostos à radiação UV, solidificando. O principal tipo de fabricação desta categoria é a Estereolitografia (Stereolithography - SL).

#### **▪ Estereolitografia (SL)**

A Estereolitografia (SL) foi o primeiro método de impressão 3D disponível comercialmente e as primeiras impressoras 3D a serem operacionais, sendo assim o início dos anos 80 considerado o começo da era da impressão 3D.

Neste processo existem quatro componentes essenciais, o líquido fotopolimérico curável por ultravioleta (UV), mesa perfurada, a fonte de laser e o computador / impressora usada para regular o processo. Como nos casos anteriores, um ficheiro oferece as informações geométricas necessárias para a fabricação de um objeto pela impressora 3D.

A mesa perfurada é submersa no tanque de líquido após o ficheiro ter sido lido pela impressora 3D, dando início ao processo de impressão (fig.17 e 18). Os poros perfurados permitem que o polímero líquido entre em contato com a mesa à medida que a mesma desce. O laser UV atinge a superfície superior do fotopolímero líquido assim que o líquido toca a mesa, endurecendo-o imediatamente. Assim, repetindo estes passos a mesa vai descendo formando uma geometria camada por camada, com cada camada sucessiva fundida começando com a camada base.

Após a conclusão da última camada, é necessário submergir a peça impressa num recipiente com um líquido solvente, como álcool isopropílico ou isopropanol, para separar a peça sólida do polímero líquido, e em seguida colocada num forno de cura UV. Após a cura UV temos então a peça final.



Figuras 17 e 18- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão Stereolithography tradicional (à esquerda) e do método invertido (à direita). Fonte: <https://formlabs.com/eu/blog/history-of-stereolithography-3d-printing/>, consultado Fevereiro 2023

#### 4.2.2.2 Extrusão de materiais

Nesta metodologia, um filamento contínuo de material termoplástico ou compósito é usado no processo para a criação de objetos 3D. S. Scott Crump inventou e criou a primeira patente de extrusão de materiais na década de 80, conhecida como Fused Deposition Modeling (FDM).<sup>41</sup>

Com este método de fabricação aditiva, o objeto é construído camada a camada na mesa de impressão, utilizando o filamento termoplástico contínuo que foi alimentado, através de um extrusor aquecido.

O principal tipo de fabricação nesta categoria é a modelação de deposição fundida (FDM).

##### ▪ Fused Deposition Modeling (FDM)

O princípio aditivo da fundição significa que cada camada que é depositada é coberta pela seguinte, gerando sobreposições que, dependendo do material, da dimensão da impressão, do extrusor e da precisão da impressão, criam o objeto e podem produzir rugosidades e texturas.

Um filamento de material é inserido num extrusor ligado a um bocal aquecido. Este derrete o material. A partir daqui o material líquido é empurrado para fora do bocal onde o fluxo pode ser iniciado e interrompido pela ação de um pistão conectado a um motor; este bocal pode ser manipulado vertical e horizontalmente em três direções (x, y, z) por um motor controlado numericamente que é controlado por um programa CAM. Para evitar o rápido arrefecimento da peça durante o processo de impressão, o que pode levar à deformação da mesma, a mesa de impressão é aquecida tornando o arrefecimento e solidificação da peça um processo gradual.

<sup>41</sup> <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/#chap>, consultado Janeiro 2023

Ao utilizar esta técnica, pode ser necessário construir uma estrutura de suporte durante a impressão do objeto, principalmente quando existem áreas vazias ou projeções. Estes suportes são criados pelo software de *slicing* aquando da criação das camadas. No final da impressão, será necessário retirar todos os suportes extra que foram gerados e não constavam no modelo inicial. Esta remoção pode não ser precisa e em alguns casos pode prejudicar a qualidade do produto final.

Existem vários fatores que concorrem para produzir um produto final de qualidade. O tipo de material a utilizar é a primeira consideração a ter. Alguns dos materiais mais comumente utilizados neste processo são o Ácido Poliláctico (PLA), um plástico biodegradável de origem vegetal, ou o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), uma substância gerada a partir do plástico que é útil para criar peças mecânicas devido à sua alta resiliência. A secção do filamento utilizada é outro aspeto a ter em consideração: sendo a secção mais utilizada de 1,75mm, existem filamentos mais grossos, que em conjugação com extrusores de maior diâmetro permitem imprimir, mais rapidamente, peças de grandes dimensões (embora perdendo algum detalhe).

É também possível utilizar impressoras com vários bocais, possibilitando o uso de diversos materiais e cores durante a impressão. Neste caso a criação de suportes poderia ser facilitada utilizando materiais compostos por substâncias solúveis, podendo estes ser removidos em líquidos como água. A eliminação do suporte neste caso seria química.

A qualidade da impressão FDM não se compara com outros processos industriais a laser, mas a relação custo-benefício é uma das vantagens desta metodologia tornando-a mais acessível ao público em geral.

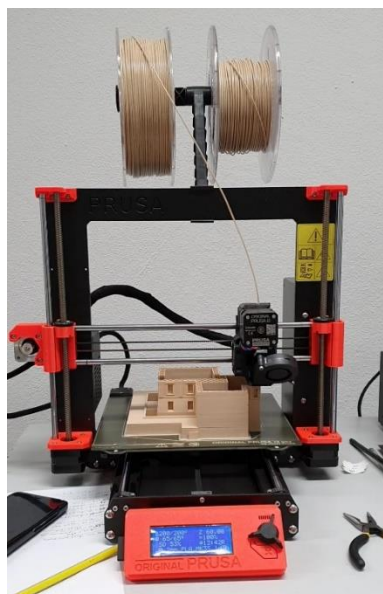
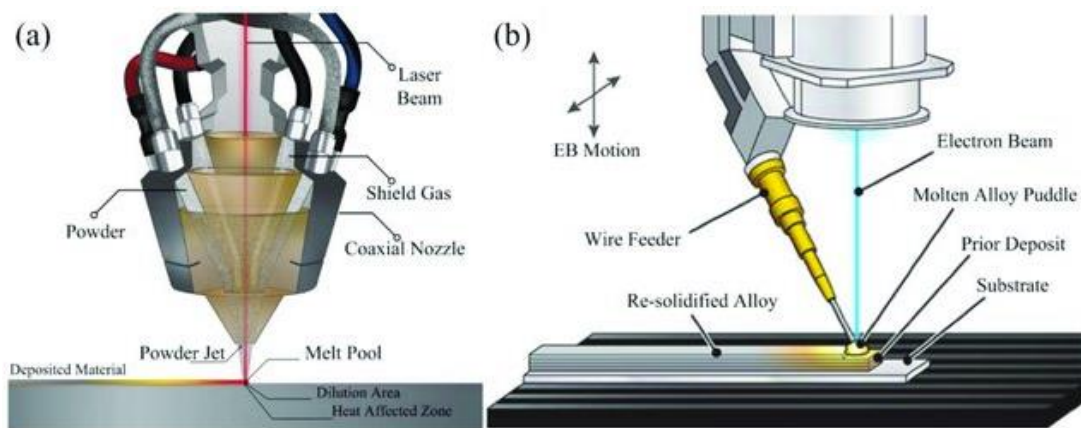


Figura 19- Fotografia de impressora FDM. Fonte: Autora, Junho 2022

### 4.2.2.3 Deposição de Energia Direcionada (DED)

Deposição de Energia Direcionada (DED) é um processo de fabricação 3D que usa metal em fio ou metal em pó e energia térmica direcionada, como laser, feixe de elétrons ou arco de plasma, para derreter e fundir o material à medida que este é depositado num andaime ou mesa de construção, de modo a fabricar peças. O DED pode também ser utilizado para depositar material em peças existentes para repará-las. As máquinas DED usam um bocal montado num braço robótico, de modo que o material possa ser depositado de praticamente qualquer sentido. Uma vez depositado, o fio ou pó é derretido com o laser ou feixe de elétrons. Os resultados são bastante detalhados, sendo que esta técnica pode ser comparável com a técnica de soldagem. Como o tamanho dos objetos produzidos é apenas limitado pelo alcance do braço robótico, esta tecnologia pode ser usada para criar peças de metal muito maiores do que as conseguidas com as impressoras 3D típicas.

Laser Engineered Net Shape (LENS) (fig.20) e Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM) (fig.21) são os dois tipos principais de tecnologia de deposição de energia direcionada. O LENS utiliza um laser direcionado para derreter o material, enquanto o EBAM usa um feixe de elétrons.



Figuras 20 e 21- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão LENS utilizando material em pó (à esquerda) e do método EBAM utilizando material em fio (à direita). Fonte: [https://www.researchgate.net/publication/358279838\\_Metal\\_Additive\\_Manufacturing\\_for\\_Electrical\\_Machines\\_Technology\\_Review\\_and\\_Latest\\_Advancements/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/358279838_Metal_Additive_Manufacturing_for_Electrical_Machines_Technology_Review_and_Latest_Advancements/figures?lo=1), consultado Fevereiro 2023

#### 4.2.2.4 Jato de Material

Para criar uma peça tridimensional utilizando a técnica do jato de material, um bocal deposita seletivamente gotas de material na plataforma de construção, camada a camada, e estas camadas solidificam criando a peça. Este método de fabricação aditiva pode ser comparado às impressoras jato de tinta convencionais. Após a finalização da última camada é necessário, à semelhança da Estereolitografia (SL), curar a peça e remover os suportes se for o caso.

Alguns dos tipos de processos nesta categoria são UV-cured Material Jetting (fig.22), Drop On Demand (DOD) e Nano Particle Jetting (NPJ).

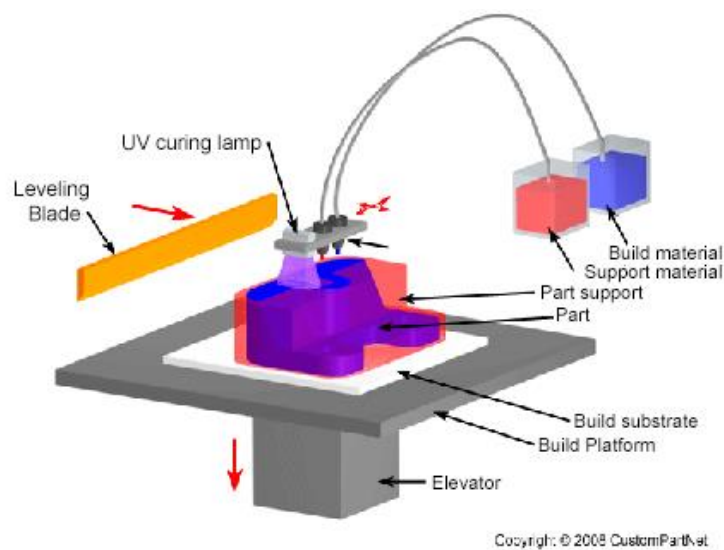


Figura 22- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão UV-cured Material Jetting. Fonte: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialjetting/>, consultado Fevereiro 2023

#### 4.2.2.5 Jato de Aglutinante

À semelhança do caso anterior, a tecnologia de jato de aglutinante (fig.23), é uma tecnologia de jato de material. Esta deposita seletivamente um agente de ligação, ou líquido de ligação, para ligar materiais em pó de forma a criar objetos tridimensionais. Esta técnica difere das anteriormente referidas pelo fato de não utilizar uma fonte de calor para fundir o material.

O processo começa com a distribuição do material em pó na plataforma de impressão, sendo necessário que este abastecimento seja constante e uniforme. Um dispensador em rolo é utilizado para adicionar o pó necessário no processo. A cabeça de impressão deposita o aglutinante sobre a camada de pó de acordo com a informação fornecida pelo modelo. De seguida a plataforma de impressão desce de acordo com a espessura de camada desejada e é novamente distribuída uma nova camada de pó. No final é removido o material em pó em excesso e é obtida uma peça onde o aglutinante foi depositado. Esta peça necessita de ser curada no caso em que o material utilizado seja à base de plástico, ou sinterizada se for à base de metal.

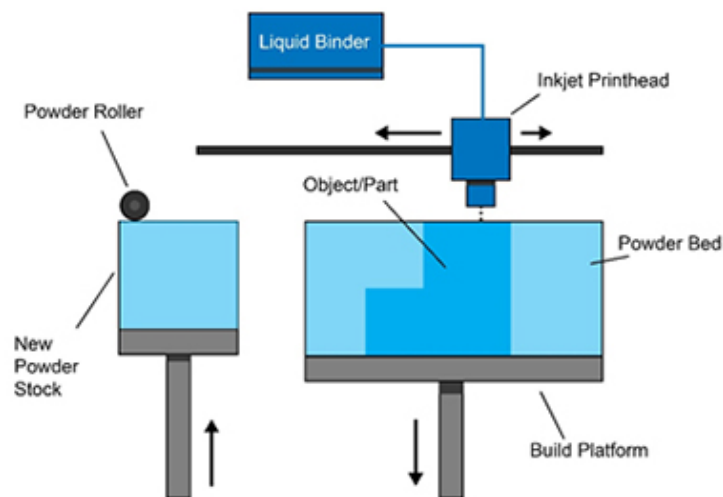


Figura 23- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão de Jato de Aglutinante. Fonte: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/binderjetting/>, consultado Fevereiro 2023

#### 4.2.2.6 Fusão em pó (PBF)

A tecnologia de Fusão em pó (fig.24) funciona exatamente da mesma forma que a de Jato de Aglutinante sendo a única diferença a forma como o material é agregado.

O processo começa igualmente com a distribuição do material em pó na plataforma de impressão, sendo necessário que este abastecimento seja constante e uniforme, um dispensador em rolo é utilizado para adicionar o pó necessário no processo. Um laser funde então o material de modo a criar o objeto. A plataforma de impressão desce, é novamente distribuída uma nova camada de pó e fundido o material. No final é obtido um objeto tridimensional sendo apenas necessário remover o pó em excesso.

Alguns dos tipos de fabricação desta categoria são Selective laser sintering (SLS), Electron Beam Melting (EBM), Selective Laser Melting (SLM), Direct Metal Laser Melting (DMLM) e Direct Metal Laser Sintering (DMLS), Multi Jet Fusion (MJF) e Selective Heat Sintering (SHS).

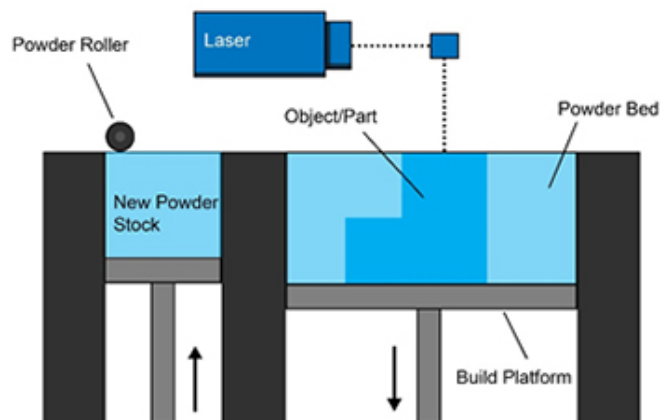


Figura 24- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão de Fusão em pó. Fonte: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/powderbedfusion/>, consultado Fevereiro 2023

#### 4.2.2.7 Laminação de Folhas

A técnica de laminação de folhas é utilizada para criar peças tridimensionais empilhando folhas de material e laminando-as e unindo com adesivo ou soldagem ultrassônica. Após a conclusão da construção, os elementos indesejados das camadas são removidos camada por camada.

Os principais tipos desta categoria são Laminated Object Manufacturing (LOM) e Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM).

- **Laminated Object Manufacturing (LOM)**

LOM é um método de prototipagem rápida que cria modelos laminados feitos de papel, plástico ou metal que são unidos utilizando epóxi. Um laser é usado para cortar o modelo na forma apropriada. O processo (fig.25) começa com uma folha de material colada a um substrato com um rolo aquecido. Em seguida, as camadas subsequentes são cortadas com precisão e coladas uma após as outras. A plataforma, com as camadas acabadas, desce, a próxima folha de material é desenrolada e a plataforma volta à sua posição inicial para receber a próxima camada. O processo continua até a finalização da peça.

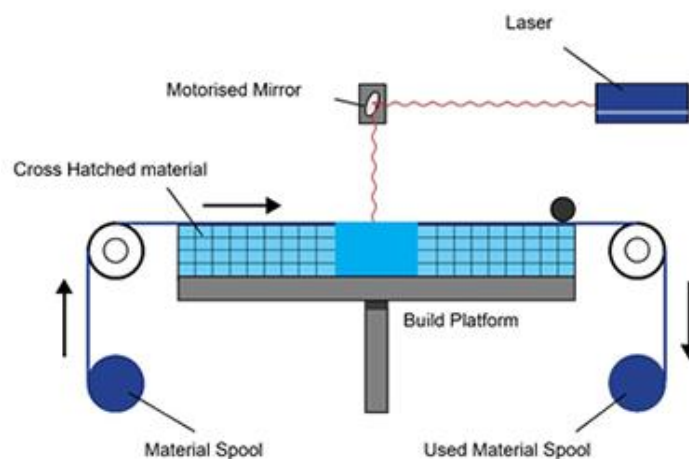


Figura 25- Ilustração esquemática dos componentes do método de impressão de Laminação de Folhas. Fonte: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/>, consultado Fevereiro 2023

## 5 Casos de Referência

### 5.1 Museo Tifológico de la ONCE – Madrid

Criado pela ONCE (Organização Nacional dos Cegos de Espanha) em 1992, o Museu Tifológico <sup>42</sup> tem como objetivo facilitar o acesso à cultura a pessoas com deficiências visuais, promover e divulgar artistas filiados à mesma e oferecer novas formas de interagir com as suas coleções.

O espaço expositivo foi desenhado em conjunto com os sistemas de orientação, utilizando plantas em relevo e Beeacons <sup>43</sup> (sinalizadores de orientação inteligentes, desenvolvidos para facilitar a identificação e localização de objetos próximos por pessoas com deficiência visual através de uma aplicação móvel, esta tecnologia permite o visitante obter informações e descrições áudio dos objetos circundantes, pontos específicos do edifício ou obras expostas permitindo localizá-las facilmente através do som), informações em braille e macro caracteres que tornam a visita acessível para pessoas com deficiências visuais, mas também para todos os públicos.

Na sala de exposições temporárias as informações são disponibilizadas através de códigos QR junto das obras, que permitem o acesso a pessoas com deficiência visual através do seu telemóvel (fig.26).

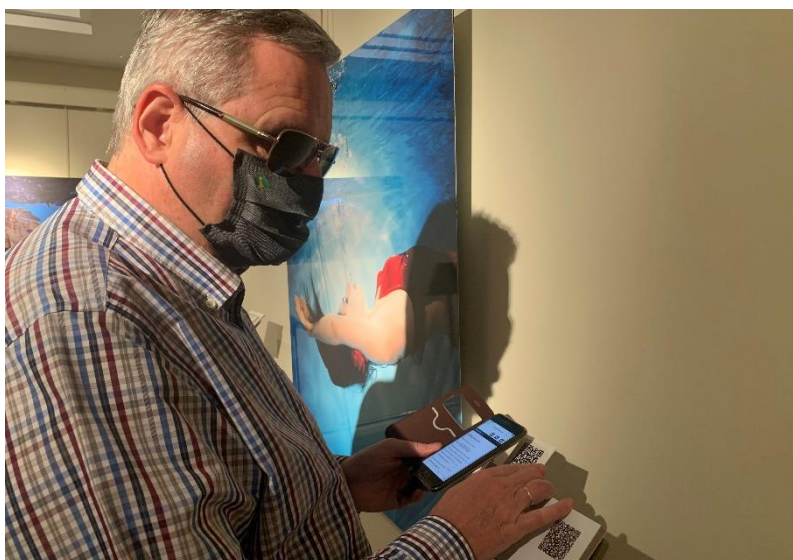


Figura 126- Pessoa cega a utilizar o telemóvel para aceder a uma peça musical. Fonte: <https://museo.once.es/noticias/asi-suenan-las-obras-de-artistas-ciegos-o-con-discapacidad-visual-del-museo-tifologico-de-la-once> consultado Janeiro 2022

<sup>42</sup> <https://museo.once.es/>

<sup>43</sup> <https://www.ilunion.com/es/los-beepcons-permiten-personas-ciegas-disfrutar-del-arte> , consultado em Janeiro 2022

O museu conta com três exposições permanentes:

### Salas de reprodução de monumentos Nacionais e Internacionais

Uma das ferramentas mais utilizadas para transmitir conceitos a pessoas cegas e com deficiência visual severa são os modelos ou maquetes táteis. Nestas salas é possível encontrar diversas maquetes táteis de monumentos nacionais Espanhóis (fig.27) bem como monumentos internacionais (fig.28 e 29) realizados em diversas escalas e materiais, possuindo um sistema de audioguia que fornece informações sobre as peças articuladas em dois níveis, um básico, que corresponde ao passeio tátil do modelo e um segundo nível que oferece informações sobre o estilo e a época do monumento. A grande vantagem de um bom modelo é seu caráter tridimensional, a possibilidade de observá-lo de diferentes pontos de vista e em diferentes níveis de detalhe, ao mesmo tempo em que permite uma visão geral do todo. Isto é especialmente significativo quando falamos de monumentos arquitetônicos, que, devido às suas dimensões, não são acessíveis ao toque ou à visão.<sup>44</sup>



Figura 27– Modelo do Templo Expiatório da Sagrada Família, Espanha, feito por Jordi Brunet Foraste em resina de poliuretano e madeira. Fonte: <https://museo.once.es/obras/0000127000>, consultado Janeiro 2022



Figura 28– Modelo do Padrão dos Descobrimentos, Portugal, feito por Josefa León Tijero em resina de poliuretano e madeira. Fonte: <https://museo.once.es/obras/0000134000>, consultado Janeiro 2022



Figura 29– Modelo da Torre de Pisa, Itália, feito por Josefa León Tijero em resina de poliuretano e madeira. Fonte: <https://museo.once.es/obras/0000128000>, consultado Janeiro 2022

<sup>44</sup> Adaptado da informação disponível em <https://museo.once.es/la-coleccion/sala-de-reproducciones-de-monumentos>, consultado em Janeiro 2022

## Galeria de Obras de artistas cegos e com deficiência visual grave

Como referido anteriormente o Museu Tifológico tem como objetivo a promoção e divulgação de artistas filiados à ONCE. Nesta galeria é possível encontrar uma exposição permanente de obras de diferentes autores, com diferentes especialidades artísticas em que o grupo de artistas cegos e deficientes visuais nos oferece uma amostra representativa do que, hoje, constitui a sua incorporação gradual no mundo das artes plásticas, na sua constante procura de experiências e novas formas de expressão.<sup>45</sup>



Figura 30– Fotografia da galeria de obras de artistas cegos e com deficiência visual grave. Fonte: <https://museo.once.es/la-coleccion/sala-de-obras-de-artistas-ciegos-y-con-discapacidad-visual-grave> consultado Janeiro 2022

## Sala de Material Tifológico

Além de obras de arte e maquetes táteis, o museu possui também uma coleção de material tifológico consistindo de uma amostra dos diferentes sistemas de escrita, anteriores ou contemporâneos ao Braille, a mecanização deste sistema e a sua aplicação aos diferentes campos da educação (alfabetização, matemática, música) e artes industriais (máquinas de impressão, datilografia, taquigrafia ou calculadoras).<sup>46</sup>

<sup>45</sup> Adaptado da informação disponível em <https://museo.once.es/la-coleccion/sala-de-obras-de-artistas-ciegos-y-con-discapacidad-visual-grave/sala-de-obras-de-artistas-ciegos-y-con-discapacidad-visual-grave>, consultado em Janeiro 2022

<sup>46</sup> Adaptado da informação disponível em <https://museo.once.es/la-coleccion/sala-de-material-tifologico>, consultado em Janeiro 2022

## 5.2 Obra do Escultor Egbert Broerken

Egbert Broerken é um escultor e designer alemão nascido em 1950, na cidade de Hovestadt, Lippetal. Estudou Design na Fachhochschule (Universidade de Ciências Aplicadas) de Münster onde, desde cedo, ficou fascinado pelo metal e o trabalho com este material. Tornando-se mais tarde professor nesta mesma escola, bem como em Dortmund.

A ideia de criar esculturas de bronze de cidades e edifícios surgiu durante uma visita à cidade de Soest no âmbito de orientar os alunos da escola para cegos de Soest e, de um exercício prático do seminário que lecionava aos seus alunos. Durante a visita Egbert ouviu acidentalmente como as dimensões da catedral da cidade estavam a ser descritas aos participantes com deficiências visuais, estas que não eram entendidas pelos mesmos. “Depois de já termos projetado mapas táteis da cidade e similares no seminário, o relevo da cidade era uma nova ideia atraente.” – disse o artista. Assim, com o patrocínio do clube Rotary de Münster, foi criado o primeiro modelo tátil, com grande qualidade e pormenor, utilizando a técnica da cera perdida.<sup>47</sup>



Figura 31– Modelo da cidade de Münster, Alemanha. Fotografia de Dietmar Rabich. Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M%C3%BCnster,\\_Stadtmodell\\_am\\_Michaelisplatz\\_-\\_2020\\_-\\_6469.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M%C3%BCnster,_Stadtmodell_am_Michaelisplatz_-_2020_-_6469.jpg), consultado Novembro 2022

Tendo inicialmente desenvolvido, a tactilidade ideal dos modelos e um processo especial para a fundição das descrições em Braille em filigrana de bronze, com o apoio de alunos e professores da Escola para Cegos de Soest, Egbert trabalha atualmente com o seu filho Felix, na produção deste tipo de modelos.

---

<sup>47</sup> Rotary.de. (2018), Tradução livre

### Processo:

Primeiro, os dois artistas visitam e conhecem a cidade caminhando pela mesma, depois desenham as plantas da mesma com o apoio de plantas cadastrais e mapas virtuais como o Bing Maps.

Após todos os edifícios terem sido fotografados e medidos, os elementos individuais são cortados em Styrodur<sup>48</sup> (fig.32 e 33). Os pequenos pormenores, como cortar as janelas, são feitos com um ferro de soldar.

Estes moldes positivos recebem então um revestimento de silicone e em seguida cera. O escultor adiciona a estes moldes, agora feitos de cera, todos os detalhes finais.



Figura 32– Egbert Broerken esculpindo os modelos iniciais em espuma de poliestireno. Fotografia de Atelier Broerken. Fonte: <https://rotary.de/kultur/mit-haenden-zu-greifen-a-12930.html>, consultado Novembro 2022

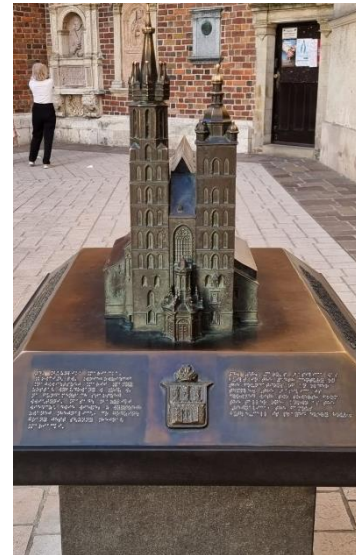
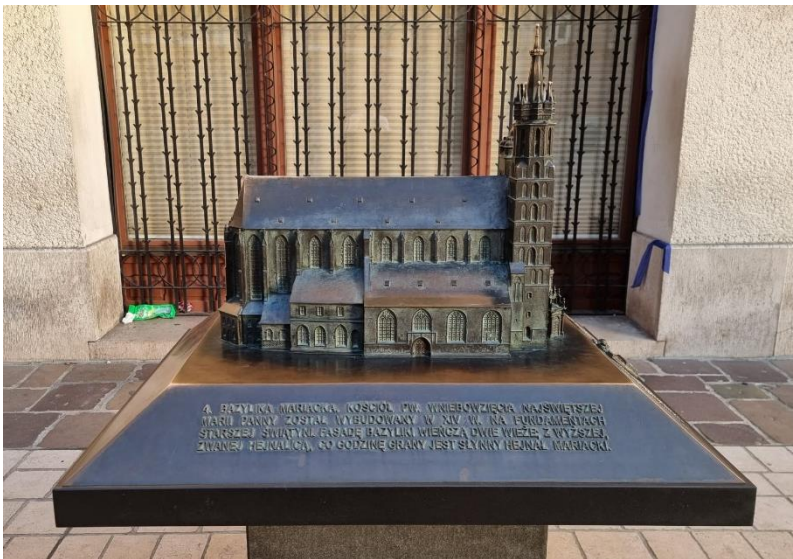


Figura33– Felix Broerken esculpindo os modelos iniciais em espuma de poliestireno. Fonte: <https://egbert-broerken.com/41147.html>, consultado Novembro 2022

<sup>48</sup> Placa de Poliestireno Extrudido de alta densidade

Utilizando o processo de cera perdida, o modelo é finalmente fundido em argila refratária, a cera é derretida num forno por um período de dez dias e a cavidade resultante é preenchida com bronze. Este processo de criação de modelos táteis demora, em média, entre oito e dez meses por projeto.

"Não é apenas mais fácil, mas também mais estável do que um modelo sólido", explica o escultor. Utilizando esta técnica, Egbert e o seu filho Felix já criaram mais de uma centena de modelos de cidades em miniatura e objetos individuais, tanto na Alemanha (fig.31) e países vizinhos (fig.34e 35), como em países não europeus.



Figuras 34 e 35– Modelo da Basílica de Santa Maria, Cracóvia, Polónia. Fotografias de Mickey Stakenburg. Fonte: Mickey Stakenburg Junho 2022

### 5.3 Escultura Tátil da Torre de Belém

À semelhança do exemplo anterior, pode ser encontrada em Belém uma réplica em bronze da Torre de Belém, à escala 1:50, localizada no exterior da Torre junto ao seu acesso. Obra da escultora Maria Leal da Costa, esta foi criada por iniciativa do Rotary Clube de Lisboa Norte no âmbito das comemorações do Centenário do Rotary Internacional (1905 - 2005). Este modelo destinado a todo o tipo de visitantes, conta com um painel informativo colocado junto do mesmo com texto e texto em Braille, apesar de ser um bom exemplo de como tornar o Património Cultural mais acessível, o modelo apresenta alguns problemas, sendo a maioria referidos por VIEIRA, A. *et al* (2012, pp.10 - 11):

- 1) o modelo possui um excesso de informação, que dificulta a sua leitura tátil (testemunho de utilizadores invisuais do GAM);
- 2) o modelo acumula água na sua superfície, bem como poeiras;



Figuras 36 e 37- Fotografia do modelo acumulando água (à esquerda). Fonte: VIEIRA, A. *et al* (2012, pp.11) e Fotografia do modelo acumulando poeiras (à direita). Fonte: Autora, Fevereiro 2023

- 3) o modelo permite a colocação de lixo no seu interior;

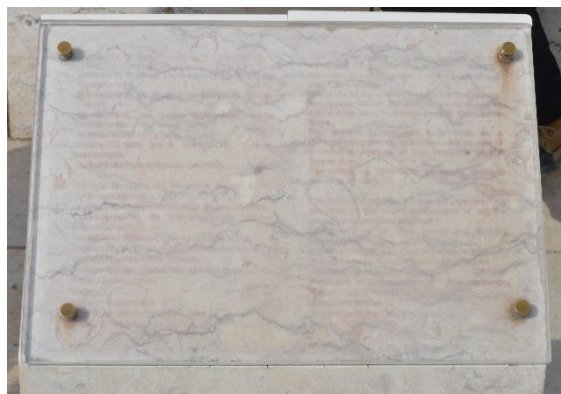


Figuras 38 e 39- Fotografias do lixo acumulado no interior do modelo. Fonte: Autora, Fevereiro 2023

4) o modelo em bronze pode ser desagradável para o toque nos dias particularmente quentes ou frios (testemunho de um especialista da Associação dos Cegos e Amblíopes de Portugal – ACAPO);

5) o modelo é um pouco grande, obrigando a translações excessivas do corpo (testemunho de utilizadores invisuais do GAM).

6) tanto o modelo como os painéis informativos apresentam poucos sinais de manutenção, sendo que a informação em texto se encontra queimada do sol tornando-se praticamente impossível de ler.



Figuras 40 e 41- Fotografia do modelo e texto informativo (à esquerda), verifica-se a falta de algumas letras na informação abaixo do modelo, e Fotografia do painel informativo (à direita), verifica-se a impossibilidade de ler o texto. Fonte: Autora, Fevereiro 2023

## 5.4 Estúdio inkl.Design

O inkl.Design é um estúdio alemão focado no design inclusivo. Este defende que “Toda a gente deve poder participar e desfrutar da arte, cultura e informação de forma livre e independente, e utilizar produtos e serviços sem qualquer restrição.”<sup>49</sup>. Tendo como princípios orientadores o design inclusivo, a *levelplaying field*, (oportunidades iguais de acesso), profissionalismo, inovação, pensamento fora da caixa e responsabilidade social, oferecem serviços como<sup>50</sup>:

- Sistemas de orientação inclusivos;
- Objetos táteis para a comunicação inclusiva de diferentes temas para museus e outras instituições;
- Livros táteis para pessoas com ou sem visão;
- Meios de comunicação de leitura fácil para pessoas com dificuldades de aprendizagem;
- Produção Braille – impressão e produção de meios de comunicação em braille;
- Descrições áudio para pessoas cegas e com baixa visão, bem como pessoas com dificuldades de aprendizagem e limitações cognitivas;
- Consultoria em comunicação inclusiva e desenvolvimento de seminários e workshops de produtos inclusivos para aumentar a consciencialização sobre as necessidades especiais das pessoas com deficiências.

Um exemplo de um trabalho realizado por este estúdio é o projeto, em colaboração com a Igreja de São Nicolau em Berlim, denominado “Entender Arquitetura”. Este consiste em cinco modelos táteis acompanhados de descrições áudio e material em braille.

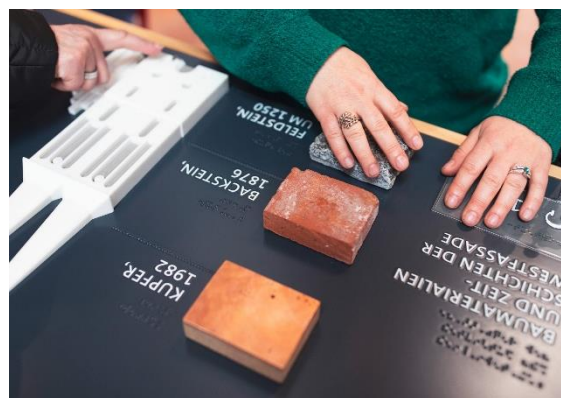


Figura 42 e 43- Fotografia de uma das peças da exposição (à esquerda) e Fotografia de um visitante a tocar amostras dos materiais da fachada (à direita).  
Fonte: <https://inkl.design/projekt/nikolaikirche/>, ©Stadmuseum Berlin fotografia à direita de Michael Setzpfandt, consultado Janeiro 2022

<sup>49</sup> “Everybody should be able to participate in and enjoy art, culture and information freely and independently, and use products and services without any restriction.” <https://inkl.design/profile/>, Tradução livre

<sup>50</sup> <https://www.linkedin.com/company/inkl-design/about/>, Tradução livre



## 6 O contexto português

### 6.1 Estatística populacional

Em Portugal, de acordo com os dados obtidos nos Censos 2021, cerca de 11% da população tem pelo menos uma incapacidade. Da população afetada por estas condições 38% são homens e 62% são mulheres, a prevalência de incapacidades aumenta com o avanço da idade, de forma progressiva como pode ser constatado no gráfico 1<sup>51</sup>.

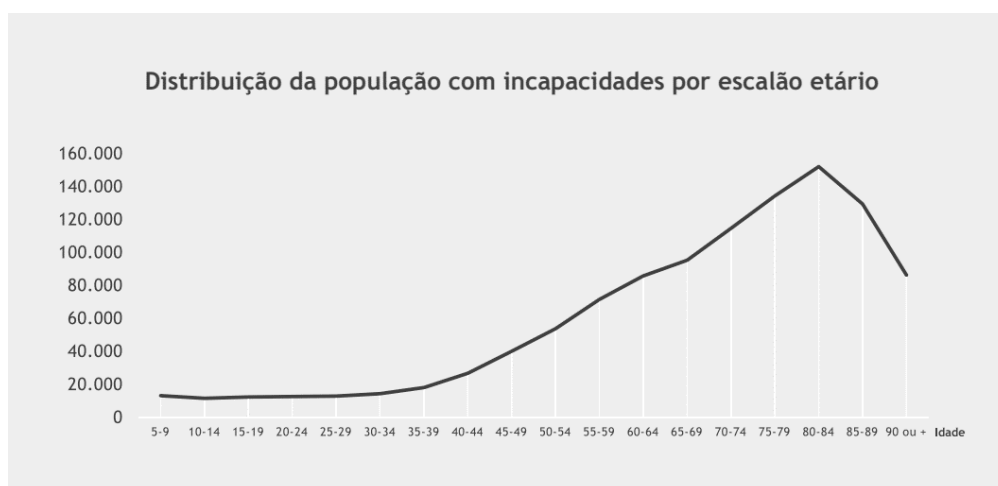


Gráfico 1- Distribuição da população com incapacidades por escalão etário. Fonte: <https://crpg.pt/populacao-com-incapacidades-censos-2021/>, consultado Maio 2023

Dos dados recolhidos no Censos 2021 podemos também verificar que:

- 28% da população tem alguma ou muita dificuldade, ou não consegue ver;
- 14% da população tem alguma ou muita dificuldade, ou não consegue ouvir;
- 20% da população tem alguma ou muita dificuldade, ou não consegue andar ou subir degraus;
- 20% da população tem alguma ou muita dificuldade, ou não consegue efetuar ações envolvendo a cognição ou memória;
- 8% da população tem alguma ou muita dificuldade, ou não consegue realizar cuidados pessoais sem apoio;
- 6% da população tem alguma ou muita dificuldade, ou não consegue compreender os outros ou fazer-se compreender.<sup>52</sup>

<sup>51</sup> CRPG. (2023)

<sup>52</sup> Importante referir que os valores utilizados pelo INE, para efeitos de consideração de incapacidade, foram apenas os referentes a Muita dificuldade e Não consegue efetuar a ação, sendo as percentagens aqui referidas calculadas pela autora deste documento com base nos dados fornecidos pelo Censo 2021.

### DIFICULDADES (Nº) DA POPULAÇÃO RESIDENTE COM DIFICULDADES POR TIPO E GRAU DE DIFICULDADE

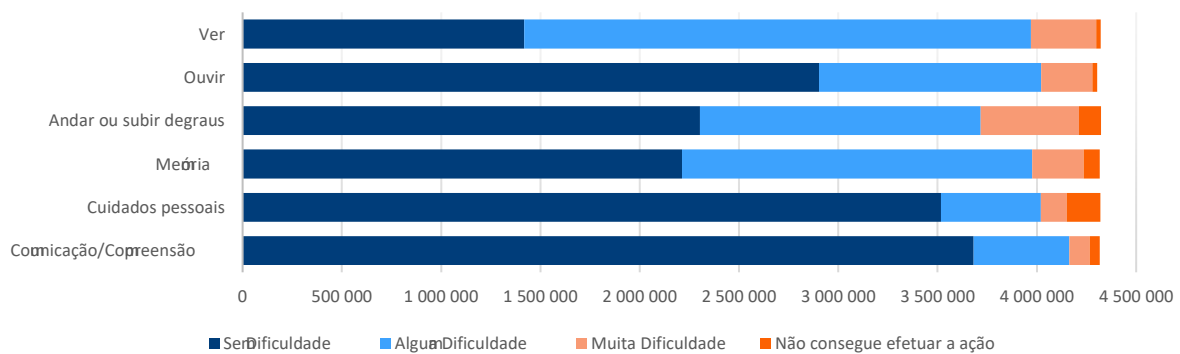


Gráfico 1- Dificuldades (nº) da população residente com dificuldades por tipo e grau de dificuldade. Fonte: Autora, com base em INE. (2021)

Com estes dados podemos verificar que as dificuldades a nível da visão são as mais predominantes na população portuguesa, seguidas das dificuldades a nível da mobilidade e dificuldades a nível cognitivo.

## 6.2 Legislação

A 1 de janeiro de 1986 Portugal tornou-se um Estado-Membro da União Europeia. Sendo Portugal um estado-membro, a legislação europeia passou a prevalecer sobre a legislação portuguesa, assim todas as futuras legislações, normas ou recomendações criadas passariam a incluir e seguir os princípios e objetivos da união europeia, em seguida são mencionadas algumas leis, resoluções e documentos relevantes referentes ao tema da acessibilidade em Portugal.

**Resolução do Conselho de Ministros n.º 34/88** de 16 de Agosto - Determina o atendimento personalizado dos serviços públicos a utentes condicionados na mobilidade.

**Lei n.º 9/89** de 2 de Maio - Lei de Bases da Protecção e da Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência.

**Decreto-Lei n.º 123/97** de 22 de Maio - Torna obrigatória a adopção de um conjunto de normas técnicas básicas de eliminação de barreiras arquitectónicas em edifícios públicos, equipamentos colectivos e via pública para melhoria da acessibilidade de pessoas com mobilidade condicionada. (Revogado pelo Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto)

**Resolução da Assembleia da República n.º 82/2003** de 9 de Dezembro - Programa específico de favorecimento do acesso ao Parlamento e aos respectivos serviços pela parte de pessoas com deficiência ou incapacidade.

**Decreto-Lei n.º 307/2003** de 10 de Dezembro - Aprova o cartão de estacionamento de modelo comunitário para pessoas com deficiência condicionadas na sua mobilidade. (Alterado pelo Decreto-Lei n.º 17/2011 de 27 de Janeiro e pela Lei n.º 48/2017 de 7 de Julho)

**Lei n.º 38/2004** de 18 de Agosto - Define as bases do regime jurídico da prevenção, habilitação, reabilitação e participação da pessoa com deficiência.

**Decreto Legislativo Regional n.º 15/2006/A** de 7 de Abril - Estabelece o regime jurídico da educação especial e do apoio educativo visando a criação de condições para a adequação do processo educativo aos requisitos das crianças e jovens com necessidades educativas especiais ou com dificuldades na aprendizagem, que impeçam o sucesso educativo.

**Decreto-Lei n.º 163/2006** de 8 de Agosto - Aprova o regime de acessibilidade aos edifícios e estabelecimentos que recebem público, via pública e edifícios habitacionais, revogando o Decreto-Lei n.º 123/97, de 22 de Maio. (Alterado pelo Decreto-Lei n.º 136/2014 de 9 de Setembro, pelo n.º 125/2017 de 4 de Outubro e pelo Decreto-Lei n.º 95/2019 de 18 de Julho)

**Lei n.º 46/2006** de 28 de Agosto - Proíbe e pune a discriminação em razão da deficiência e da existência de risco agravado de saúde.

**Resolução do Conselho de Ministros n.º 120/2006** de 21 de Setembro - Aprova o I Plano de Acção para a Integração das Pessoas com Deficiências ou Incapacidade para os anos de 2006 a 2009.

**Resolução do Conselho de Ministros n.º 9/2007** de 17 de Janeiro - Aprova o Plano Nacional de Promoção da Acessibilidade (PNPA).

**Decreto-Lei n.º 34/2007** de 15 de Fevereiro - Regulamenta a Lei n.º 46/2006, de 28 de Agosto, que tem por objecto prevenir e proibir as discriminações em razão da deficiência e de risco agravado de saúde.

**Resolução do Conselho de Ministros n.º 155/2007** de 2 de Outubro - Estabelece as orientações relativas à acessibilidade pelos cidadãos com necessidades especiais aos sítios da Internet do Governo e dos serviços e organismos públicos da administração central. (Revogado pelo Decreto-Lei n.º 83/2018 de 19 de Outubro)

**Decreto-Lei n.º 93/2009** de 16 de Abril - Aprova o sistema de atribuição de produtos de apoio a pessoas com deficiência e a pessoas com incapacidade temporária.

**Resolução da Assembleia da República n.º 57/2009** de 30 de Julho - Aprova o Protocolo Opcional à Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, adoptado em Nova Iorque em 30 de Março de 2007.

**Decreto do Presidente da República n.º 71/2009** de 30 de Julho - Ratifica a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, adoptada em Nova Iorque em 30 de Março de 2007.

**Decreto do Presidente da República n.º 72/2009** de 30 de Julho - Ratifica o Protocolo Opcional à Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, adoptado em Nova Iorque em 30 de Março de 2007.

**Resolução da Assembleia da República n.º 56/2009** de 30 de Julho - Aprova a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, adoptada em Nova Iorque em 30 de Março de 2007.

**Decreto-Lei n.º 17/2011 de 27 de Janeiro** - Simplifica, no âmbito do Programa SIMPLEX, o modo de acesso e emissão do cartão de estacionamento para pessoas com mobilidade condicionada, alterando pela primeira vez o Decreto-Lei n.º 307/2003, de 10 de Dezembro.

**Decreto Legislativo Regional n.º 14/2012/A** de 29 de Março - Estabelece o regime jurídico da prevenção, habilitação, reabilitação e participação da pessoa com deficiência ou incapacidade.

**Resolução da Assembleia da República n.º 132/2012** de 19 de Outubro - Recomenda ao Governo o desenvolvimento de uma estratégia integrada que promova o «Turismo acessível» ou «Turismo para todos» em Portugal.

**Resolução da Assembleia da República n.º 131/2012** de 19 de Outubro - Por um turismo atento às necessidades dos viajantes portadores de deficiência e das pessoas com mobilidade reduzida.

**Resolução do Conselho de Ministros n.º 4/2016** de 25 de Janeiro - Cria uma medida temporária de apoio específico, destinada à qualificação de pessoas com deficiência e incapacidade.

**Decreto Legislativo Regional n.º 32/2016/M** de 20 de Julho - Estabelece, para a Região Autónoma da Madeira, o Plano Regional de Promoção da Acessibilidade.

**Resolução da Assembleia da República n.º 111/2017** de 7 de Junho - Recomenda ao Governo que promova uma campanha nacional de sensibilização para o cumprimento da lei da acessibilidade.

**Lei n.º 48/2017** de 7 de Julho - Estabelece a obrigatoriedade de as entidades públicas assegurarem lugares de estacionamento para pessoas com deficiência, procedendo à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 307/2003, de 10 de dezembro.

**Decreto-Lei n.º 125/2017** de 4 de Outubro - Altera o regime da acessibilidade aos edifícios e estabelecimentos que recebem público, via pública e edifícios habitacionais.

**Decreto-Lei n.º 128/2017** de 9 de Outubro - Altera o cartão de estacionamento de modelo comunitário para pessoas com deficiência.

**Despacho n.º 8614/2018** de 7 de Setembro (II Série) - Determina a constituição da Comissão para a Promoção das Acessibilidades, que tem por missão avaliar o diagnóstico da situação atual das acessibilidades nos edifícios, instalações e espaços da administração central, local e institutos públicos.

**Decreto-Lei n.º 83/2018** de 19 de Outubro - Define os requisitos de acessibilidade dos sítios web e das aplicações móveis de organismos públicos, transpondo a Diretiva (UE) 2016/2102.

**Decreto-Lei n.º 95/2019** de 18 de Julho - Estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas.

**Resolução do Conselho de Ministros n.º 4/2020** de 5 de Fevereiro - Cria a Estrutura de Missão para Promoção das Acessibilidades.

**Despacho n.º 2183/2020** de 14 de Fevereiro - Cria o Grupo de Trabalho para desenvolver e apresentar a Estratégia Nacional de Promoção da Acessibilidade e da Inclusão dos Museus, Monumentos e Palácios na dependência da Direção-Geral do Património Cultural e das Direções Regionais de Cultura.

**Portaria n.º 200/2020** de 19 de Agosto - Cria e regulamenta o Programa de Acessibilidades aos Serviços Públicos e na Via Pública. (Alterado pela Portaria n.º 122/2021, de 11 de Junho)

**Portaria n.º 122/2021** de 11 de junho - Proceda à primeira alteração da Portaria n.º 200/2020, de 19 de agosto, que cria e regulamenta o Programa de Acessibilidades aos Serviços Públicos e na Via Pública.

**Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2021** de 31 de Agosto - Aprova a Estratégia Nacional para a Inclusão das Pessoas com Deficiência 2021 - 2025.

**Decreto-Lei n.º 1/2022** de 3 de janeiro - Altera o regime de avaliação de incapacidade das pessoas com deficiência.

**Declaração n.º 1/2022** de 18 de janeiro - Designação de membros para o conselho consultivo do mecanismo nacional de monitorização da implementação da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência.

**Decreto-Lei n.º 82/2022** de 6 de dezembro - Transpõe a Diretiva (UE) 2019/882, relativa aos requisitos de acessibilidade de produtos e serviços.<sup>53</sup>

Da legislação referida acima é relevante referir que atualmente o documento principal, quando referente ao tema das acessibilidades, é o Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto e as suas respetivas alterações. Neste documento estão definidas as normas e recomendações referentes à acessibilidade física e mobilidade nos espaços.

Sendo esta dissertação focada principalmente no tema da acessibilidade para pessoas com deficiências visuais, foi feita uma análise de forma a identificar e conhecer a legislação portuguesa referente ao tema. Para tal foram analisados os Decretos-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto, n.º 136/2014 de 9 de Setembro, n.º 125/2017 de 4 de Outubro e n.º 95/2019 de 18 de Julho, bem como Guia de Acessibilidade e mobilidade para todos: apontamentos para uma melhor interpretação do DL 163/2006 de 8 de Agosto de Paula Teles. Pode-se constatar que, dos vinte seis artigos do Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto, nenhum é referente a deficiências visuais, em anexo ao documento estão as Normas técnicas para melhoria da acessibilidade das pessoas com mobilidade reduzida, das quais se destacam as seguintes por estarem relacionadas com questões de acessibilidade para pessoas com deficiência visual:

**Secção 1.3.1** - As escadarias na via pública devem satisfazer o especificado na secção 2.4 e as seguintes condições complementares:

**Alínea 1)** Devem possuir patamares superior e inferior com uma faixa de aproximação constituída por um material de revestimento de textura diferente e cor contrastante com o restante piso;

**Secção 1.6** – (Recomendação<sup>54</sup>) Recomenda-se que as passagens de peões de superfície sejam sempre perpendiculares ao lancil, a fim de não se gerar desorientação nas pessoas com deficiência visual (que atravessam segundo essa direcção).

**Secção 1.6.4** - Caso as passagens de peões estejam dotadas de dispositivos semafóricos de controlo da circulação, devem satisfazer as seguintes condições:

**Alínea 3)** Os semáforos que sinalizam a travessia de peões instalados em vias com grande volume de tráfego de veículos ou intensidade de uso por pessoas com deficiência visual devem ser equipados com mecanismos complementares que emitam um sinal sonoro quando o sinal estiver verde para os peões.

**Secção 1.6.5** - Caso sejam realizadas obras de construção, reconstrução ou alteração, as passagens de peões devem:

**Alínea 1)** Ter os limites assinalados no piso por alteração da textura ou pintura com cor contrastante;

---

<sup>53</sup> [http://www.oasm.org/apoio.php?pag=tema\\_detalle&id=16&num=2](http://www.oasm.org/apoio.php?pag=tema_detalle&id=16&num=2), consultado Maio 2023

<sup>54</sup> TELES, P. (2007), pp.82

**Alínea 2)** Ter o início e o fim assinalados no piso dos passeios por sinalização tátil;

**Secção 1.8.2** - Nos espaços de circulação e permanência de peões na via pública cuja área seja igual ou superior a 100 m<sup>2</sup>, deve ser dada atenção especial às seguintes condições:

**Alínea 2)** Deve proporcionar-se a legibilidade do espaço, através da adopção de elementos e texturas de pavimento que forneçam, nomeadamente às pessoas com deficiência da visão, a indicação dos principais percursos de atravessamento.

**Secção 2.4.3** - Os degraus das escadas devem ter:

**Alínea 5)** Faixas antiderrapantes e de sinalização visual com uma largura não inferior a 0,04 m e encastradas junto ao fochinho dos degraus.

**Secção 2.4.4** – (Recomendação<sup>55</sup>) Recomenda-se que esta situação constitua uma prática excepcional, uma vez que pode induzir em erro as pessoas com deficiência visual, podendo originar quedas.

**Secção 2.5.10** - O revestimento de piso das rampas, no seu início e fim, deve ter faixas com diferenciação de textura e cor contrastante relativamente ao pavimento adjacente.

**Secção 2.6.5** – (Recomendação<sup>56</sup>) Alínea 2) Recomenda-se que, como boa prática, para além de informação visual, os ascensores forneçam igualmente informação sonora do piso de paragem, a fim de proporcionar melhor comunicação com as pessoas com deficiência visual.

**Secção 2.11.1** - Nos locais em que forem previstos equipamentos de auto-atendimento, pelo menos um equipamento para cada tipo de serviço deve satisfazer as seguintes condições:

**Alínea 6)** As teclas numéricas devem seguir o mesmo arranjo do teclado, com a tecla do n.º 1 no canto superior esquerdo e a tecla do n.º 5 no meio;

**Alínea 7)** As teclas devem ser identificadas com referência tátil (exemplos: em alto-relevo ou braille).

**Secção 2.11.1** – (Recomendação<sup>57</sup>) - Se a interface for um écran táctil a informação deve ser transmitida também em versão sonora; - Os equipamentos dispensadores de produtos devem conter informação em braille sobre os mesmos; Alíneas 6) e 7) Como boa prática, recomenda-se ainda que o n.º 0 se encontre por baixo do n.º 8, e este por baixo do 5. Quanto à referência táctil, se os números estiverem bem ordenados, bastará que a tecla do n.º 5 a inclua. Refira-se que nem todas as pessoas com deficiência visual lêem Braille. Por isso, como boa prática, recomenda-se que a aplicação de identificação táctil em braille seja complementar e nunca exclua o alto-relevo.

**Secção 2.13.1** - Nos locais em que forem previstos telefones de uso público, pelo menos um deve satisfazer as seguintes condições:

**Alínea 5)** Utilizar números do teclado com referência tátil (exemplos: em alto-relevo ou braille).

---

<sup>55</sup> TELES, P. (2007), pp.99

<sup>56</sup> *Ibidem*, pp. 114

<sup>57</sup> *Ibidem*, pp. 143 e 145

**Secção 4.7.2** - Os revestimentos de piso devem ter superfícies com reflectâncias correspondentes a cores nem demasiado claras nem demasiado escuras e com acabamento não polido; é recomendável que a reflectância média das superfícies dos revestimentos de piso nos espaços encerrados esteja compreendida entre 15% e 40%.

**Secção 4.9.14** – (Recomendação<sup>58</sup>) Sublinhe-se a importância de estas marcas garantirem um eficaz impacto visual. Como boa prática, deverão ser de cor contrastante e possuir dimensões adequadas.

**Secção 4.12.2** - Os botões de campainha, os comutadores de luz e os botões do sistema de comando dos ascensores e plataformas elevatórias devem ser indicados por dispositivo luminoso de presença e possuir identificação tátil (exemplos: em alto-relevo ou em braille).

As normas referidas promovem, como o próprio título indica, a acessibilidade física e mobilidade, permitindo às pessoas com deficiências visuais aceder, navegar e orientarem-se nos espaços com mais facilidade, mas em nenhuma instância nos documentos analisados foram encontradas normas ou recomendações referentes à acessibilidade sensorial.

Apesar de, na legislação portuguesa, não estarem definidas normas ou recomendações referentes à acessibilidade sensorial, existem várias publicações neste âmbito que incluem recomendações e guias. Exemplos incluem publicações feitas por instituições como a DGPC e a ACAPO, e autores como Marta Dischinger, Adriana Vieira, Clara Mineiro, Rita Henriques, entre outros. Referências a estas publicações podem ser encontradas ao longo deste documento.

Podemos assim concluir que em Portugal uma grande parte da população tem pelo menos alguma dificuldade relacionada com o sentido da visão, isto demonstra uma necessidade de criação de mais legislação no âmbito da acessibilidade sensorial e aprofundamento dos temas da acessibilidade sensorial.

---

<sup>58</sup> TELES, P. (2007), pp.186



## 7 Síntese

A Parte 1 deste documento analisou os conceitos de deficiência e acessibilidade, a sua evolução histórica, a utilização de modelos tácteis, técnicas de modelação e fabricação 3D, casos de referência e o contexto português na área das acessibilidades. Com a exploração destes temas, surgiram várias descobertas e implicações importantes.

O conceito de deficiência passou por diversas transformações significativas ao longo da história. Com o progresso científico na área médica no final do século XVIII, o pós-guerras mundiais e o estabelecimento de classificações internacionais como a ICIDH e a ICF, a compreensão da sociedade sobre as deficiências evoluiu. No entanto, apesar desses avanços, ainda há uma necessidade urgente de melhoria contínua na promoção da inclusão e igualdade de oportunidades para pessoas com deficiência.

O conceito de deficiência visual foi introduzido apresentando as diferentes classificações dos graus de visibilidade. Foi também explicado que dependendo do momento da vida em que desenvolvem estas deficiências, as pessoas com deficiência visual adaptam-se às mesmas de forma diferente. Esta necessidade de adaptação levou à criação de ferramentas de apoio a nível de mobilidade, como cães de guia ou bengalas, e a nível de apoio à leitura e obtenção de informação, como o sistema Braille, dispositivos de ampliação de imagem e sistemas de áudio.

A acessibilidade, como aspeto fundamental da inclusão, também testemunhou desenvolvimentos históricos. O segundo capítulo destacou diversos obstáculos à acessibilidade, incluindo barreiras físicas, sensoriais, intelectuais, económicas, culturais e emocionais. Esses obstáculos afetam diretamente a acessibilidade ao património construído, criando disparidades na capacidade dos indivíduos de aceder e se envolverem com espaços culturais e históricos. Isto ressalta a importância de abordar e superar essas barreiras para garantir um acesso igualitário para todos.

Os modelos táteis surgiram como um meio crucial de melhorar a acessibilidade para pessoas com deficiência visual. Ao fornecer representações táteis de objetos e espaços por meio de peças originais, réplicas ou reproduções em relevo, esses modelos oferecem uma experiência tangível e sensorial, permitindo que as pessoas com deficiência visual explorem e compreendam a sua envolvente de uma maneira mais eficaz e independente.

O quarto capítulo introduziu técnicas de modelação e fabricação 3D, relevantes para um melhor entendimento dos processos descritos na Parte 2 deste documento, sendo estes processos importantes para a criação de modelos táteis. As várias técnicas, incluindo modelação poligonal, modelação NURBS,

escultura digital, modelação paramétrica e algorítmica, bem como fotogrametria e varrimento laser, contribuem para a produção de modelos táteis precisos e detalhados. Estas técnicas, combinadas com métodos de fabricação subtrativos e aditivos, facilitam o processo de produção de modelos táteis.

Os casos de referência examinados no quinto capítulo forneceram exemplos práticos de como melhorar a acessibilidade para pessoas com deficiência visual. Estes incluíram um museu projetado especificamente para visitantes com deficiência visual, um estúdio de design focado no design inclusivo, uma escultura em Lisboa destinada à exploração tátil e o trabalho de um escultor que se esforça para tornar a arquitetura e cidades acessíveis a todos. Estes exemplos destacaram a importância de considerar as necessidades de acessibilidade desde os estágios iniciais de um projeto, garantindo que as experiências culturais e artísticas sejam inclusivas e agradáveis para todos.

O contexto português, discutido no capítulo final, esclareceu o cumprimento pelo país das leis e objetivos de acessibilidade da União Europeia após a sua integração na mesma. O reconhecimento de que cerca de 11% da população portuguesa apresenta alguma incapacidade, reforça a importância da existência de legislação eficaz, um exemplo disto é o Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto que apesar de tudo ainda é insuficiente, para proteger os direitos e garantir a acessibilidade a pessoas com deficiência.

Ao longo desta secção teórica, foram destacadas as contribuições de alguns autores relevantes na área, como Adriana Vieira, Clara Mineiro, Isabela Andrade., Marta Dischinger, Peter Colwell, entre outros. Os seus trabalhos e artigos na área da acessibilidade e património desempenharam um papel crucial no avanço da compreensão e implementação de práticas inclusivas.

Em conclusão, esta primeira parte do documento fornece informações e conceitos valiosos e necessários para um melhor entendimento da Parte 2, que se segue. Ressalta a necessidade contínua de melhoria da legislação existente e da existência de práticas de design inclusivas para garantir igualdade de acesso e participação para pessoas com deficiência. Ao incorporar estes princípios, a sociedade pode criar um ambiente mais inclusivo e acessível para todos os seus membros, promovendo uma sociedade verdadeiramente equitativa e diversa.

Com estas informações e conceitos, surge a questão de como é que os mesmos podem ser aplicados, de forma a tornar o património construído acessível para pessoas com deficiência visual. Leva-nos assim aos casos de estudo desenvolvidos no âmbito desta investigação, apresentados em seguida na Parte 2.

# PARTE 2

## EXPERIÊNCIA PRÁTICA



## PARTE 2 - EXPERIÊNCIA PRÁTICA

No âmbito do programa All for All - Portuguese Tourism (AfA), lançado pelo Turismo de Portugal foi apresentada uma candidatura por parte da Direção-Geral do Património Cultural - DGPC identificada como *Comunicação Acessível e Inclusiva*, tendo esta sido aprovada. Nesta candidatura um dos objetivos seria a produção de material tátil para disponibilizar no circuito de visita de vários imóveis. Assim, para a concretização do mesmo, a Direção-Geral do Património Cultural - DGPC abordou a Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa - FAUL (mais especificamente o grupo de investigação ArcHC\_3D do CIAUD) com o intuito de estabelecer um protocolo de cooperação técnico-científica para apoiar a implementação da candidatura acima referida, com duração estimada de um ano, mas que acabou por se prolongar por quase dois anos. Com esta proposta surge uma oportunidade para o desenvolvimento de uma investigação sobre o tema da fabricação 3D para a criação de modelos táteis, explorando as suas vantagens e limitações e as melhores metodologias a aplicar. O documento que agora se apresenta é um dos resultados dessa investigação multidisciplinar.

Nesta Parte 2, irá ser abordada a vertente prática desta investigação, será descrito o caderno de encargos proposto pela Direção-Geral do Património Cultural - DGPC, os objetivos pretendidos, irão ser analisados os materiais gráficos preexistentes e descrito o processo de modelação e fabricação dos testes e das peças finais. Esta parte terminará com uma análise da interação do público com as peças produzidas. Os resultados e as conclusões obtidas serão discutidos na Parte 3 deste documento.

Ao longo desta investigação houve quatro reuniões de testagem de peças produzidas com a presença de membros da equipa de investigação, membros da Direção-Geral do Património Cultural - DGPC e da ACAPO.

Como referido anteriormente, esta dissertação inseriu-se no protocolo de cooperação técnico-científica entre a Direção-Geral do Património Cultural - DGPC e a Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa – FAUL, dos quais fizeram parte os seguintes membros:

- Professor Doutor Victor M. M. Ferreira, coordenador do protocolo, e responsável pelo levantamento fotogramétrico dos pormenores construtivos ou decorativos requisitados, bem como o tratamento das nuvens de pontos geradas, criação, preparação e correção dos modelos tridimensionais, *slicing* dos modelos para impressão e design e planeamento das peças e formas de encaixe das diversas partes dos modelos produzidos;
- Professor Doutor Luís M. C. Mateus, responsável pelo modelo tridimensional do Museu Nacional Machado de Castro (MNMC) e pelo modelo tridimensional do Mosteiro da Batalha (MB), incluindo o planeamento das assemblagens e conceção das peças de encaixe, e as respetivas operações de *slicing* e impressão 3D;
- Inês M. H. P. B. Infante, aluna de mestrado na FAUL, responsável pelo modelo tridimensional do Mosteiro de Alcobaça (MA);
- Mariana J. G. Paiva, aluna de mestrado na FAUL, responsável pelo modelo tridimensional do Palácio Nacional de Mafra (PNM);
- Raquel R. Flores, autora desta dissertação, responsável pelo modelo tridimensional do Convento de Cristo (CC) e Azulejo didático (MNMC);

## **8 “Caderno de encargos”**

No âmbito deste protocolo foi requerido, por parte da Direção-Geral do Património Cultural - DGPC, a produção de materiais táteis utilizando a impressão 3D para a sua fabricação. Note-se que a técnica de fabricação foi previamente prescrita, pela equipa da DGPC, não havendo aqui lugar à possibilidade de alternativas. Isto é, a utilização da impressão 3D foi uma premissa da investigação. Alguns dos aspetos que foram necessários tomar em consideração antes da produção das peças foram, o material a utilizar, o grau de pormenor pretendido, as dimensões dos materiais produzidos e a cor a ser utilizada. Numa primeira reunião, foi então eleito o PLA como material a utilizar, por ser um plástico vegetal e biodegradável tendo assim um menor impacto ambiental, o PLA possui um equilíbrio entre durabilidade e flexibilidade o que garante que os modelos táteis possam suportar manuseio repetido, mantendo sua forma e integridade estrutural. Uma das limitações deste material é não ser adequado a estar num espaço exterior com exposição direta a UV, obrigando à escolha de um local interior e abrigado do sol para a exposição da peça (limitação essa que foi aceite pela equipa da DGPC) As dimensões máximas das maquetes gerais dos monumentos seriam 90cm x 90cm, sendo a escala dos monumentos adaptada a estas dimensões. O nível de pormenor e a cor a utilizar foram decididas numa reunião posterior com apoio de membros da ACAPO. Em relação aos modelos de detalhes não se assumiu uma escala fixa, tendo-se procurado tirar o maior partido possível das dimensões de impressão permitidas pelo hardware disponível.

Os materiais a produzir seriam: Maquetes do exterior de cinco Museus / Palácios / Monumentos tutelados pela Direção-Geral do Património Cultural - DGPC, bem como dezassete dos seus pormenores construtivos ou decorativos, sendo a lista a seguinte:

- Convento de Cristo (CC)
  - Modelo do Monumento
  - Janela manuelina
  - Pormenor 1: Esfera armilar
  - Pormenor 2: Algas
  - Pormenor 3: Fragmento de coral
  - Pormenor 4: Cordas com boia
  - Pormenor 5: Troncos
  - Pormenor 6: Busto
- Mosteiro de Alcobaça (MA)
  - Modelo do Monumento
  - Túmulo de D. Pedro
  - Pormenor 1: Cabeça de D. Pedro
  - Túmulo de D. Inês de Castro
  - Pormenor 2: Cabeça de D. Inês de Castro
- Mosteiro da Batalha (MB)
  - Modelo do Monumento
- Museu Nacional Machado de Castro (MNMC)
  - Modelo do Monumento
  - Cavaleiro medieval
  - Azulejo didático
  - Apóstolo de Hodart
  - "Loggia" renascentista
  - Capitel "Sereia Peixe"
  - Custódia barroca <sup>59</sup>
- Palácio Nacional de Mafra (PNM)
  - Modelo do Monumento
  - Busto de D. João V

---

<sup>59</sup> Este detalhe foi substituído pelo Capitel "Sereia Peixe" devido à impossibilidade de aceder à peça para realizar o levantamento fotográfico.

## 9 Processo

### 9.1 Linha Cronológica

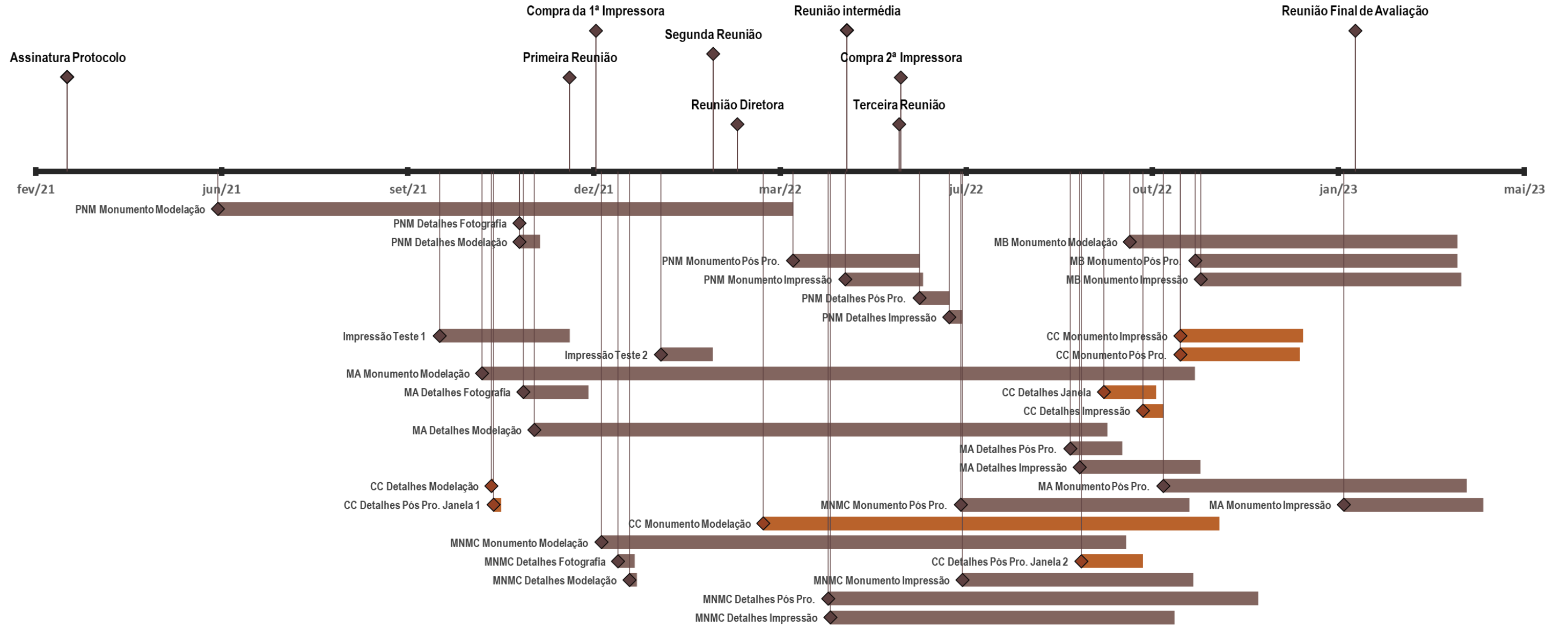


Gráfico 3- Linha cronológica da investigação

■ Fases referentes ao caso de estudo da autora

## **9.2 Recolha e análise das bases gráficas existentes**

Independentemente da metodologia a ser utilizada para a criação dos modelos tridimensionais, são necessárias bases gráficas, podendo estas ser levantamentos arquitetónicos 2D, ou fotografias e/ou vídeos, para uma modelação correta das peças. Para este efeito foi fornecido por parte da Direção-Geral do Património Cultural - DGPC, plantas e alçados em formato DWG: do Mosteiro de Alcobaça (MA), Mosteiro da Batalha (MB) e do Museu Nacional Machado de Castro (MNMC). Relativamente ao Convento de Cristo (CC) apenas foram disponibilizados, pela DGPC, levantamentos analógicos 2D em formato PDF. Por parte do grupo de investigação ArchC3D tinham já sido feitos levantamentos de alguns destes edifícios ou partes dos mesmos. Em concreto, tinha sido feito um levantamento por varrimento laser do exterior do PNM, em 2018, por ocasião da preparação da exposição “Do tratado à Obra”; levantamentos fotogramétricos e por varrimento laser parciais do Convento de Cristo, existindo já um modelo tridimensional do castelo de Tomar, feito no âmbito da tese de mestrado “Photogrammetry as a surveying technique applied to Heritage constructions recording – advantages and limitations” de João Covas, e da janela manuelina do mesmo. Foram também fornecidas pelo João Covas plantas gerais do Convento de Cristo em formato DWG.

### **9.3 Análise das reuniões de testagem e avaliação dos modelos**

O procedimento seguido neste processo de investigação incluiu um conjunto de reuniões de acompanhamento do trabalho desenvolvido. Estas tiveram por objetivo validar o processo de produção dos modelos fornecendo inputs com vista à melhoria dos resultados. Todas as reuniões foram filmadas, com o devido conhecimento dos participantes, para registo das interações entre os intervenientes e para, posteriormente, permitir uma análise da forma de interação dos voluntários com deficiências visuais com os modelos táteis. Estas gravações foram apenas realizadas num âmbito de investigação, não sendo estas para divulgação. A análise das mesmas foi feita revendo estas gravações, tirando notas das questões, sugestões e problemas levantados, bem como transcrevendo alguns excertos das mesmas

#### **9.3.1 Primeira reunião de testagem de modelos**

Teve lugar no dia 7 de Dezembro de 2021, na FAUL, a primeira reunião de testagem de modelos. Esta reunião contou com a presença de dois membros da DGPC, Clara Mineiro e Fátima Peralta, responsáveis pela promoção dos temas da acessibilidade nos palácios, monumentos e museus, dois membros da ACAPO, Peter Colwell e Sandra Pereira, bem como dois voluntários da mesma e três membros da FAUL, os professores responsáveis por esta investigação, Professor Luís Mateus e Professor Victor Ferreira e a autora deste documento.

Esta primeira reunião tinha como objetivos a introdução do projeto ao grupo consultivo (com grupo consultivo estamo-nos se a referir aos membros da DGPC, ACAPO e FAUL mencionados anteriormente), a colocação de questões e testagem de peças impressas para a ocasião, sendo estas o torreão sul do palácio de Mafra, um pequeno troço de uma fachada do Mosteiro de Alcobaça e excertos do busto de D.João V (modeladas já no âmbito desta investigação), a Janela do Convento de Cristo e três maquetes de diferentes escalas da zona do castelo do Convento de Cristo, que já estavam impressas no âmbito de investigações anteriores de diferente temática.

A reunião teve então início com uma breve introdução do projeto, feita por um dos membros da DGPC, e de seguida foram colocadas, aos voluntários da ACAPO, as questões condutoras desta primeira sessão:

- Qual a dimensão que consideram ideal para a realização das peças?
- Qual é a cor mais adequada para a realização das peças?
- Qual o grau de pormenor adequado para a realização das peças?

Procedeu-se ao início da testagem do torreão sul, este impresso em 3D com filamento PLA preto com algum brilho. O primeiro voluntário da ACAPO tratava-se de uma pessoa com baixa visibilidade e o primeiro comentário feito pelo mesmo antes de se deslocar para junto da peça foi “Se não tivessem dito que era um edifício, eu com baixa visão não diria que era um edifício.”, o voluntário procedeu então ao tateamento da peça e de seguida deu lugar ao segundo voluntário da ACAPO, uma pessoa com cegueira com perceção de luz, não sendo esta de nascença. “Por acaso conheço, já lá estive.” foi a primeira reação do segundo voluntário ao tocar a peça.

De seguida deu-se início a um debate em que um dos membros da ACAPO ia colocando questões aos voluntários, questões como “Quantos andares tem?”, “Quantas janelas?”, “Encontraste a porta?”.

Durante este debate foi questionada a possibilidade de criar as diferentes texturas dos materiais que constituem os objetos reais. Sendo questionado por um dos membros da ACAPO qual o objetivo para estas peças, estas serem maquetes táteis ou serem maquetes que podem ser tocadas, sendo que para uma maquete ser considerada maquete tátil teria de ter as texturas dos materiais. Foi também sugerido pelo mesmo a simplificação dos modelos de forma a criar apenas blocos com as formas gerais, e ser criada à parte, a uma escala maior, uma outra maquete da fachada do edifício. Esta sugestão foi rejeitada por um dos voluntários dizendo que um cego não iria conseguir associar a fachada ao espaço.

Os principais problemas encontrados ao longo da testagem das peças seguintes foram a dificuldade em entender os limites de certos elementos ou o excesso de pormenor causando demasiado “ruído”, caso da janela do Convento de Cristo que para efeitos desta reunião não tinha sido simplificada. Ao longo desta reunião conseguiu-se perceber de uma forma geral como é que as peças são tateadas, sendo que em todos os casos, as mesmas eram rodadas ou levantadas da mesa e manuseadas pelos voluntários, o que levantou uma nova questão: “Qual a melhor forma de expor as peças?”. Discutindo o assunto foi exposto que o ideal seria os visitantes poderem manusear as peças livremente, exceto no caso dos edifícios em que, devido à sua dimensão, o mesmo não seria possível. Esta sugestão foi rejeitada pela DGPC devido a questões de segurança e ao facto da possibilidade de perder as peças. Foi então questionado qual seria a melhor forma de expor as mesmas numa base. As recomendações foram a colocação das peças num plano inclinado e a possibilidade de as mesmas rodarem, sendo sempre necessário ter uma explicação junto de qualquer peça.



Figura 44- Voluntário tateando excerto do busto de D. João V, Fonte: Autora

Quando questionados sobre o tema da cor das peças, foi dito por um dos voluntários que para um cego as cores não são relevantes, mas para uma pessoa com baixa visibilidade ou amblíope estas são relevantes sendo que também há o caso destas pessoas serem daltónicas. Continuou dizendo que a cor preta era muito pesada sugerindo então laranja-claro, bege ou branco sobre uma base de cor escura de modo a permitir a perceção de contraste.

As principais conclusões desta reunião foram:

- A necessidade de simplificar as peças e em certos casos exagerar a realidade para a mesma ser perceptível na maquete;
- A criação de texturas facilitaria o entendimento das peças, mas face às premissas iniciais quanto ao processo de fabricação, tal não será possível;
- A forma como a peça está exposta afeta o entendimento da mesma, porém, por questões de segurança optou-se por uma solução de peças fixadas a um suporte;
- As peças devem ter cores que facilitem a sua leitura, sendo estas preferencialmente claras, e estar colocadas sobre uma base contrastante.

### 9.3.2 Segunda reunião de testagem de modelos

Teve lugar no dia 22 de Fevereiro de 2022, na FAUL, a segunda reunião de testagem de modelos. Esta reunião contou com a presença de três membros da DGPC, Clara Mineiro, Fátima Peralta e João Herdade responsáveis pela promoção dos temas da acessibilidade nos palácios, monumentos e museus, dois membros da ACAPO, Peter Colwell e Sandra Pereira, bem como um voluntário da mesma e quatro membros da FAUL, os professores responsáveis por esta investigação, Professor Luís Mateus e o Professor Victor Ferreira, a autora deste documento e a aluna Daniela Esteves.

Para esta reunião o principal objetivo era decidir a cor do filamento para avançar com a produção das maquetes.

A reunião teve então início com o ponto de situação das peças já modeladas / levantadas, seguida de uma explicação das futuras possibilidades de utilização destes modelos digitais. De seguida foram apresentados três excertos do busto de D. João V impressos em filamento cinza, bege e preto e tendo junto dos mesmos uma folha branca e outra preta para testar o contraste entre as peças e a base.

O voluntário, este com baixa visibilidade, procedeu ao tateamento das peças e quando questionado qual a cor que seria ideal para as peças disse “É assim tanto um como o outro. (...) a nível visual, para conseguir ver, aquele que tem baixa visão, para mim o bege salienta mais as feições do que o cinzento, mas o cinzento a nível de cor também não está mal, (...) ainda consigo ver. O Preto é fora de questão porque não consigo ver mesmo as feições. Mas estas duas cores acabam por ser as mais viáveis para quem tem baixa visão conseguir, ao menos antes de chegar, ter uma noção do que é que é.”.



Figura 45- Voluntário tateando excerto do busto de D. João V, Fonte: Autora

Após a decisão da cor foram discutidos os pressupostos para os arquitetos da DGPC planearem as bases para as peças, algumas das sugestões foram a cor da base ser contrastante com a da peça, ou o material da base estar dependente do local, e foram discutidas formas de encaixe das peças à base.

As principais conclusões desta reunião foram:

- Escolha do filamento de cor bege para a realização das peças;
- Criação de negativo nas peças para permitir a colocação de parafusos para encaixe nas bases.

### **9.3.3 Terceira reunião de testagem de modelos**

Teve lugar no dia 2 de Junho de 2022, na FAUL, a terceira reunião de testagem de modelos. Esta reunião contou com a presença de três membros da DGPC, Clara Mineiro, Fátima Peralta e João Herdade, responsáveis pela promoção dos temas da acessibilidade nos palácios, monumentos e museus, dois membros da ACAPO, Peter Colwell e Sandra Pereira, e três membros da FAUL, os professores responsáveis por esta investigação, Professor Luís Mateus e Professor Victor Ferreira e a autora deste documento.

Esta terceira reunião tratou-se de uma reunião de acompanhamento do trabalho desenvolvido, não tendo contado com voluntários da ACAPO para testar as peças. Nesta foram apresentadas as alterações e correções feitas de acordo com as recomendações das reuniões anteriores, tendo estas sido aprovadas.

De seguida foi discutido como representar a escala das peças, em que foi sugerida a utilização da figura humana ou um autocarro de turismo como referências gráficas, tendo esta decisão ficado a cargo dos arquitetos da DGPC. Para terminar esta reunião foram apresentados os encaixes das peças, agora já presentes nas mesmas, que tinham sido previamente sugeridos, sendo estes igualmente aceites.

As principais conclusões desta reunião foram:

- Aprovação das correções;
- Aprovação dos encaixes.

### 9.3.4 Reunião de avaliação final dos modelos fabricados

Teve lugar no dia 2 de Fevereiro de 2023, na FAUL, a reunião final de avaliação dos modelos produzidos. Esta reunião contou com a presença de dois membros da DGPC, Clara Mineiro e Fátima Peralta, responsáveis pela promoção dos temas da acessibilidade nos palácios, monumentos e museus, dois membros da ACAPO, Peter Colwell e Sandra Pereira, bem como uma voluntária da mesma, um membro da Sertec responsável pela produção das mesas expositivas, e quatro membros da FAUL, os professores responsáveis por esta investigação, Professor Luís Mateus e Professor Victor Ferreira, a autora deste documento e a aluna Daniela Esteves.

Esta quarta reunião foi a último encontro com grupo consultivo para avaliação do trabalho realizado. Aquando desta reunião já haviam sido montadas no local as maquetes do Museu Nacional Machado de Castro (MNMC) e Palácio Nacional de Mafra (PNM), bem como as reproduções dos elementos construtivos / decorativos dos mesmos, Cavaleiro medieval, Azulejo didático, Apóstolo de Hodart, "Loggia" renascentista e Busto de D. João V.

Assim, para efeitos desta reunião o objetivo da mesma era a validação dos resultados deste trabalho, analisando o que funcionou e não funcionou, bem como discutir sugestões para futuros trabalhos.

Deu-se então início à testagem dos bustos e túmulos de D. Pedro e D. Inês de Castro. A voluntária da ACAPO, com cegueira total, teve dificuldade em distinguir entre D. Pedro e D. Inês de Castro, quem era homem e quem era mulher, e enquanto tateava maquetes dos túmulos afirmou que “É tanto pormenor que não dá para perceber. Sem descrição não iria perceber.”



Figura 46- Voluntária tateando os bustos de D. Pedro e D. Inês de Castro, Fonte: Autora

Em relação às maquetes dos edifícios, o consultor da ACAPO recomenda novamente que a remoção dos pormenores, como vãos e elementos construtivos, poderiam ser removidos criando só formas simples, é também dito que elementos salientes podem apresentar riscos de segurança para os visitantes.

Terminou-se a reunião com a discussão dos pontos fortes e pontos fracos deste trabalho tendo em consideração que se tratava do primeiro trabalho realizado neste âmbito, que nem todos os resultados eram os ideais e que este era destinado a todos os públicos. Esta dimensão mais plural é relevantemente uma vez que, embora o objetivo seja promover a acessibilidade a pessoas com deficiência visual, também é verdade que estes modelos vão ser vistos e tocados por todos os tipos de público.

As opiniões registadas foram as seguintes:

- Voluntária da ACAPO - “O excesso de pormenor em determinada altura, torna a experiência um pouco cansativa, e difícil de ter um fio condutor. Provavelmente acompanhada por uma visita guiada, alguém que esteja a fazer este tipo de acompanhamento possa ser benéfico. Mas acaba por os pontos a melhorar, do meu ponto de vista, seria isso. No nível de pormenor, se calhar não será necessário um excesso de informação, tanta informação junta não permite que a experiência seja tão fácil de distinguir. (...) são maquetes (...) algumas são um bocadinho grandes e são difíceis, lá está, onde é o ponto de início e qual é a orientação que devemos seguir para conseguir ter a perceção ou pelo menos uma perceção aproximada do que é efetivamente o monumento. (...) E do ponto de vista aqui também das texturas, obviamente, vocês estão a trabalhar com uma impressora 3D, pelo que percebi, e o material acaba por ser o mesmo, mas se calhar havendo aqui uma diferenciação de texturas, de materiais, acredito que do ponto de vista dos materiais, não sei se há a possibilidade de se laminar os materiais de forma que eles possam ser juntos à própria. (...) Não é criar uma miniatura real da coisa. Mas, por exemplo, vamos imaginar que numa zona da estrutura estivesse exemplificado parte do material que revestia toda a estrutura, eventualmente, já era uma forma de a pessoa perceber, isto é a minha opinião não quer dizer que isto sirva para qualquer pessoa.”
- Consultor da ACAPO - “Os pontos fortes que isto tem é, vai ser aceite pelos gestores do espaço. Para quem está no Palácio, quem é o gestor do Palácio, quem é a direção, pode entender ah isto é o meu espaço, isto fica bonito no meu espaço. E então comparado com aquilo que eu gostaria de fazer é mais fácil de isto ser aceite e posto no espaço. Outro ponto forte, (...), tem visibilidade e mostra que vocês estão preocupados em comunicar com todos os públicos, mostra

que há peças que merecem mais atenção do que outras. (...) Por exemplo os túmulos, quando estamos no local não temos, no momento, oportunidade de os estudar porque há muitas pessoas à volta e sente-se a necessidade de avançar, não podes ficar lá olhando para quantos flamingos e quantas girafas há lá no túmulo. Enquanto aqui podes, talvez, passar mais tempo ali a olhar se quiseres. Então para alguns públicos acho que tem interesse, tem aquela abertura de dizer sim tem de se deixar tocar, estamos a aceitar que as pessoas têm a necessidade de tocar e isto vem sempre com o risco de não, elas não podem tocar o real porque temos isto, e realmente estas peças estão lá para tocar quando não deixam de tocar no original. (...) mas há outras peças que vão dizer vamos fazer uma reprodução 3D quando não precisam, porque eles têm não sei quantas peças em pedra que estão nas reservas e podiam trazer para mostrar. (...) Mas há esta luta com os museus, os palácios e monumentos em as deixar pessoas tocar e eu sei que isto é bom porque que permite as pessoas tocar. Mas sim as texturas como eu já tanto falei, maior parte disto não se consegue ser interpretado facilmente, tem que se ter alguém a dizer ah pois, mas isto é o cabelo e aquilo é a coroa. Pronto é um começo, como disse vai melhorar, eu acho que nós podemos produzir coisas melhores que comunicam melhor com pessoas com deficiência visual, mas há sempre aquele receio de depois não é aceite pelos diretores.”

Assim as principais conclusões desta reunião foram:

- Este projeto foi um bom começo, mas os resultados ainda não são os ideais;
- O excesso de pormenor pode nas maquetes levar a um excesso de estímulo sensorial;
- A dimensão das peças dificulta em alguns casos o entendimento das mesmas;
- A falta de texturas limita o entendimento da materialidade dos objetos que as maquetes representam.

#### 9.4 Captura Fotogramétrica dos pormenores construtivos ou decorativos

Para a modelação dos pormenores construtivos ou decorativos, optou-se por utilizar a metodologia da fotogrametria, para tal foram realizados diversos levantamentos fotográficos de todas as peças necessárias. No caso da janela do Convento de Cristo, como já existia um levantamento fotográfico datado de 2011, optou-se por reprocessar o mesmo com o software mais recente procurando a melhor qualidade possível de reconstrução. Após a reconstrução das peças (fig.47) é realizada uma edição (fig.48) que permite remover pequenas irregularidades devidas a “ruído” (ou erro) na reconstrução, e suavizar a irregularidade natural dos elementos em pedra por exemplo.

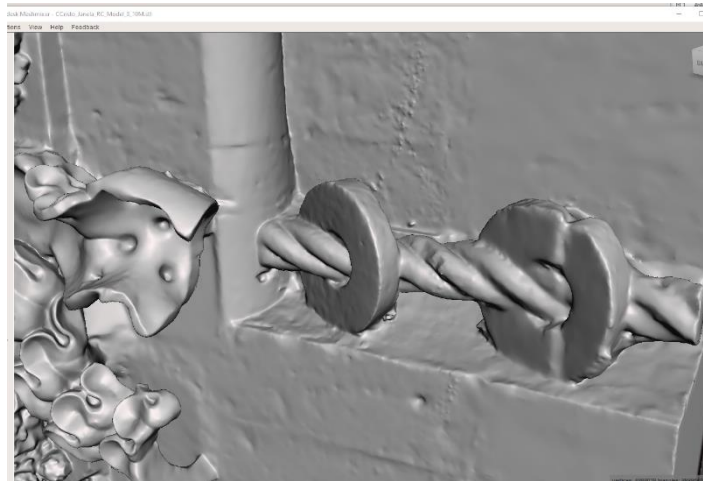


Figura 47- Captura da reconstrução do pormenor das cordas da janela do Convento de Cristo. Fonte:Victor Ferreira



Figura 48- Captura da reconstrução do pormenor das cordas da janela do Convento de Cristo suavizada. Fonte:Victor Ferreira

## Levantamento do busto de D.JoãoV (PNM)

Existindo duas versões do busto, uma em mármore e outra em gesso, optou-se por fotografar a versão em gesso, por estar em melhor estado de conservação e por apresentar uma superfície mate fácil de fotografar. Para a captura foi utilizado um escadote, um tripé e máquina fotográfica Canon Eos 6D com lente de 24mm (fig.49). O modelo foi processado (fig.50) no software Reality Capture 1.2<sup>60</sup> a partir de 665 fotos.

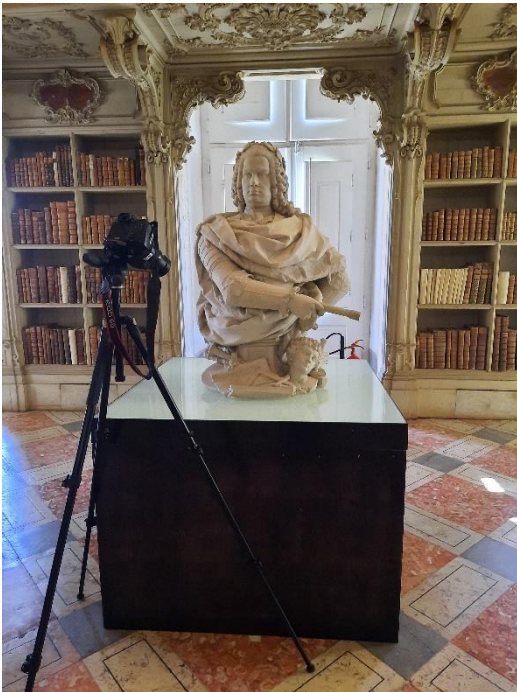


Figura 49- Levantamento fotográfico do busto de D.João V. Fonte:Victor Ferreira

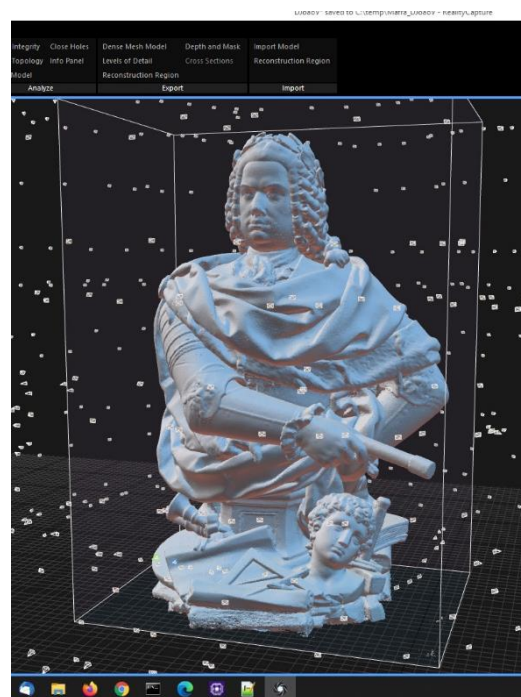


Figura 50- Modelo tridimensional do busto de D.João V. Fonte:Victor Ferreira

<sup>60</sup> <https://www.capturingreality.com/realitycapture>

## Levantamento dos túmulos de D.Pedro e D. Inês

O tamanho e complexidade da superfície de ambos os túmulos, conjugado com a pouca iluminação presente, obrigou a um levantamento sistemático mas demorado, que obrigou a quatro visitas ao local (em 29-10-2021, em 05-11-2021, em 12-11-2021 e 26-11-2021).

A altura dos túmulos apresentou um desafio adicional, porque com a pouca luz presente, foi necessário a fotografar com tripé, e para o topo dos túmulos, com suporte adicional. Foram utilizadas duas máquinas fotográficas: uma Canon Eos 6D com lente de 24mm e uma Sony ILCE-6000 com lente 16-50mm (fig.52) e um scanner Faro Focus 3D S120 (fig.51). Foram recolhidas 2191 fotos para o túmulo de D<sup>a</sup>. Inês, e 1761 fotos para o túmulo de D. Pedro. Os modelos foram processados no software Reality Capture 1.2.

Os modelos do pormenor das cabeças foram extraídos dos modelos gerais dos túmulos.



Figura 51- Levantamento fotográfico do Túmulo de D.Pedro. Fonte:Victor Ferreira



Figura 52- Levantamento fotográfico do Túmulo de D.Inês. Fonte:Victor Ferreira



Figura 53- Modelo tridimensional do Túmulo de D.Pedro. Fonte:Victor Ferreira



Figura 54- Modelo tridimensional do Túmulo de D.Inês. Fonte:Victor Ferreira

## Levantamento das Peças do MNMC

No caso das peças do MNMC, foi necessário fazer duas visitas para capturar todas as peças (de 3 a 4 de Janeiro e de 10 a 11 de Janeiro ).Foi utilizada uma máquina fotográfica Canon Eos 1Ds MkIII com lente de 24mm, e tripé. Onde necessário foi utilizado uma luz em anel para equilíbrio de sombras. Foram capturadas 412 fotos para o Apóstolo (fig.55); 258 fotos para o Capitel (fig.58); 259 fotos para o Cavaleiro (fig.57) e 4 fotos para o Azulejo. Os modelos foram processados no software Reality Capture 1.2.



Figura 55- Levantamento fotográfico do Apóstolo. Fonte:Victor Ferreira



Figura 56- Modelo tridimensional do Apóstolo. Fonte:Victor Ferreira



Figura 57- Fotografia do modelo tátil do Cavaleiro junto da peça real. Fonte:Victor Ferreira, Dezembro 2022

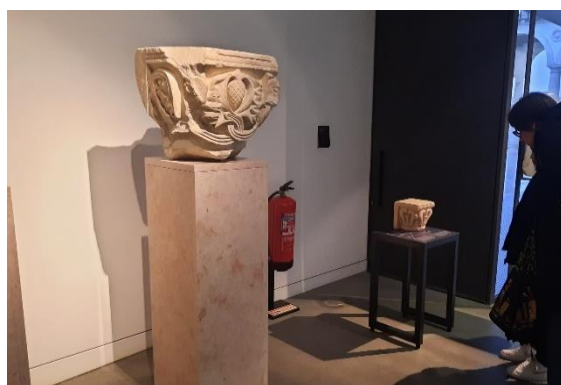


Figura 58- Fotografia do modelo tátil do Capitel junto da peça real. Fonte:Victor Ferreira, Dezembro 2022

## 9.5 Modelação CAD e preparação dos modelos para impressão

A modelação 3D dos monumentos teve como ponto de partida as bases gráficas 2D existentes ou preparadas pelos elementos da equipa de investigação a partir da documentação existente. De um modo geral foram utilizadas duas aplicações de software: o AutoCAD e o Rhinoceros 3D.

Tabela 2- Tipos de modelação 3D utilizada em cada Monumento ou Pormenor. Fonte: Autora

	Modelação NURBS	Modelação Paramétrica	Fotogrametria	Varrimento Laser
<b>Convento de Cristo (CC)</b>				
–Janela manuelina			x	
–Pormenor 1: Esfera armilar			x	
–Pormenor 2: Algas			x	
–Pormenor 3: Fragmento de coral			x	
–Pormenor 4: Cordas com boia			x	
–Pormenor 5: Troncos			x	
–Pormenor 6: Busto			x	
<b>Mosteiro de Alcobaça (MA)</b>				
–Túmulo de D. Pedro		x	x	
–Pormenor 1: Cabeça de D. Pedro		x	x	
–Túmulo de D. Inês de Castro		x	x	
–Pormenor 2: Cabeça de D. Inês de Castro		x	x	
<b>Museu Nacional Machado de Castro (MNMC)</b>				
–Cavaleiro medieval			x	
–Azulejo didático	x			
–Apóstolo de Hodart			x	
–"Loggia" renascentista	x	x		
–Capitel "Sereia Peixe"			x	
<b>Palácio Nacional de Mafra (PNM)</b>				
–Busto de D. João V			x	
<b>Modelo do Monumento</b>				
Convento de Cristo (CC)	x		x	
Mosteiro de Alcobaça (MA)	x			
Mosteiro da Batalha (MB)	x	x		
Museu Nacional Machado de Castro (MNMC)	x	x		
Palácio Nacional de Mafra (PNM)	x			x

Foram consideradas abordagens de modelação manual e de modelação paramétrica, tendo-se verificado que ambas as formas de modelar apresentam vantagens e inconvenientes. Por exemplo, não se justifica a modelação paramétrica para modelar elementos que não se repetem ou que são de tal modo simples que se torna mais rápida a modelação manual.

A modelação manual foi utilizada transversalmente em todos os modelos. De modo a criar os volumes tridimensionais foram utilizados um conjunto de operações típicas da modelação 3D, como a extrusão (para a criação dos volumes principais e secundários, incluindo coberturas), a projeção de linhas sobre superfícies dos volumes (para definição da posição dos vãos) e as operações booleanas de união, subtração e interseção para gerar a configuração final dos volumes principais e seus detalhes, geralmente por esta ordem.

A modelação paramétrica, através do plugin Grasshopper para Rhinoceros3D, começou por ser testada no modelo do MNMC. Procurou-se adotar esta metodologia desde o início, incluindo a modelação do terreno (fig.59 e 60), e prevendo desde logo a forma de segmentar o modelo para fabricação considerando tolerâncias dimensionais entre peças.



Figura 59- Captura do processo de modelação utilizando Grasshopper. Fonte:Luis Mateus

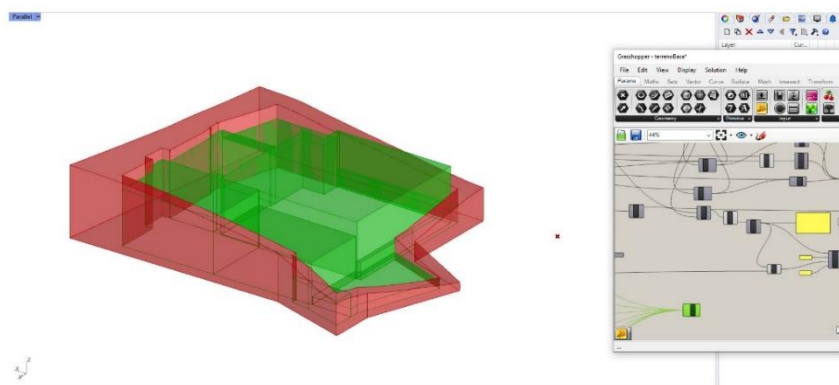


Figura 60- Captura do processo de modelação utilizando Grasshopper. Fonte:Luis Mateus

Verificou-se que esta abordagem apresenta vantagens, por exemplo na modelação do terreno e na possibilidade de testar diferentes configurações de parâmetros para a modelação de (fig.61), mas também não é isenta de inconvenientes. A separação inicial das peças acabou por mostrar-se pouco flexível na possibilidade de definir posteriormente outras formas de segmentar o modelo pelo que, nesta componente, acabou por ser abandonada esta abordagem.

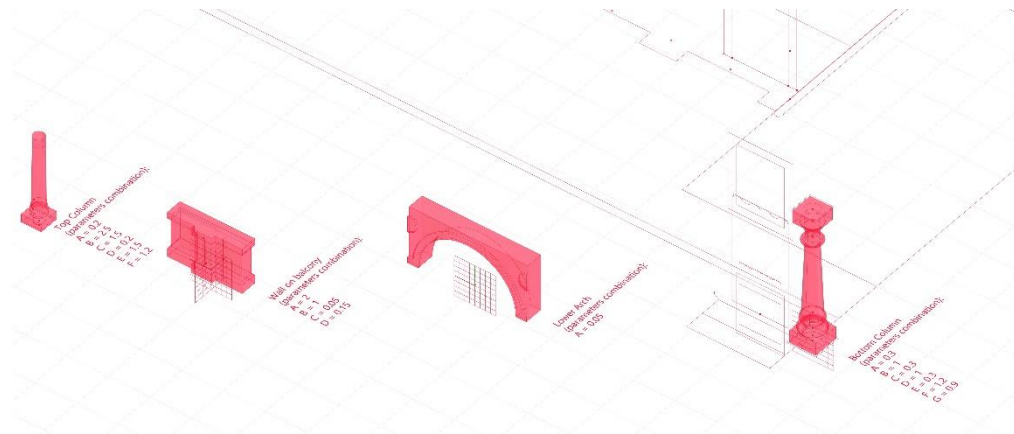


Figura 61- Captura de modelos criados utilizando Grasshopper. Fonte:Luís Mateus

Assim, a modelação paramétrica voltou a ser utilizada no MB apenas para a disposição de elementos decorativos repetitivos (fig.62) que deveriam inscrever-se em espaços com dimensões variáveis. Neste caso foi fundamental para acelerar o processo de modelação.

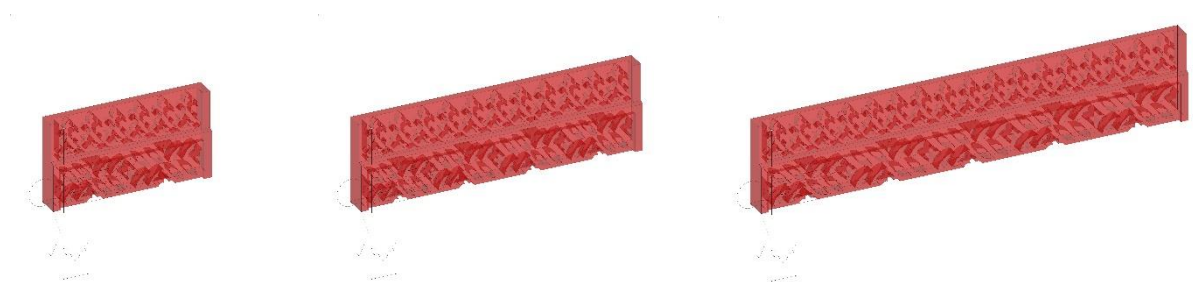


Figura 62- Captura de pormenores criados utilizando Grasshopper. Fonte: Luís Mateus

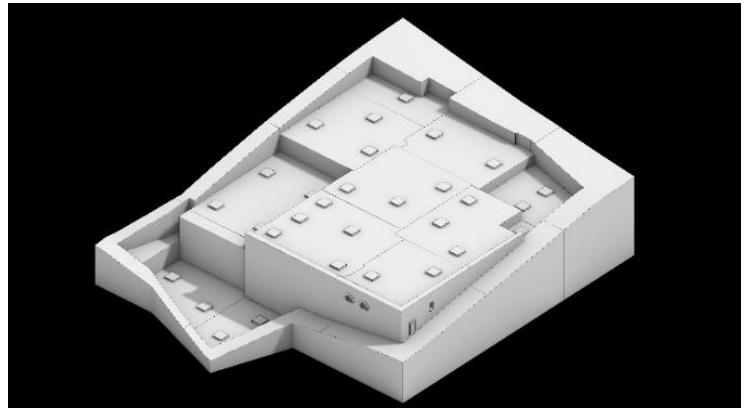
Independentemente do tipo de modelação adotado, há um conjunto de escolhas que devem ser consideradas. Estas passam por:

- definir o tamanho do elemento mínimo a modelar como função do tamanho físico do output;
- definir o nível de fidelidade aos desvios à ortogonalidade presentes nos levantamentos disponibilizados;
- definir o nível de abstração dos elementos a modelar (por exemplo: modelar uma escada como uma rampa, reduzir o número de degraus de uma escada, introdução de elementos inexistentes para melhorar a resistência ou a experiência tátil, entre outros);
- exagerar alguns elementos de forma a serem perceptíveis no modelo físico;
- eliminar alguns elementos ou detalhes para reduzir o ruído do modelo físico;
- exagerar alguns espaços de modo a poderem ser percorridos pelos dedos dos utilizadores;
- suavizar alguns elementos para melhorar a experiência tátil.

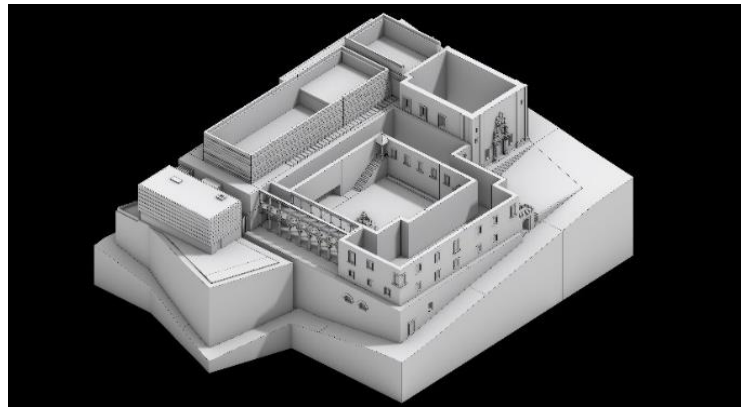
Estas escolhas não se conseguem fazer todas inicialmente. Resultam antes de um processo iterativo e interativo que acompanha o desenvolvimento da investigação. As várias reuniões que foram sendo realizadas ao longo do processo desempenharam um papel fundamental na estabilização de alguns destes princípios.

Após a modelação geral dos monumentos, de que deve resultar um modelo estanque, isto é, um modelo que encerre um volume, passa-se à subdivisão do modelo em partes para efeitos de fabricação. Isto é necessário porque o tamanho máximo de impressão, com o hardware utilizado, é 25cm x 21cm x 21cm, o que implica que essa separação deve ocorrer por vezes também em altura (fig.63,64 e 65).

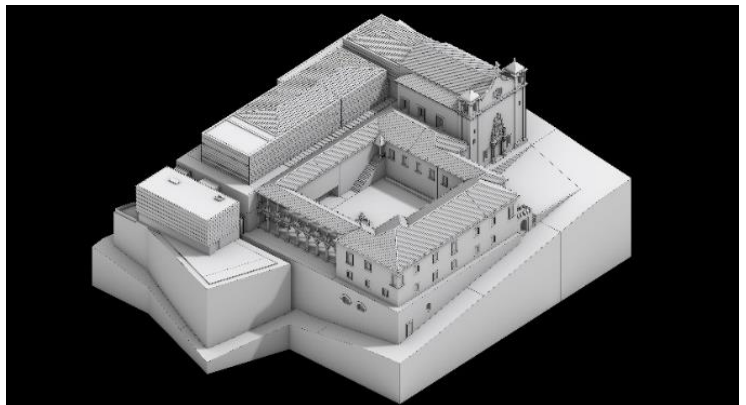
Neste render pode ser vista a divisão em partes da base do modelo, este teve de ser igualmente dividido em altura criando três níveis.



Neste render pode ser vista a base anterior com o segundo nível do modelo, igualmente dividido.

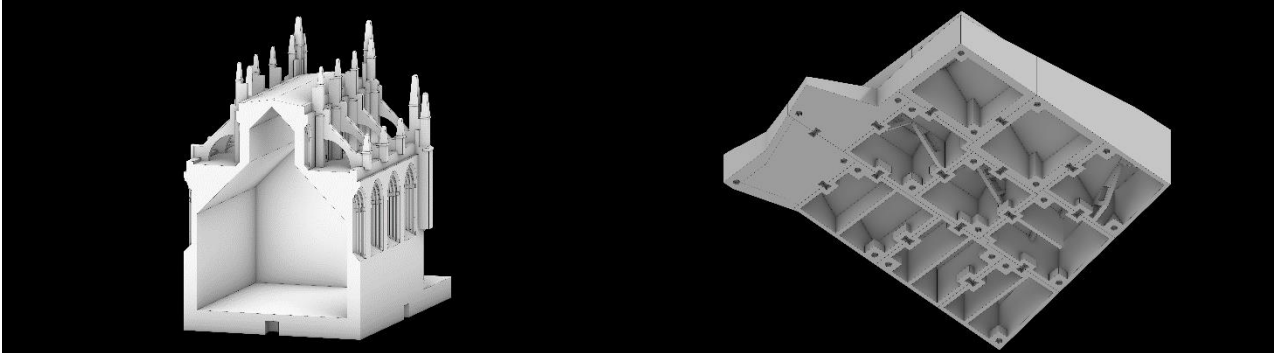


Neste render podem ser vistos os níveis anteriores com a adição do terceiro nível do modelo, igualmente dividido.



Figuras 63, 64 e 65- Captura da separação do modelo do MNMC. Fonte: Luís Mateus

Para minimizar a quantidade de material de impressão pode utilizar-se a criação de ocos (fig.66 e 67) nas peças. Essa minimização também pode ser conseguida evitando a necessidade de suportes, o que pode ser conseguido se as superfícies do modelo tiverem pendentes superiores a 100%.



Figuras 66 e 67- Captura do modelo do MB e MNMC mostrando os ocos e encaixes criados. Fonte: Luís Mateus

A partir do momento em que as várias peças não apresentam erros topológicos, têm as dimensões adequadas ao volume de impressão, a preparação para a impressão é um processo relativamente linear. Começa por fazer-se uma exportação do modelo CAD para o formato STL. De seguida este modelo é testado para verificar se existem erros que comprometam a impressão (os erros podem ser de vários tipos e em geral resultam de um deficiente processo de modelação; podem ser superfícies duplicadas, buracos, auto-interseções, entre outros). Caso existam, devem ser corrigidos. A correção pode implicar voltar a modelar partes do objeto ou pode conseguir-se através da aplicação dedicada de análise do modelo. Neste caso utilizou-se o software Meshmixer<sup>61</sup> (fig.68) para verificação de erros e para correção automática dos mesmos (sempre que não eram muito complexos). Terminada a verificação e correção, o ficheiro ficará pronto para ser impresso.

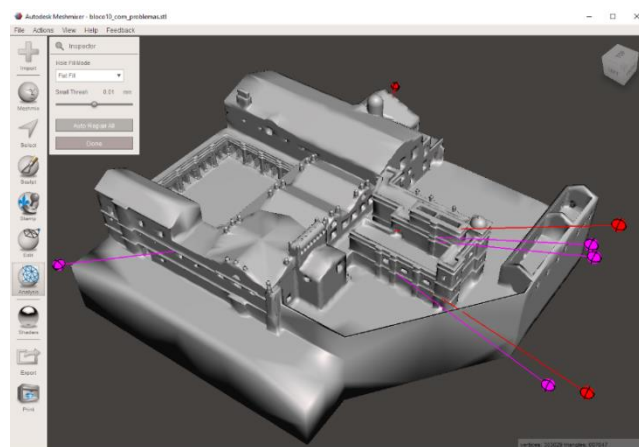


Figura 68- Captura do Meshmixer com erros. Fonte: Victor Ferreira

<sup>61</sup> <https://meshmixer.com/>

## **9.6 Revisão do processo de modelação e novos testes de impressão**

Resultante das várias reuniões, o processo de modelação foi sendo revisto. Em particular, ficou claro que não seria possível nem conveniente um excesso de fidelidade à realidade na medida em que isso poderia levar a detalhes excessivos que perturbariam a experiência tátil. Também ficou claro que a sensibilidade tátil é muito variável. As pessoas que têm deficiência visual desde idades mais precoces tendem a ter o tato mais sensível que outras que perderam a faculdade da visão mais tarde. Pela interação com os modelos também ficou claro que havia elementos que até poderiam não se destacar visualmente, mas que ao tato eram muito evidentes, como por exemplo pequenas irregularidades das superfícies (isto foi verificado com um pequeno alto no modelo do busto de D. João V). Outro aspeto que se tornou evidente foi que elementos pontiagudos representam um risco acrescido para este tipo de público porque há uma tendência natural em as pessoas se debruçarem sobre o modelo ou de, eventualmente fazerem gestos mais bruscos. Estes aspetos foram tidos em consideração na elaboração dos modelos no resto do processo.

## **9.7 Modelação final de todos os monumentos.**

### **Simplificação e edição dos modelos digitais das reproduções**

Importa aqui voltar a recordar que foram seguidas duas abordagens principais de modelação. A primeira consistiu na modelação CAD (a partir de bases 2D existentes e pontualmente com recurso a imagens ou vídeos disponíveis online) e a segunda na reconstrução 3D por processos fotogramétricos.

No que diz respeito à modelação CAD, já quase tudo foi dito. Destacam-se agora os procedimentos relativos à edição e simplificação dos modelos digitais obtidos por processos fotogramétricos.

O resultado do processamento fotogramétrico é, em primeiro lugar, uma nuvem de pontos que pode ter vários milhões de pontos, e em segundo lugar, um modelo de malha triangulada - mesh, que pode também ter vários milhões de faces. Ora, estes modelos triangulados têm de ser editados e simplificados por várias razões:

- diminuição do tamanho dos ficheiros para viabilizar o processo de impressão 3D
- suavização do modelo para eliminar detalhes excessivos
- extração de detalhes para serem impressos a escalas diversas
- criação de mesh encerrando um volume
- eliminação de erros topológicos
- inserção de encaixes para assemblagens entre partes de modelos

## 9.8 Planificação e criação de assemblagens

Desde o início estava planeada a utilização de encaixes nas bases das peças impressas para fixação segura às mesas de exposição. Para isso foi testado, com sucesso, o uso de negativos com a dimensão adequada a encaixar cabeças de parafuso M8, que posteriormente foram colados. O comprimento do parafuso foi mais tarde escolhido, depois das mesas terem sido fabricadas.

Foram ainda necessários mais dois tipos de encaixes: encaixes para colagem de componentes entre si (por exemplo zimbório e topos das torres do PNM e do MB) e encaixes entre peças dos modelos dos edifícios, para dar uma estabilidade maior ao conjunto, permitindo ao mesmo tempo a sua desmontagem para manutenção (eventual substituição caso de danifiquem, ou para limpeza).

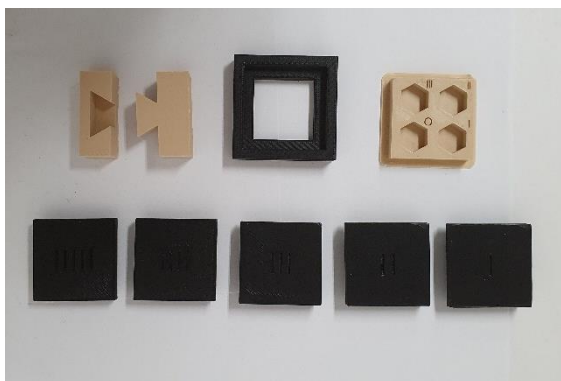


Figura 69- Fotografia dos encaixes e testes de espaçamento. Fonte: Autora, Abril 2023



Figura 70- Fotografia dos encaixes do Apóstolo. Fonte: Victor Ferreira

## 9.9 Impressão 3D

Estando o ficheiro STL validado, utiliza-se uma aplicação de *slicing*.

Este tipo de software converte o modelo digital 3D (normalmente em formato STL) em instruções de impressão para uma impressora determinada. Como o processo de impressão aditiva adiciona material camada a camada, o software é chamado de *slicer* (cortador em português) porque “corta” virtualmente o modelo digital 3D em camadas 2D que depois serão impressas, uma de cada vez.<sup>62</sup>

Neste caso utilizou-se o software PrusaSlicer<sup>63</sup>, uma vez que tem perfis otimizados pela empresa PRUSA para a sua impressora Prusa i3 MK3S+. Com este software prepara-se o ficheiro para impressão 3D. Essencialmente, são definidas as várias camadas e o percurso do filamento durante a impressão 3D. Nesta etapa há vários parâmetros a considerar como a temperatura da mesa de impressão, a espessura das camadas de impressão, e a colocação de suportes de impressão caso sejam necessários (fig.71).

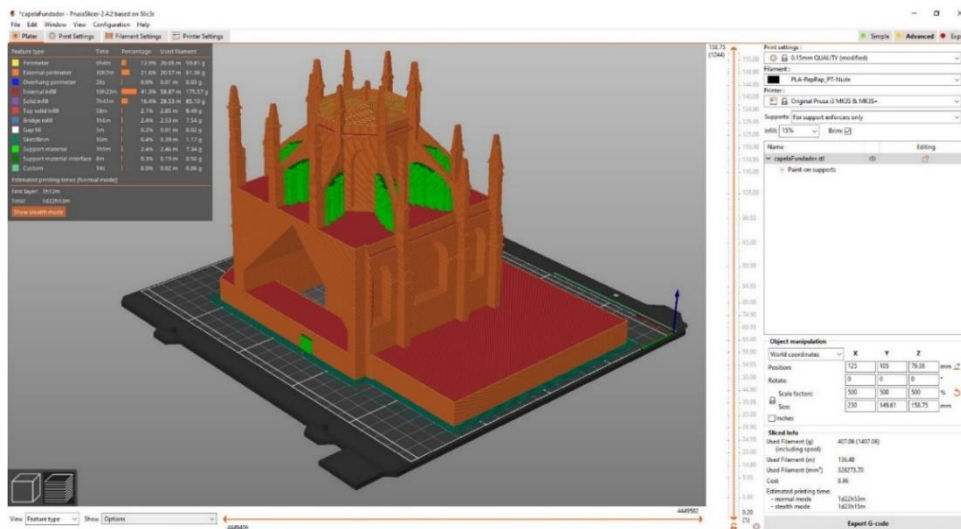


Figura 71- Captura do slicer PrusaSlicer. Fonte: Victor Ferreira

<sup>62</sup> <https://all3dp.com/2/what-is-a-3d-slicer-simply-explained/>, consultado Junho 2023

<sup>63</sup> [https://www.prusa3d.com/page/prusaslicer\\_424/](https://www.prusa3d.com/page/prusaslicer_424/)



Uma das vantagens desta impressora é que, mesmo que a impressão pare antes de acabar por falta de filamento, o equipamento deteta, e fica à espera de recarga de filamento novo para prosseguir a impressão a partir do local onde a impressão foi interrompida. Sendo uma situação a evitar em algumas ocasiões em que isso aconteceu (duas vezes por falha momentânea da rede elétrica no edifício, e algumas vezes por erro de estimativa da quantidade de filamento que ainda estava no rolo...), a impressora conseguiu recuperar e terminar corretamente as impressões.

Como alguns dos modelos tiveram de ser impressos com suportes incluídos, uma das tarefas necessárias foi a remoção cuidadosa dos suportes (fig.74) (para evitar danos ao modelo impresso nas zonas de contato entre suporte e modelo).

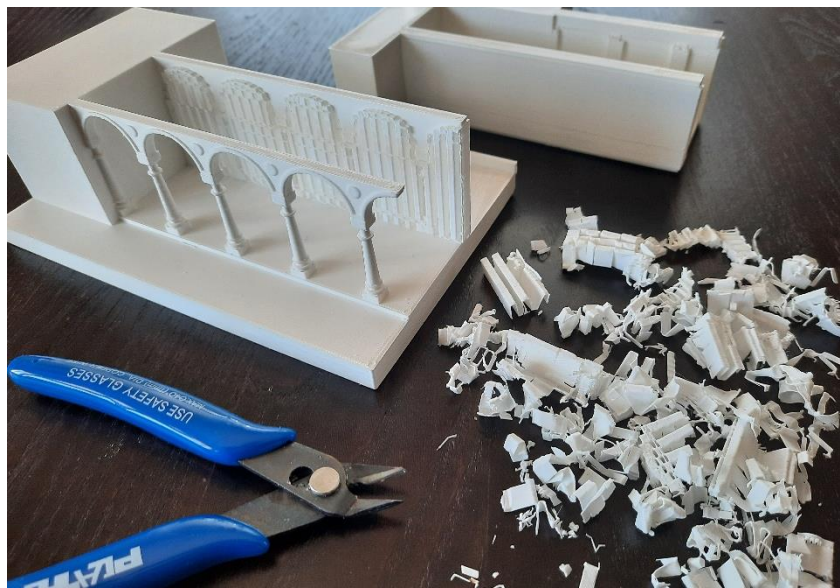


Figura 74- Fotografia do processo de remoção de suportes. Fonte: Victor Ferreira

O processo de impressão FDM acabou por criar algumas camadas que sobressaíam das superfícies do modelo, e alguns empenos (devido a variações de temperatura e ao arrefecimento das peças), o que impedia a união perfeita entre peças. Antes da montagem final foi necessário limar e lixar as zonas de contacto entre peças, para garantir que não continham irregularidades, e para corrigir as zonas ligeiramente empenadas.

Durante as reuniões de teste também se notou que o processo de impressão deixava pequenas protuberâncias na superfície que tornava a superfície irregular, criando “ruído” tátil. A solução passou por lixar suavemente as zonas dos modelos onde se notava essa aspereza (foi necessário tocar cuidadosamente toda a superfície do modelo procurando sentir zonas problemáticas).

### **9.9.1 Descrição e justificação dos meios técnicos e materiais utilizados**

Para a produção das peças optou-se pela utilização da tecnologia de fabricação aditiva FDM (a pedido da DGPC), sendo o material utilizado o PLA Cardboard Nude da RepRap PT.

No início do protocolo o grupo ArchC\_3D tinha ao seu dispor duas impressoras 3D, uma Creality CR-10S e uma Prusa i3 MK3S+. Posteriormente optou-se por adquirir segunda impressora Prusa i3 MK3S+, devido à dificuldade de utilização da Creality CR-10S, por ter pior qualidade de impressão e ser mais lenta. Desta forma manteve-se a qualidade e consistência durante a produção das peças, e a confiança na qualidade dos resultados obtidos e na fiabilidade de funcionamento.

### 9.9.2 Estatísticas Gerais

Durante o processo de impressão foram registados os dados relativos ao peso e tempo de impressão de cada peça produzida. Deste modo foi possível ter uma visão global da quantidade de material utilizada bem como do tempo levado para produzir todos os modelos.

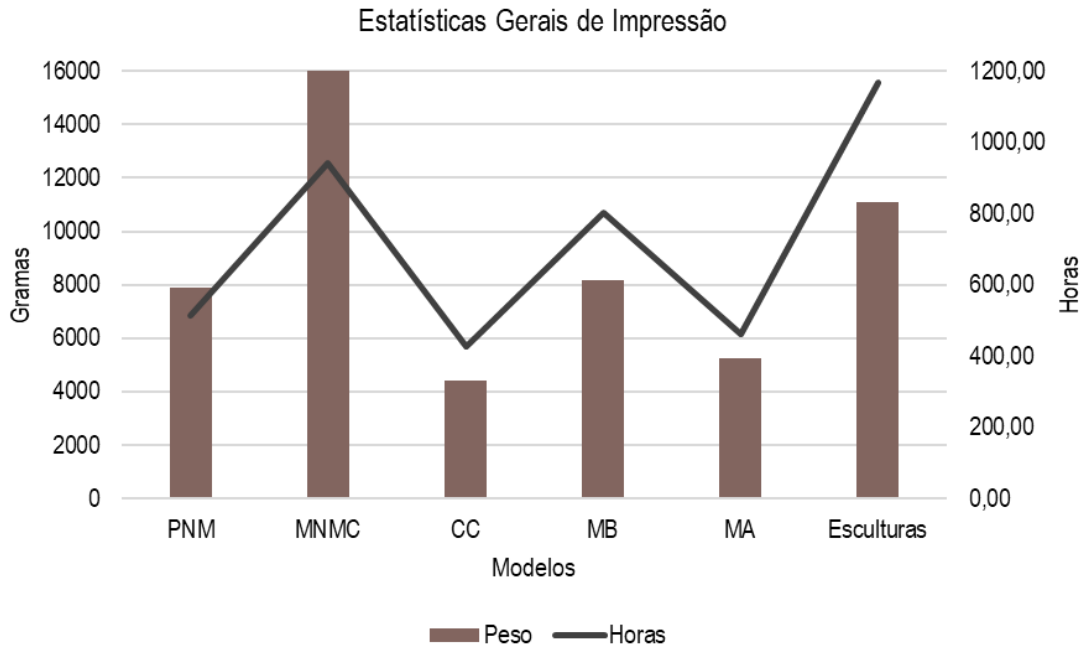


Gráfico 4- Estatísticas gerais de impressão. Fonte: Mickey Stakenburg

De modo geral, verificou-se uma correlação linear entre o peso de material utilizado e o tempo de impressão das peças de 12,29 g/h. No entanto, nos casos em que as peças eram mais pormenorizadas (no caso das esculturas e detalhes), estas levavam mais tempo a ser impressas do que outras com o mesmo peso mas menos pormenores (no caso dos edifícios).

### **Palácio Nacional de Mafra**

Para a produção do modelo tátil do Palácio Nacional de Mafra foram impressas 28 peças. Os pesos destas peças variou entre as 5 g e as 574 g, tendo os tempos de impressão estado compreendidos entre os 51 min e as 36 h e 3 min. O modelo levou então um total de 21 dias, 11 h e 8 min a ser impresso, necessitando um total de 7,903 Kg de PLA.

Para a produção dos detalhes do Palácio Nacional de Mafra foram impressas 4 peças. Os pesos destas peças variou entre as 8 g e as 684 g, tendo os tempos de impressão estado compreendidos entre os 37 min e as 66 h e 45 min. Os detalhes levaram então um total de 6 dias, 20 h e 47 min a ser impresso, necessitando um total de 1,412 Kg de PLA.

### **Museu Nacional Machado de Castro**

Para a produção do modelo tátil do Museu Nacional Machado de Castro foram impressas 48 peças. Os pesos destas peças variou entre as 24 g e as 970 g, tendo os tempos de impressão estado compreendidos entre 1 h e 57 min e as 56 h e 32 min. O modelo levou então um total de 39 dias, 6 h e 10 min a ser impresso, necessitando um total de 16,153 Kg de PLA.

Para a produção dos detalhes do Museu Nacional Machado de Castro foram impressas 9 peças. Os pesos destas peças variou entre as 18 g e as 929 g, tendo os tempos de impressão estado compreendidos entre 1 h e 14 min e as 70 h e 58 min. Os detalhes levaram então um total de 12 dias, 9 h e 17 min a ser impresso, necessitando um total de 3,419 Kg de PLA.

### **Convento de Cristo**

Para a produção do modelo tátil do Convento de Cristo foram impressas 32 peças. Os pesos destas peças variou entre as 115 g e as 605 g, tendo os tempos de impressão estado compreendidos entre 9 h e 5 min e as 71 h e 50 min. O modelo levou então um total de 17 dias, 18 h e 23 min a ser impresso, necessitando um total de 4,429 Kg de PLA.

Para a produção dos detalhes do Convento de Cristo foram impressas 10 peças. Os pesos destas peças variou entre as 163 g e as 479 g, tendo os tempos de impressão estado compreendidos entre 16 h e 41 min e as 43 h e 51 min. Os detalhes levaram então um total de 14 dias, 11 h e 47 min a ser impresso, necessitando um total de 3,384 Kg de PLA.

### **Mosteiro de Alcobaça**

Para a produção do modelo tátil do Mosteiro de Alcobaça foram impressas 13 peças. Os pesos destas peças variou entre as 39 g e as 427 g, tendo os tempos de impressão estado compreendidos entre 3 h e 40 min e as 47 h e 57 min. O modelo levou então um total de 19 dias, 5 h e 33 min a ser impresso, necessitando um total de 5,267 Kg de PLA.

Para a produção dos detalhes do Mosteiro de Alcobaça foram impressas 7 peças. Os pesos destas peças variou entre as 97 g e as 797 g, tendo os tempos de impressão estado compreendidos entre 9 h e 13 min e as 114 h e 42 min. Os detalhes levaram então um total de 14 dias, 21 h e 27 min a ser impresso, necessitando um total de 2,867 Kg de PLA.

### **Mosteiro da Batalha**

Para a produção do modelo tátil do Mosteiro da Batalha foram impressas 32 peças. Os pesos destas peças variou entre as 5 g e as 900 g, tendo os tempos de impressão estado compreendidos entre 1 h e 13 min e as 99 h e 20 min. O modelo levou então um total de 33 dias, 8 h e 51 min a ser impresso, necessitando um total de 8,160 Kg de PLA.

## 9.10 Montagem no local nas mesas finais

O projeto de design das mesas expositivas (fig.75) foi desenvolvido pela arquiteta Rita Vale da DGPC. Para a produção das mesmas, a DGPC selecionou a empresa Sertec. A Sertec foi também responsável pela montagem das mesas finais, tendo esta sido feita por técnicos da mesma, nos respetivos Museus / Palácios / Monumentos.

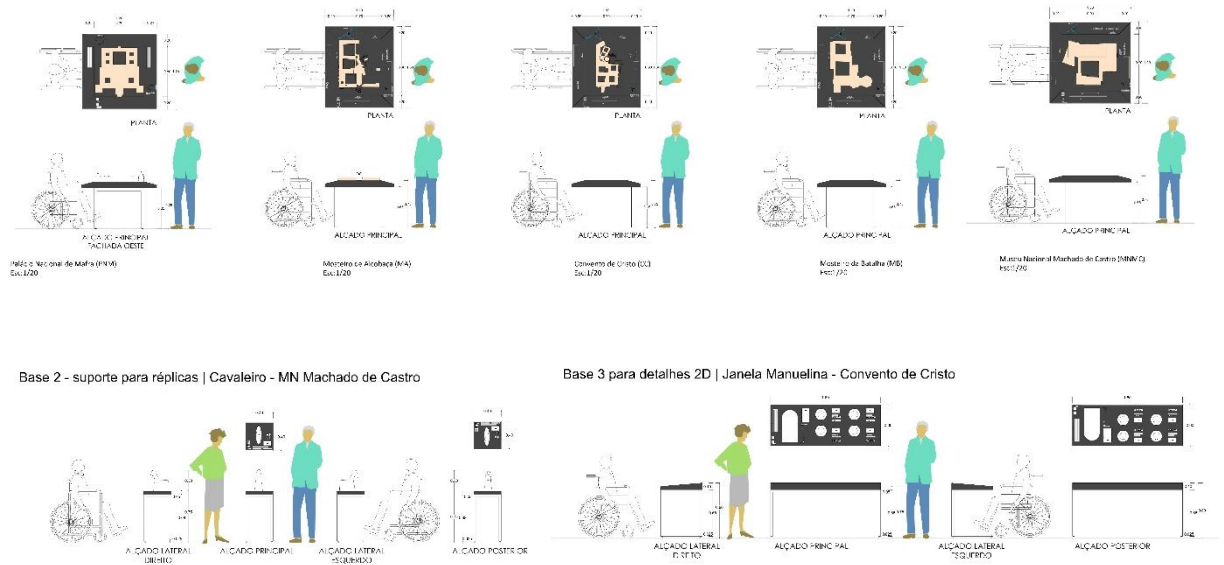


Figura 75- Desenhos técnicos das mesas expositivas. Fonte: Arq. Rita Vale

Este processo foi acompanhado por técnicos e arquitetos da DGPC e responsáveis dos Museus / Palácios / Monumentos de forma a garantir que a informação transmitida era correta, mas também de forma a garantir a acessibilidade tanto física como sensorial das peças. Por parte da FAUL este processo foi acompanhado aquando da criação dos encaixes e limites das peças, de forma a garantir que as mesmas fossem montadas corretamente nas mesas expositivas. A montagem das peças no Palácio Nacional de Mafra e no Museu Nacional Machado de Castro foi também acompanhada, por parte da FAUL, pelos professores Victor Ferreira e Luís Mateus.



Figura 76- Fotografia do processo de montagem das peças. Fonte: Victor Ferreira, Dezembro 2022



Figura 77- Fotografia do processo de montagem das peças. Fonte: Victor Ferreira, Dezembro 2022

## 10 Modelação 3D do Convento de Cristo (CC)



Figura 78- Fotografia aérea do Convento de Cristo. Fonte: ArchC\_3D

**Documentação a produzir:** Modelo tridimensional do Convento de Cristo (CC), incluindo todo o castelo e muralha, bem como a área circundante relevante.

**Escala:** 1/400

**Direitos de autor:** Raquel Flores; ArchC\_3D; DGPC

**Direitos de reprodução:** Sob Consulta

### 10.1 Processo de modelação 3D

A modelação do Convento de Cristo teve início com uma reunião entre a autora deste documento e os seus orientadores. Esta reunião teve como objetivo definir uma primeira estratégia de abordagem ao processo de modelação, para tal utilizou-se uma versão impressa à escala 1/400 das plantas do Convento de Cristo. Começou-se pela delimitação, desenhando à mão sob as bases, da área a ser modelada. Em seguida foi analisada a morfologia e topografia do terreno, isto levou a uma criação de zonas com diversas cotas com base nas curvas de nível do terreno. Foram identificadas as formas principais dos edifícios que constituem o Convento de Cristo bem como os elementos relevantes da muralha e do castelo, servindo estes como base para a criação dos blocos principais no software de modelação 3D (fig.79).

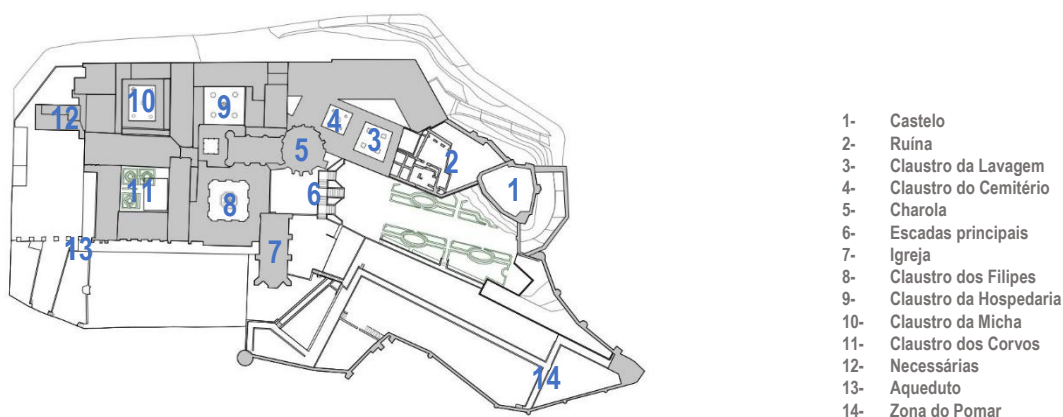


Figura 79- Planta do Convento de Cristo-identificação das formas principais, esc.1/4000. Fonte: Autora

Tendo em conta a dimensão final do modelo, inscrita num quadrado de 90cm x 90cm, a escala de impressão definida foi 1/400. Esta definição foi relevante para a determinação do nível de detalhe da modelação. Se assumirmos que é difícil discernir no modelo físico detalhes inferiores a 1mm, e que a esta dimensão corresponde no modelo digital a dimensão de 40cm, facilmente se deduz que não é possível modelar todos os detalhes do monumento e que, por isso, um certo nível de simplificação é necessário.

O processo de modelação do Convento de Cristo teve início com a criação de novas bases 2D utilizando o software Autocad.

Em seguida foram importados e escalados os levantamentos analógicos fornecidos pela Direção-Geral do Património Cultural - DGPC (formato PDF), para o ficheiro DWG, dos quais dois eram referentes ao Alçado Norte, três referentes ao Alçado Sul, dois cortes transversais e três cortes longitudinais, e dois documentos com todos os Alçados do Claustro dos Filipes e do Claustro da Hospedaria. Com base nestes ficheiros foi desenhado um primeiro conjunto de bases 2D para a criação dos elementos construtivos dos edifícios como portas, janelas, arcos, entre outros (fig.80).



Figura 80- Levantamento de elementos do Alçado Norte, bases -Instituto Português do Património Cultural, esc.1/1000, Fonte: Autora

Após terem sido desenhadas estas bases, deu-se início ao processo de modelação 3D. Para esta fase foi utilizado o software de modelação Rhinoceros 3D. As bases criadas foram então importadas no programa e de seguida foram orientadas e organizadas tridimensionalmente (fig.81).

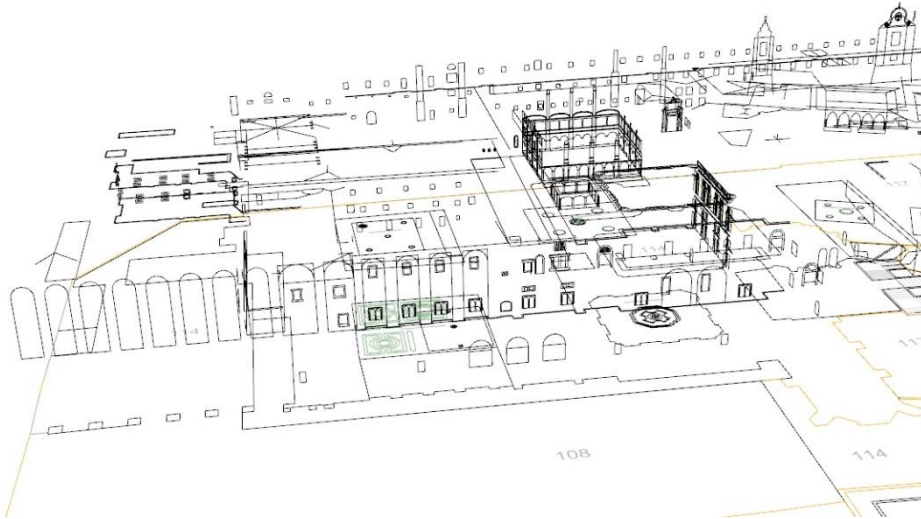


Figura 81- Bases 2D orientadas, Fonte: Autora

Para definir os corpos principais do Convento foram utilizados os softwares, Autocad e Rhinoceros 3D, em paralelo, bem como uma versão impressa à escala 1/400 para obter as dimensões necessárias. É importante ter em consideração que, pelo facto das bases (Alçados e Cortes) serem digitalizações, poderão existir pequenas variações nas medições obtidas, mas que não são significativas para o tipo de modelo pretendido.

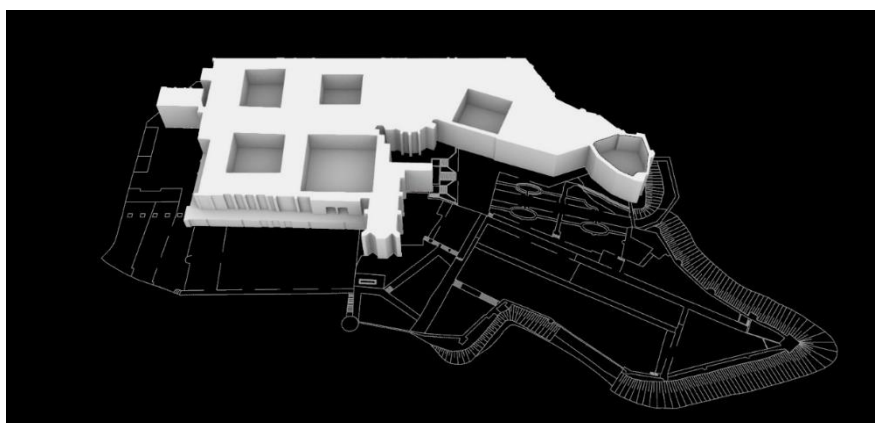


Figura 82- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

O processo de modelação continuou com a modelação do terreno e da muralha circundante. Foram criados blocos mais detalhados dos edifícios que constituem o Convento. A zona do castelo bem como as ruínas junto ao mesmo foram definidas e foi modelada a base do aqueduto.

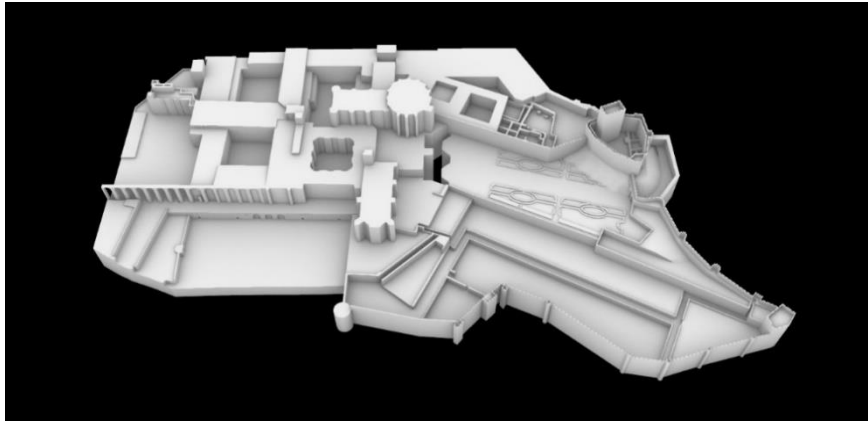


Figura 83- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Nesta fase do processo de modelação surgiu a necessidade de imprimir peças de teste (fig.97 e 101), de forma a ter um melhor entendimento de como seria o nível de pormenor do modelo depois de impresso e verificar se certos elementos eram possíveis de imprimir. Para tal, focou-se na modelação do alçado sul, na zona do aqueduto. Foram igualmente modeladas as escadas da entrada, o interior da igreja e um edifício em ruínas a poente do convento.

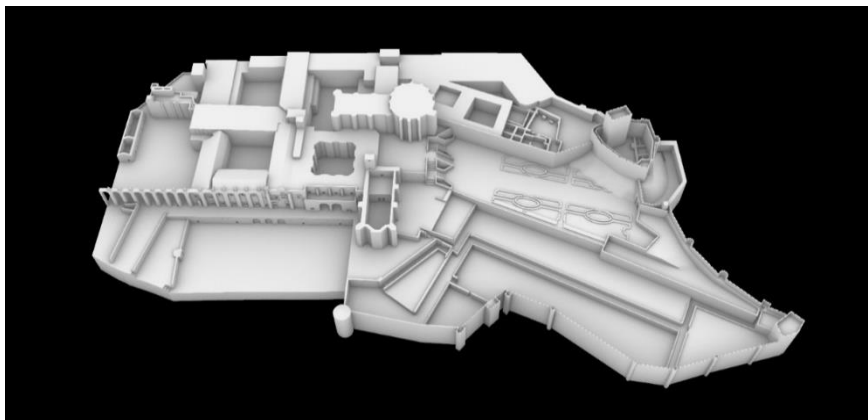


Figura 84- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Com as conclusões obtidas após estes primeiros testes (secção 3.2), foi feita uma remodelação da muralha aumentando o tamanho das ameias e aumentando a espessura da muralha. Na zona do castelo foi feita uma correção à muralha na zona da entrada, bem como na restante muralha. Foi modelada a cobertura do claustro da lavagem. O alçado do aqueduto foi igualmente corrigido de acordo com as conclusões obtidas dos testes de impressão.

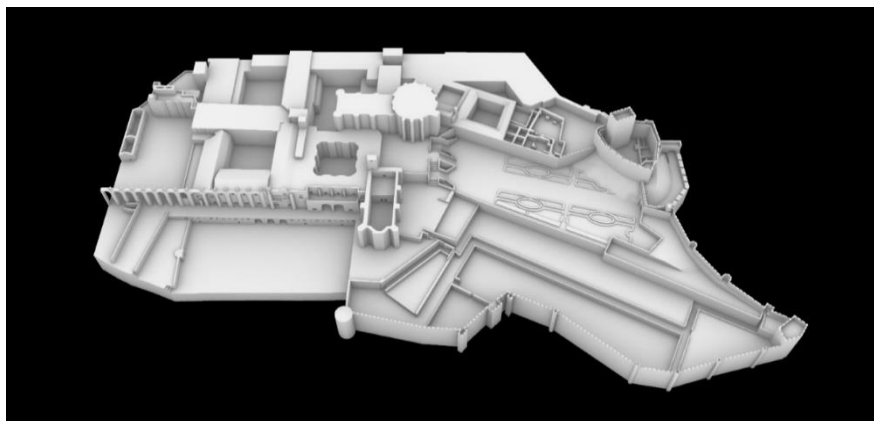


Figura 85- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Continuando o processo de modelação foram criados os vãos na zona das ruínas e efetuadas pequenas correções na mesma. Foram modeladas as coberturas do claustro do cemitério, dos edifícios junto do mesmo e a zona superior do claustro de Santa Bárbara.

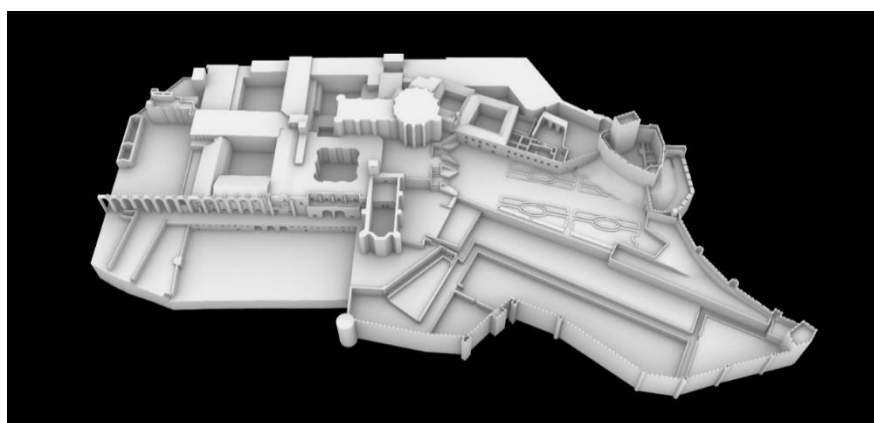


Figura 86- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Foi modelada a fachada norte e criadas as coberturas dos edifícios a norte e noroeste. Foram criados vãos em diversas zonas, fachada norte do castelo, edifício das Necessárias e igreja.

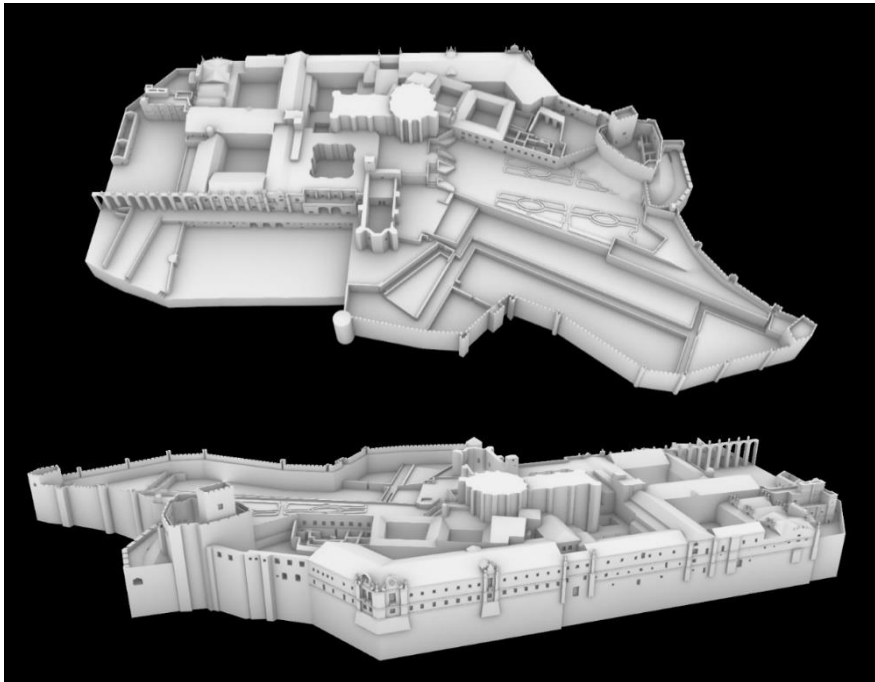


Figura 87- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Neste momento do processo de modelação, decidiu-se modelar o interior dos claustros e realizar novos testes de impressão (fig.105 e 109). Na fachada norte foi também incluído o portal de entrada.

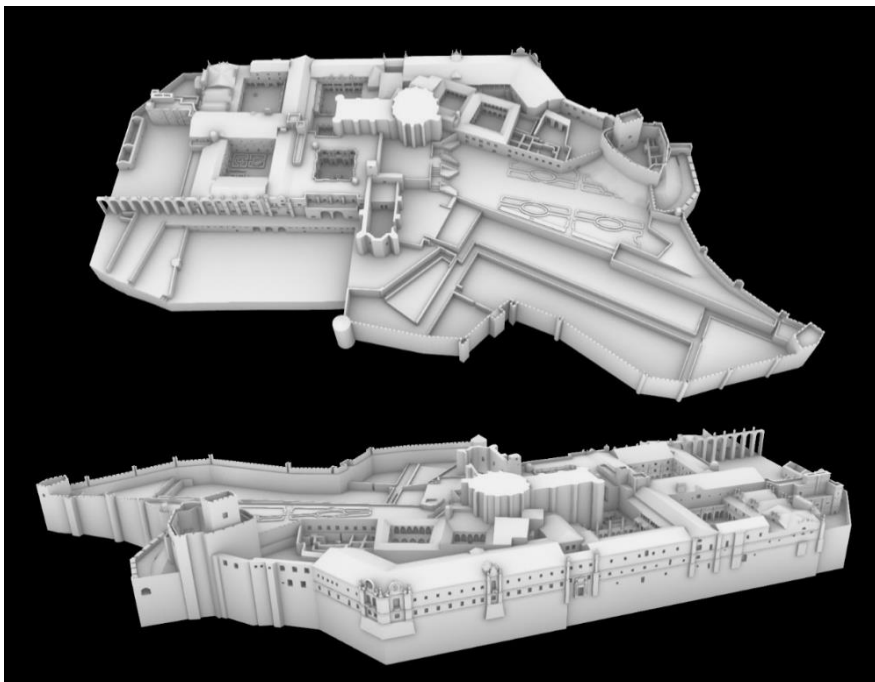


Figura 88- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Após os testes foram efetuadas correções aos claustros nomeadamente, engrossar a espessura dos pilares devido à sua fragilidade, em alguns casos optou-se por criar uma estrutura de suporte atrás dos mesmos. Optou-se também por tapar algumas varandas deixando as mesmas apenas em relevo aumentando a resistência estrutural destas zonas.

Em simultâneo deu-se o início do processo de impressão 3D da zona do pomar (fig.98). Assim a modelação do Convento passou a ser feita de modo a criar zonas que permitissem avançar com a produção do modelo físico em paralelo com a finalização do modelo digital.

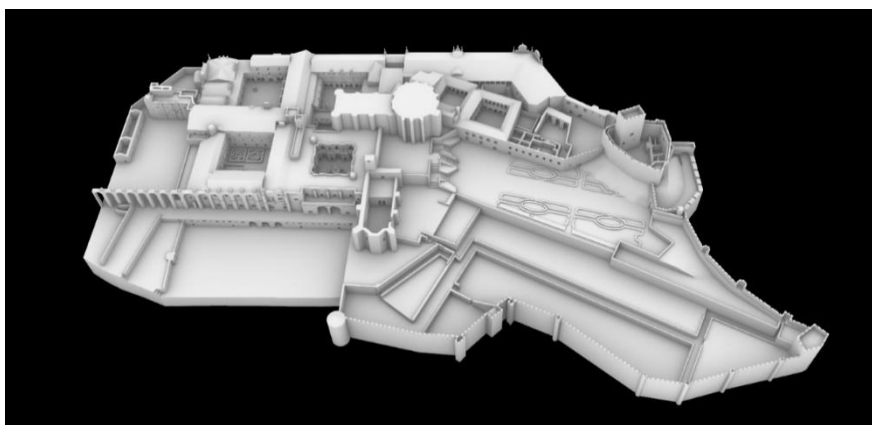


Figura 89- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Já perto do final do processo de modelação decidiu-se acrescentar uma plataforma de terreno a norte tornando mais claras as zonas de entrada no monumento. Começou também, nesta fase, a ser modelada a charola.

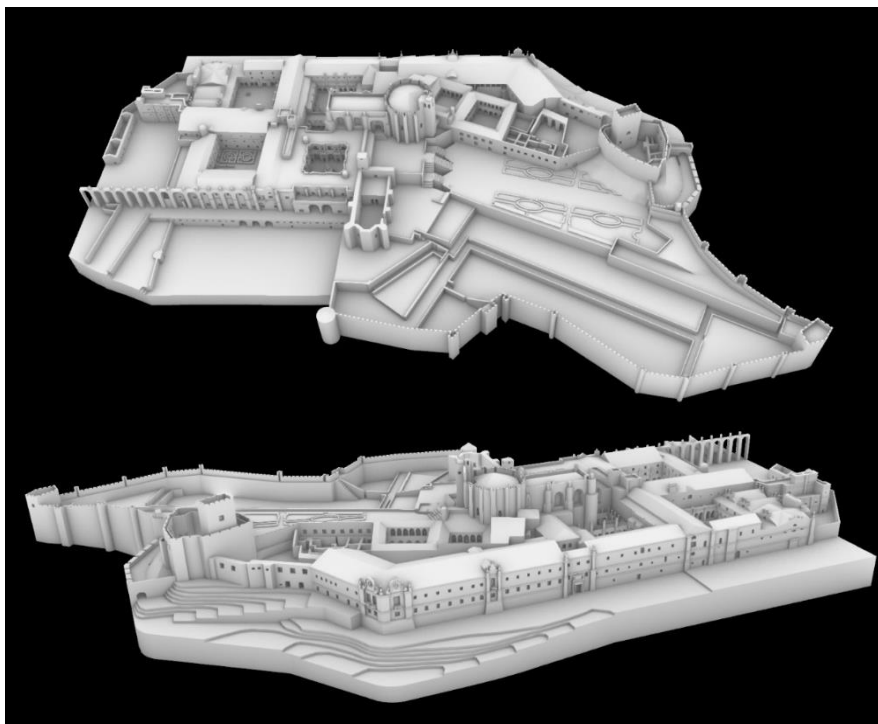


Figura 90- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Finalmente foram efetuadas correções finais e finalizada a modelação da charola.

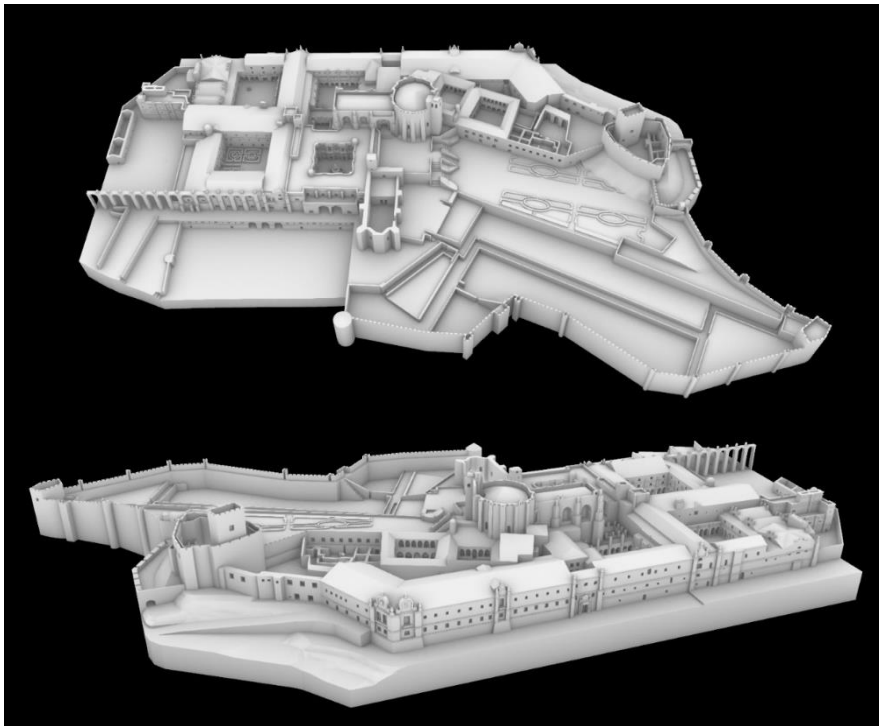


Figura 91- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Após terem sido modeladas todas as partes constituintes do convento, castelo e muralha, foi necessário unir as mesmas de modo a criar um único bloco tridimensional.

Este bloco foi posteriormente dividido em secções ponderadas de acordo com as dimensões da mesa de impressão.



Figura 92- Modelo tridimensional do Convento de Cristo seccionado. Fonte: Victor Ferreira

Foi também criado, pelo Professor Victor Ferreira, um sistema de encaixe entre as peças, permitindo uma conexão mais segura das peças, assim como um sistema de orifícios permitindo a fixação das peças à mesa de exposição.



Figura 93- Modelo tridimensional do Convento de Cristo separados nas respectivas peças de impressão. Fonte: Victor Ferreira

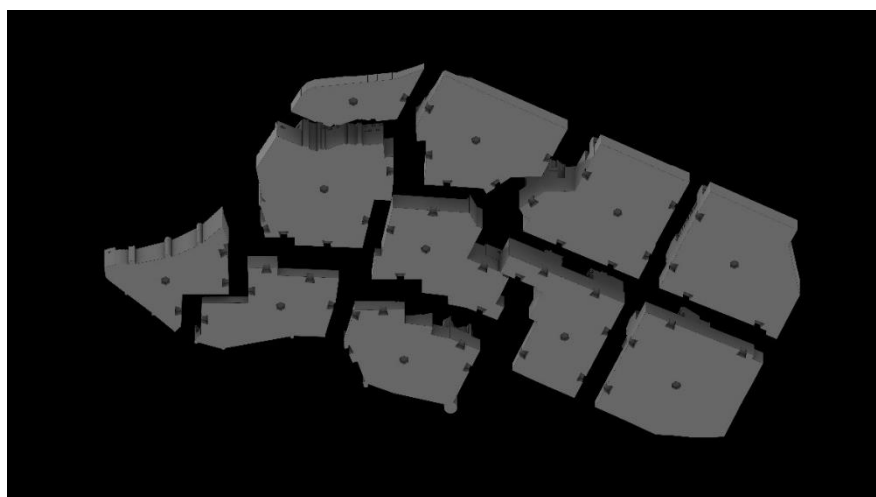


Figura 94- Modelo tridimensional do Convento de Cristo separados nas respectivas peças de impressão, mostrando os encaixes. Fonte: Victor Ferreira

## 10.2 Exemplos de elementos simplificados na modelação

Durante o processo de modelação foram impressos pequenos excertos do Convento que permitissem aferir as qualidades dos modelos de modo a poderem tomar-se decisões para o processo de modelação subsequente. Considerações sobre a robustez física do modelo foram levadas em linha de conta, isto é, os elementos foram modelados de modo que, depois da impressão, não ficassem tão frágeis que se destruíssem facilmente com o seu manuseamento.

### Muralha



Figura 95- Fotografia aérea do Convento de Cristo. Fonte: ArchC\_3D

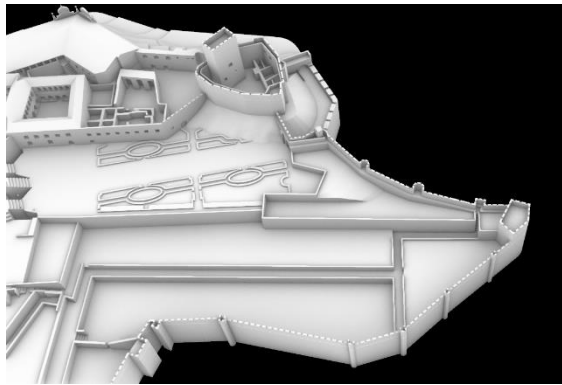


Figura 96- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

A modelação da muralha foi feita com base no levantamento fotográfico aéreo do Convento e no modelo pré-existente do castelo. Através destas bases foram estimadas as cotas da muralha bem como as dimensões das ameias. Após a realização de um teste de impressão verificou-se que a espessura da muralha era demasiado fina tornando a mesma frágil e propensa a quebrar. Verificou-se igualmente que o espaçamento das ameias deveria ser aumentado para permitir uma melhor leitura da mesma.

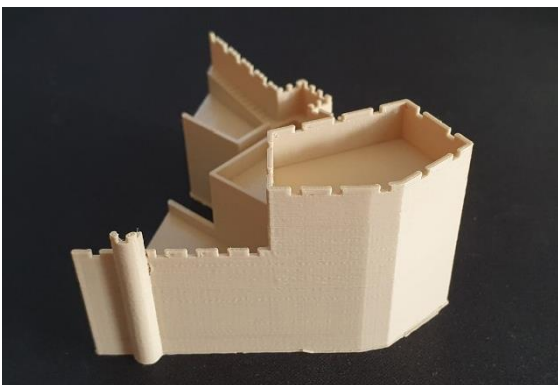


Figura 97- Fotografia do teste de impressão da muralha. Fonte: Autora

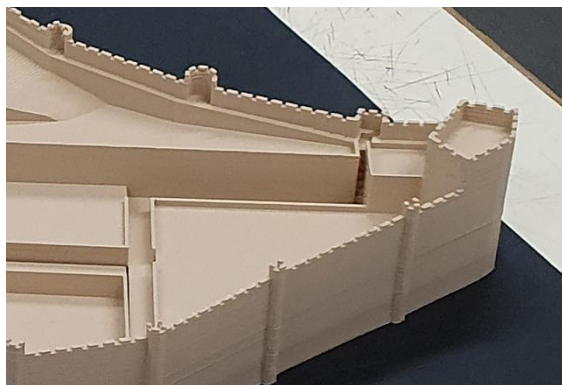


Figura 98- Fotografia do modelo tátil do Convento de Cristo. Fonte: Autora

## Vãos



Figura 99- Fotografia aérea do Convento de Cristo. Fonte: ArchC\_3D

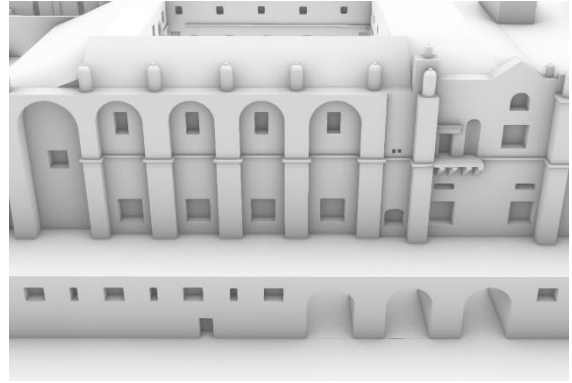


Figura 100- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

A modelação dos vãos foi feita numa primeira fase incluindo pormenores como parapeitos de janelas, molduras de vãos, pequenas pilastras, entre outros elementos. De modo a verificar a viabilidade de incluir estes pormenores, foi realizado um teste de impressão de um excerto do alçado sul do Convento. Estes testes permitiram também obter um melhor entendimento de como estes elementos afetam a experiência tátil. Elementos como parapeitos de janelas, molduras de vãos, etc..., podem ser facilmente percebidos por pessoas normovisuais, mas a nível do tato é praticamente impossível identificar, a esta escala, do que estes elementos se tratam. Nestes casos optou-se por não incluir estes elementos criando apenas “vazios” nas zonas dos vãos.

Este teste permitiu igualmente verificar fragilidades que certos elementos apresentavam. Como pode ser visto na figura 102, certos elementos ficariam demasiado pequenos à escala de impressão, tornando-se demasiado frágeis, acabando por partir com o manuseamento da peça. Optou-se então por, em alguns casos, exagerar ligeiramente as dimensões destes elementos, ou simplesmente não incluir esses pequenos pormenores no modelo final.



Figura 101- Fotografia do teste de impressão do alçado sul. Fonte:

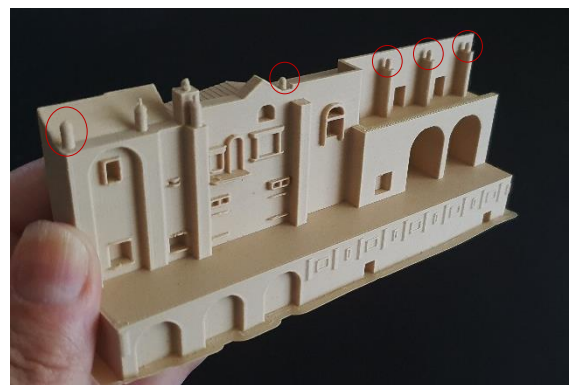


Figura 102- Fotografia do teste de impressão do alçado sul. Fonte: Autora

## Claustros e Pilares



Figura 103- Fotografia do Claustro do Cemitério. Fonte: Sandra Costa

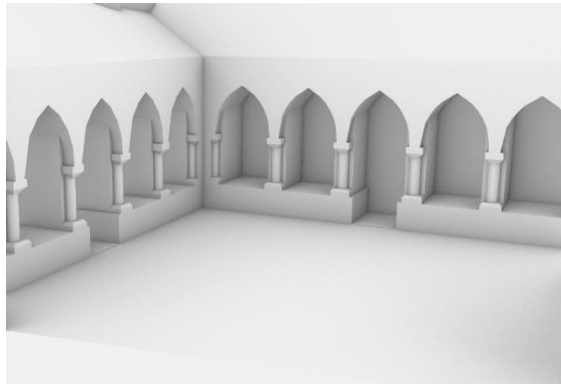


Figura 104- Modelo tridimensional do Claustro do Cemitério. Fonte: Autora

Como referido nos casos anteriores, a necessidade de ter em consideração a resistência das peças, bem com o nível de pormenor incluído nos modelos, levou igualmente a uma simplificação dos detalhes dos claustros e necessidade de reforçar elementos como pilares. Nos testes de impressão realizados foi possível verificar que a espessura dos pilares era demasiado fina colocando em risco a estabilidade da peça.

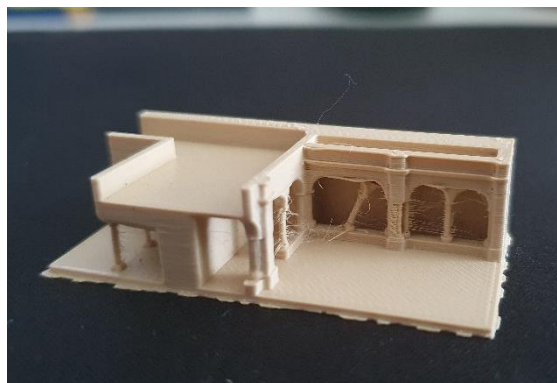


Figura 105- Fotografia do teste de impressão do Claustro da Hospedaria. Fonte: Autora

De modo a corrigir este problema aumentou-se a espessura dos mesmos para o dobro e nos casos em que existiam dois pilares/ pilastras em conjunto apenas um foi modelado, sendo o segundo substituído por um bloco de modo a apoiar o primeiro pilar.



Figura 106- Fotografia do Claustro dos Filipes. Fonte: <http://www.conventocristo.gov.pt/pt/index.php?s=galeria&galeria=43>

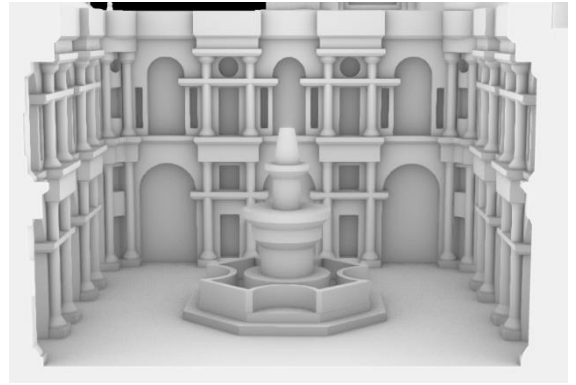


Figura 107- Modelo tridimensional do Claustro dos Filipes. Fonte: Autora

No caso do Claustro dos Filipes verificou-se uma necessidade de engrossar os frisos, pois estes quando impressos pareciam uma lâmina. De modo a garantir uma correta modelação do Claustro fez-se uma divisão do mesmo em 4 partes (fig.108) que poderiam ser criadas por *mirror* a partir de um módulo, após uma correta modelação do mesmo foi feita a simetria para os restantes lados. Optou-se também por aumentar a escala da fonte de modo a permitir uma melhor leitura da mesma.

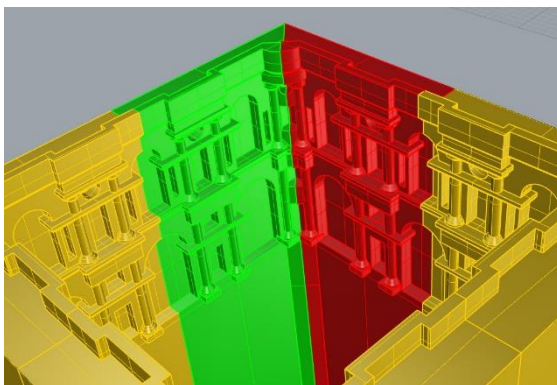


Figura 108- Modelo tridimensional do Claustro dos Filipes, separação dos módulos. Fonte: Victor Ferreira

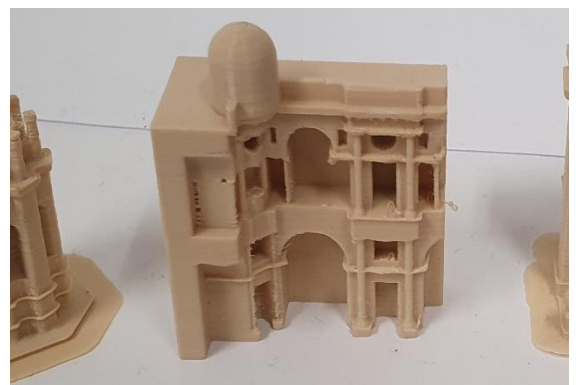


Figura 109- Fotografia do teste de impressão do Claustro dos Filipes. Fonte: Autora

## Escadas



Figura 110- Fotografia das escadas principais. Fonte: ArchC\_3D

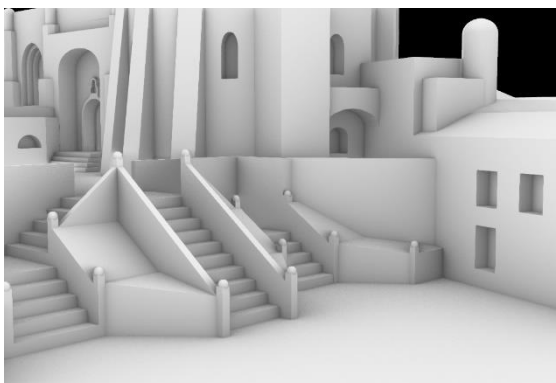


Figura 111- Modelo tridimensional das escadas principais. Fonte: Autora

Elementos como as escadas foram modeladas não tendo em consideração o número ou altura dos degraus, com isto quer-se dizer que, de forma a tornar a leitura tátil das mesmas possível estas foram modeladas aumentando a sua cota. De um modo geral degraus que na escala real teriam entre 25 cm e 30 cm de altura, foram modelados com dimensões entre os 50 cm e 1m, isto traduz-se para 12,5mm e 2,5 mm na escala de impressão. Elemento decorativos como os da escada principal foram simplificados por razões de estabilidade.

## Varandas

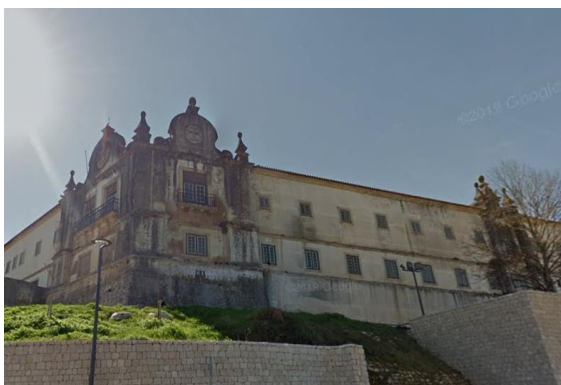


Figura 112- Fotografia da fachada norte do CC. Fonte: Google maps

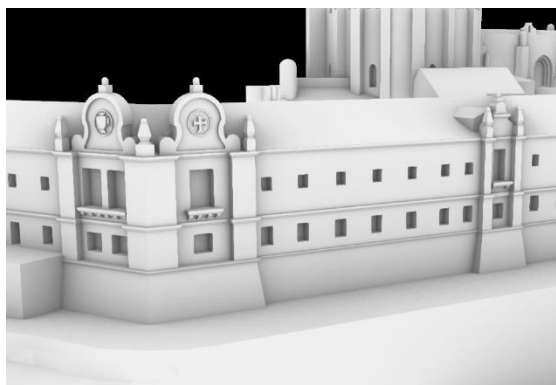


Figura 113- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Há semelhança do caso dos detalhes dos vãos, elementos como as guardas das varandas são demasiado pequenos e frágeis, tendo-se optado por não incluir os mesmos no modelo

## Charola



Figura 114- Fotografia aérea do Convento de Cristo. Fonte: ArchC\_3D

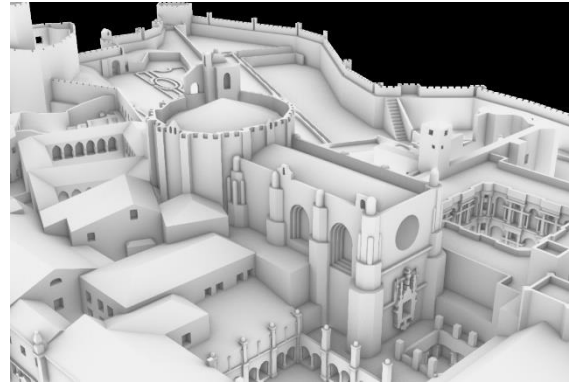


Figura 115- Modelo tridimensional do Convento de Cristo. Fonte: Autora

Na modelação da charola, considerou-se logo de início que devido ao excesso de pormenores e elementos decorativos esta iria ter de ser muito simplificada. À semelhança do caso das ameias da muralha, as ameias que delimitam as coberturas da charola foram modeladas com uma espessura exagerada para aumentar a sua rigidez.

Para além destes aspetos houve a preocupação em evitar formas e detalhes que sejam desagradáveis ao tato ou que sejam mesmo perigosos tendo em conta as características dos destinatários (por exemplo elementos esguios ou em forma de bico). Nestes casos os elementos foram adaptados para tornar a experiência tátil o mais segura possível. Elementos pontiagudos foram modelados arredondando a sua ponta e aumentando a espessura dos mesmos. No caso de elementos muito esguios estes foram igualmente modelados com uma secção maior. Por exemplo, no caso do Mosteiro da Batalha, no topo dos telhados das torres foi introduzida uma esfera com o objetivo de eliminar o detalhe pontiagudo.).

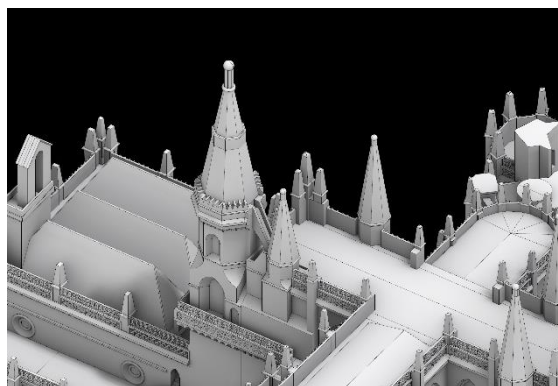


Figura 116- Modelo tridimensional do Mosteiro da Batalha. Fonte: Luís Mateus



## 11 Interação do público com os materiais táteis

Após a montagem das peças no local, os objetivos seriam estudar o impacto das mesmas, como o público em geral iria reagir e interagir ou não, se cumpriam a sua função e traziam vantagens para os visitantes, bem como para os Museus / Palácios / Monumentos e, quais as correções e melhorias que poderiam ser feitas.

Como apoio a este ponto foram elaborados cinco questionários (em anexo), correspondentes aos Museus / Palácios / Monumentos onde as peças estão expostas, para serem respondidos pelos visitantes dos mesmos. Sendo este documento resultado de uma investigação em colaboração com a DGPC, não foi possível até à data da conclusão deste documento realizar este estudo pois, por razões alheias a FAUL e a autora deste documento, as peças expositivas após terem sido concluídas, estiveram guardadas à espera de uma inauguração oficial. Quando feita a inauguração das mesmas (apareceu notícia na página da internet da DGPC em 17-05-2023), os investigadores da FAUL não foram notificados, não existindo já tempo útil até à entrega desta investigação para recolher uma amostra relevante de forma a conduzir um estudo cientificamente correto.

Assim, as únicas interações com o público que foram possíveis de estudar foram as reuniões previamente analisadas e, dois curtos vídeos partilhados por uma técnica do Palácio Nacional de Maфра. Nestes vídeos podem ser vistas duas abordagens para a utilização dos modelos táteis. No primeiro vídeo foi possível ver um grupo de visitantes portugueses, neste a guia utiliza o modelo para explicar a história do edifício e as diferentes funções das diversas áreas do mesmo. “Aqui podemos ter uma panorâmica geral do monumento. O torreão norte que era o apartamento do rei. O torreão do sul o apartamento da rainha. 232 m entre um e outro. Todo este último piso que vocês veem à volta do monumento, é Palácio. Sendo que aqui, a partir daqui, para aqui é a parte do convento. Menos no último piso, o último piso é palácio. O convento hoje em dia não se visita porque é uma instituição militar. E aqui ao fundo eu tenho a biblioteca, que vocês tanto anseiam por ver. E é de facto a grande sala deste monumento.”



Figuras 117, 118, 119 e 120- Fotografias retiradas dos videos de interação com o modelo tátil do Palácio Nacional de Mafra

No segundo vídeo foi possível ver um grupo de visitantes ucranianos, vindos dos Estado Unidos da América. Sendo o guia deste grupo de nacionalidade russa. Devido ao facto da comunicação entre o guia e o grupo ser feita em russo, poderá haver pequenas falhas na interpretação da informação transmitida. A conversa começa com o guia a explicar que o modelo tinha sido criado para permitir, às pessoas que não conseguem ver ou têm dificuldades, visualizar o monumento através do tato. Quando questionado da possibilidade de tocar no modelo, este responde dizendo que o mesmo tinha sido feito para ser tocado. Explica também que o modelo é feito de um plástico forte, que permite uma boa visualização do mesmo e que ele considera este modelo fantástico. O vídeo termina com o guia a explicar a importância e as vantagens destes modelos táteis, para transmitir este tipo de informação, a pessoas que não veem ou têm dificuldades cognitivas, dando o exemplo de como o modelo pode ajudar o seu filho com autismo a entender o monumento.



# PARTE 3

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES



## **PARTE 3 – Conclusões e recomendações**

A Parte 3 trata-se da última secção desta investigação, nela irão ser discutidos os resultados obtidos, analisados os pontos fortes e fracos da mesma, terminando com conclusões e recomendações para futuras investigações.

Este estudo teve como objetivo explorar as potenciais vantagens da utilização da impressão 3D (impressão FDM no caso desta investigação), para a produção de modelos táteis do património construído, como meio de melhorar a acessibilidade e compreensão dos elementos arquitetónicos para pessoas com deficiência visual. Ao longo da investigação foram encontradas diversas vantagens da utilização desta metodologia perante métodos tradicionais bem como diversas desvantagens (desenvolvidas de seguida).

Embora esta investigação tenha enfrentado alguns contratempos e restrições de tempo que impediram o desenvolvimento de um estudo mais aprofundado sobre o tema, foi, contudo, possível obter informações valiosas e relevantes para a mesma.



## 12 Discussões

### 12.1 Benefícios dos modelos impressos em 3D para pessoas com deficiência visual

As pessoas com deficiência visual geralmente dependem de descrições áudio ou Braille para formar imagens mentais dos objetos, o que pode ser difícil e propenso a imprecisões. Ao passar os dedos pelos detalhes, superfícies e contornos dos modelos, as pessoas com deficiência visual podem obter uma compreensão mais profunda das características arquitetônicas dos edifícios e desenvolver uma imagem mental dos mesmos. A natureza tátil destes modelos impressos em 3D oferece uma experiência única e imersiva, permitindo que as pessoas com deficiência visual se envolvam com a arquitetura a um nível mais profundo. Os modelos impressos em 3D fornecem uma representação tangível das dimensões reais, permitindo que as pessoas com deficiência visual apreendam a escala verdadeira dos edifícios, acedam sensorialmente e compreendam as estruturas e formas arquitetônicas, as texturas, em alguns casos, as relações espaciais entre edifícios e pormenores arquitetônicos que de outra forma seriam inacessíveis para elas, levando a uma melhor compreensão e apreciação de seu design e significado histórico.

A arquitetura geralmente incorpora detalhes ornamentais, relevos e entalhes intrincados que contribuem para o seu valor estético e histórico. Esses elementos são frequentemente perdidos pelos indivíduos com deficiência visual ao explorar os espaços físicos ou ao seguir apenas as descrições áudio. No entanto, modelos táteis destes detalhes e pormenores arquitetônicos podem ser impressos em 3D, a diversas escalas permitindo uma exploração dos mesmos. Esta experiência tátil proporciona-lhes uma compreensão sensorial rica do design dos edifícios, aprofundando assim a sua ligação ao património arquitetónico.

A arquitetura não engloba apenas as formas e espaços exteriores, mas também a organização dos espaços interiores. As pessoas com deficiência visual têm frequentemente de lidar com desafios ao navegar em ambientes desconhecidos devido à sua dependência de pistas auditivas ou assistência de outras pessoas. No entanto, ao interagir com elementos como mapas em relevo, as pessoas com deficiência visual podem desenvolver uma melhor noção do layout e organização dos edifícios que estes representam.

Apesar desta tipologia de acesso não ter sido utilizada nesta investigação não deixa de ser relevante para a mesma. Estes modelos táteis atuam como uma ferramenta preparatória valiosa, permitindo que pessoas com deficiência visual se familiarizem com o espaço arquitetónico antes de visitar o local. Ao explorar os modelos, as pessoas com deficiência visual podem mapear mentalmente os caminhos,

localizar os principais recursos e antecipar as transições espaciais. No entanto apesar dos modelos táteis dos monumentos produzidos, não permitirem uma exploração do interior dos mesmos, é ainda assim mostrada uma lógica de organização espacial das partes constituintes dos complexos monumentais preciosa para entender o todo. Este entendimento proporciona-lhes uma maior sensação de confiança e independência ao visitar os edifícios.

Esta investigação também lançou luz sobre os benefícios emocionais e psicológicos da utilização deste tipo de modelos táteis para pessoas com deficiência visual. A arquitetura não é apenas uma coleção de estruturas físicas, mas também uma manifestação de identidade cultural, significado histórico e expressão artística. Estes modelos, ao permitir que as pessoas com deficiência visual se envolvam na apreciação coletiva da arquitetura, promovem um sentimento de inclusão e enriquecimento cultural.

Finalmente, os modelos impressos em 3D oferecem um novo método de ensino e aprendizagem para pessoas com deficiência visual, bem como para a comunidade em geral. Por meio da exploração tátil, estes modelos podem ser utilizados em ambientes educacionais para ensinar história, estilos e conceitos arquitetónicos.

## 12.2 Vantagens e desvantagens de modelos táteis impressos em 3D

Ao longo desta investigação, ficou evidente que a impressão 3D oferece vantagens distintas sobre os métodos tradicionais de criação de modelos táteis. O uso da tecnologia de impressão 3D revoluciona o processo de produção, resultando em modelos táteis personalizáveis, económicos e de rápida produção. Embora estes modelos táteis impressos em 3D ofereçam inúmeras vantagens, é igualmente importante reconhecer as desvantagens e limitações desta tecnologia em comparação com os métodos tradicionais de criação de modelos táteis.

**Exatidão e precisão:** Os métodos tradicionais, como maquetes ou moldes feitos à mão, estão propensos a um certo nível de erro humano, o que pode levar a imprecisões ou inconsistências na representação de certos detalhes arquitetónicos. No entanto, certos tipos de impressão 3D permitem uma tradução mais precisa da informação em modelos físicos com variação mínima. Dependendo do tipo de tecnologia de impressão 3D e das configurações de resolução usadas, o acabamento da superfície dos modelos táteis produzidos pode não ser tão suave quanto aqueles criados por métodos tradicionais. Pormenores intrincados e algumas texturas podem não ser reproduzidos com tanta precisão através da impressão 3D FDM que se utilizou, levando a uma possível perda de informação. Os métodos tradicionais, muitas vezes conseguem alcançar um nível mais alto de suavidade de superfície e resolução de detalhes e texturas, fornecendo uma representação mais intrincada ao tato, das estruturas arquitetónicas. Essa precisão é crucial para transmitir o objeto pretendido e o significado histórico do património arquitetónico garantindo uma experiência tátil mais precisa para as pessoas com deficiência visual. No âmbito desta investigação não foi possível explorar outras tecnologias de impressão 3D, uma vez que tinha sido estipulado pela DGPC que pretendiam impressão FDM com PLA, e não existiu orçamento extra para adquirir outro tipo de impressoras. As impressoras de resina (impressão SLA por exemplo) poderiam permitir modelos mais suaves e melhor detalhe de texturas. Também existem já no mercado impressoras multimaterial<sup>64</sup> que permitem imprimir no mesmo objeto vários tipos de consistência e textura, mas são ainda muito caras e inacessíveis no contexto deste trabalho.

**Personalização:** Uma das principais vantagens da impressão 3D é sua capacidade de produzir modelos táteis altamente personalizáveis. Com a impressão 3D, é possível adaptar os modelos para atender a diferentes requisitos. Pormenores arquitetónicos específicos podem ser enfatizados ou destacados, complementando outros modelos de forma a transmitir os mesmos a pessoas com deficiência visual. Além disso, a escala e o tamanho dos modelos podem ser ajustados para atender às necessidades dos

---

<sup>64</sup><https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-mjp-5600>

diferentes utilizadores e espaços expositivos. Esta personalização aprimora a experiência dos utilizadores, tornando a exploração tátil mais envolvente, personalizada e significativa para os utilizadores.

**Reprodutibilidade e acessibilidade:** A tecnologia de impressão 3D permite a reprodução eficiente de modelos táteis. Uma vez criado o modelo digital, este pode ser facilmente reproduzido e distribuído. Essa reprodutibilidade é particularmente valiosa em ambientes educacionais, museus ou espaços públicos. Além disso, a natureza digital dos modelos 3D permite o seu armazenamento e distribuição em formatos digitais, tornando-os acessíveis a pessoas com deficiência visual em diferentes locais e plataformas. Essa facilidade de reprodução e acessibilidade garante que os benefícios dos modelos táteis impressos em 3D possam atingir um público mais amplo, promovendo inclusão e igualdade de acesso ao património arquitetónico.

**Custo-benefício:** Os métodos tradicionais de criação de modelos táteis, podem ser demorados e caros. Frequentemente são necessários artesãos qualificados, resultando em custos de produção mais elevados. Por contraste, a impressão 3D oferece uma solução económica para a produção de modelos táteis. Depois do modelo digital ser criado, o processo de produção pode ser automatizado, reduzindo a necessidade de trabalho manual extensivo e especializado. Essa automação reduz os custos de produção e possibilita a criação de modelos táteis em maior quantidade e menor custo por unidade. Como resultado, os modelos táteis impressos em 3D tornam-se mais acessíveis para organizações, instituições educacionais e indivíduos com orçamentos limitados. Embora a impressão 3D ofereça benefícios económicos, o processo de produção ainda pode ser demorado, especialmente para modelos arquitetónicos maiores e mais complexos. A necessidade de *slicing* preciso do modelo digital e o processo de construção camada a camada podem estender o tempo de produção em comparação com os métodos tradicionais. Além disso, o custo de algumas impressoras 3D e materiais de alta qualidade pode ser uma barreira para indivíduos ou organizações com recursos limitados. A velocidade e qualidade de impressão tem vindo a melhorar regularmente e o custo das impressoras tem vindo a baixar também regularmente ao longo dos últimos anos, e essas tendências ainda não pararam.

**Sustentabilidade Ambiental:** Outra vantagem dos modelos táteis impressos em 3D é a sua vertente de sustentabilidade ambiental. Os métodos tradicionais de modelação geralmente envolvem o uso de materiais como madeira, gesso ou resina, que podem ter impactos ambientais negativos, não só pelo tipo de material usado, mas também pelos excessos e sobras que resultam da produção dos modelos. Em contraste, a impressão 3D permite a utilização de materiais mais ecológicos, como plásticos

biodegradáveis ou filamentos reciclados. Além disso, o facto da impressão 3D estar menos propensa a erros, minimiza o desperdício de material, sendo apenas necessária a quantidade de material a ser utilizada no processo de produção. Este desperdício de material reduzido e alternativas mais ecológicas contribuem para uma abordagem mais sustentável de produção de modelos táteis, promovendo não só a acessibilidade, mas também a sustentabilidade.

**Opções limitadas de materiais:** A impressão 3D depende de materiais específicos dentro de cada tipologia, materiais estes que nem sempre reproduzem com precisão as texturas e propriedades dos materiais originais utilizados nos elementos arquitetónicos. Os métodos tradicionais, por outro lado, permitem o uso de uma maior variedade de materiais, incluindo madeira, pedra ou metal, que podem oferecer uma experiência tátil mais autêntica. A incapacidade da impressão 3D de replicar perfeitamente estes diversos materiais pode afetar o envolvimento sensorial geral dos modelos táteis. Uma solução para combater este obstáculo é, a colocação de uma legenda de materiais junto dos modelos, incluindo amostras dos materiais utilizados na construção.

**Limitações de tamanho:** A tecnologia de impressão 3D apresenta algumas limitações de tamanho, dependendo dos recursos da impressora a ser utilizada no processo. Objetos arquitetónicos de grande escala ou outros elementos complexos podem exceder as restrições de tamanho das impressoras 3D disponíveis. Isto pode apresentar desafios ao tentar criar modelos táteis abrangentes e detalhados, pois os modelos têm de ser divididos em diversas peças com as dimensões máximas referentes aos limites da impressora. Nestes casos, os métodos tradicionais que permitem a construção de modelos físicos maiores sem a necessidade de divisão em partes, podem ser uma alternativa mais adequada. No entanto o facto dos modelos táteis impressos em 3D estarem divididos em diversas peças de menor dimensão, oferece uma maior possibilidade de manutenção, movimentação e arrumação dos mesmos.

**Falta de habilidade e interpretação artística:** Os métodos tradicionais de criação de modelos táteis geralmente envolvem artesãos qualificados ou artesãos que trazem a sua experiência e interpretação artística para o processo. Estes artesãos podem adicionar um toque humano, incorporando a sua experiência e interpretação artística para criar modelos únicos e esteticamente agradáveis. Por outro lado, os modelos táteis impressos em 3D podem não ter a interpretação artística e o artesanato inerentes aos métodos tradicionais, mas oferecem uma uniformidade e precisão das peças, embora vantajosa em alguns aspetos, pode resultar numa representação um pouco repetitiva ou padronizada dos modelos arquitetónicos. Em todo o caso, o modo como se modela pode mitigar alguns destes aspetos. Note-se

que a modelação 3D também é um processo em que intervém uma pessoa que faz escolhas e interpretações.

**Versatilidade:** Apesar de serem criados no âmbito de tornar a arquitetura, arte e cultura mais acessíveis aos públicos com deficiência visual, os modelos táteis acabam por servir mais do que um propósito. Estes podem ser utilizados em âmbitos escolares para demonstrar e ensinar elementos históricos, arquitetónicos, etc..., de forma mais interativa. Estando expostos em museus ou outros locais de interesse cultural, permitem igualmente ao público geral ter um melhor entendimento e visualização dos locais onde se encontram. Reduzindo a escala em que os modelos são produzidos pode permitir, em alguns casos, a criação de modelos táteis portáteis, ou até mesmo a criação de souvenirs para os visitantes desses espaços.

### **12.3 Considerações do processo de modelação**

O processo de modelação, independentemente da metodologia a utilizar necessita de bases e informações para poder ser realizado. A importância de selecionar informação relevante e complementar à informação existente disponível é fundamental para um bom processo de modelação. A complementação de bases digitais e físicas, por exemplo cartografias, plantas ou alçados, com fotografias ou levantamentos do objeto a ser modelado, visitas ao local e/ou até mesmo descrições textuais facilita o workflow de desenvolvimento dos modelos tridimensionais.

É igualmente importante considerar, desde o início, o grau de pormenor a ser incluído nos modelos, de modo a definir níveis de simplificação e abstração a utilizar durante o processo de modelação. Critérios como a legibilidade dos detalhes, rigidez e estabilidade destes detalhes são exemplos de considerações a ter.

A realização de testes de impressão mostrou-se ser vantajosa durante o processo de modelação das peças, estes testes ajudaram a ter uma noção do resultado final e de questões a corrigir. Questões que não são notadas durante o processo de modelação pelo facto de esta ser feita no computador não havendo uma escala fixa (possibilidade de fazer zoom), tornam-se claras com estes testes. Isto demonstra igualmente que este processo é iterativo, não sendo possível definir tudo desde o início. Apesar de vantajosos estes testes necessitam igualmente de uma validação do público-alvo.

## 12.4 Limitações da investigação

Nenhum estudo ou investigação pode ser realizado sem encontrar alguma limitação ou contratempo. É então importante reconhecer as limitações enfrentadas durante esta investigação, particularmente a impossibilidade de realizar o levantamento das opiniões dos visitantes dos Museus / Palácios / Monumentos envolvidos nesta investigação. Este levantamento poderia ter fornecido um feedback direto e informações importantes sobre as experiências do público com deficiência visual bem como do público geral ao utilizar os modelos impressos em 3D. Estes dados ofereceriam uma compreensão mais abrangente dos benefícios e potenciais áreas a melhorar com a criação de modelos táteis impressos em 3D.

Certas condições impostas, como o tipo de tecnologia de impressão a utilizar (FDM neste caso) criaram algumas limitações no processo de produção das peças. As impressoras de resina (impressão SLA por exemplo) poderiam permitir modelos mais suaves e melhor detalhe de texturas. Existindo também no mercado impressoras multimaterial que permitem imprimir no mesmo objeto com vários tipos de consistência e textura, estas são ainda muito caras e inacessíveis no contexto deste trabalho.

O orçamento limitado desta investigação levou a que certas vontades não pudessem ser realizadas, por exemplo, a possibilidade de as mesas expositivas permitirem uma rotação das peças aquando da exploração das mesmas teria trazido vantagens para os visitantes com deficiências visuais. Igualmente, o facto de as peças estarem fixas às mesas limita um pouco a exploração das mesmas pois como visto nas reuniões de testagem os voluntários agarravam sempre nas peças levantando-as da mesa e “rodavam” as mesmas nas suas mãos de forma a ter uma melhor leitura da peça.

Finalmente a necessidade de haver um trade-off entre o potencial dos modelos táteis para pessoas com deficiência visual (modelos muito simplificados) e a sua utilização pelo público geral (possibilidade de criar modelos mais detalhados), leva a um compromisso entre ambas as abordagens.

### **13 Direções futuras de pesquisa**

É recomendado que investigações futuras priorizem a realização de questionários ao público com deficiência visual, bem como o público geral que visite e interaja com estes modelos táteis, de forma a obter novas perspectivas e opiniões. É igualmente recomendado a realização de entrevistas com os responsáveis dos Museus / Palácios / Monumentos de forma a perceber que vantagens ou desvantagens os modelos impressos em 3D trouxeram para os mesmos e perceber como é que estes são utilizados pelos Museus / Palácios / Monumentos, por exemplo, durante a realização de visitas guiadas.

Os orçamentos são, muitas vezes, um fator limitador do potencial desenvolvimento de uma investigação. Para futuras investigações, seria valioso expandir a investigação para um tamanho de amostra maior, incluindo uma variedade de objetos arquitetónicos mais ampla. O presente estudo focou-se numa lista de edifícios selecionados, o que pode limitar a generalização dos resultados. Ao incorporar um conjunto mais diversificado de estruturas, a investigação pode fornecer uma compreensão mais ampla de como os modelos impressos em 3D podem beneficiar as pessoas com deficiência visual em relação a vários estilos arquitetónicos e períodos históricos.

Outra recomendação para investigações futuras envolve a exploração do papel das tecnologias assistivas, como dispositivos de feedback háptico, podem melhorar a experiência tátil para pessoas com deficiência visual. Ao integrar mecanismos de feedback háptico, como os Beeacons vistos no Museu da ONCE, nos modelos táteis, os indivíduos com deficiência visual podem receber informações adicionais sobre os recursos arquitetónicos que estão a ser explorados, enriquecendo ainda mais a sua interação e compreensão dos mesmos.

Outra forma de complementar a transmissão de informação, que poderia ser incluída junto dos modelos táteis, seria a criação de “manuais” táteis que contivessem informações em relevo e alto contraste como alçados, plantas ou outros pormenores relevantes sobre os edifícios representados nos modelos táteis, exemplos destes manuais podem ser vistos nos projetos do estúdio inkl.Design.



## 14 Conclusões

Em conclusão, esta investigação sobre os benefícios da criação de modelos táteis do património construído impressos em 3D para pessoas com deficiências visuais, destacou várias vantagens e desvantagens desta abordagem. A natureza tátil dos modelos permite que as pessoas com deficiência visual percebam a escala, proporções e detalhes intrincados, aprimorando a sua compreensão e apreciação do património arquitetónico.

A precisão, personalização, reprodutibilidade, economia, complexidade e sustentabilidade oferecidas pelas tecnologias de impressão 3D revolucionam o processo de produção de modelos táteis. Estas vantagens garantem uma exploração tátil mais precisa, envolvente, acessível e inclusiva do património construído.

Embora os modelos táteis impressos em 3D ofereçam inúmeras vantagens, existem algumas desvantagens inerentes em comparação com os métodos tradicionais de produção. As opções limitadas de materiais, potencial rugosidade da superfície, considerações de tempo e custo, falta de interpretação artística, limitações de tamanho e questões de durabilidade devem ser levadas em consideração ao escolher o método apropriado para a criação de modelos táteis. Equilibrar as vantagens e desvantagens de cada abordagem é crucial para garantir uma experiência tátil mais eficaz e significativa para as pessoas com deficiência visual que exploram estes modelos. À medida em que o campo da impressão 3D continua a evoluir, será possível resolver algumas destas limitações, melhorando ainda mais as capacidades e o realismo dos modelos táteis, este possui um imenso potencial para aumentar ainda mais os benefícios e o impacto dos modelos táteis na promoção da acessibilidade, compreensão e valorização do património arquitetónico para pessoas com deficiência visual.

Embora não tenha sido possível realizar um levantamento mais aprofundado das vantagens que estes modelos táteis trazem para os visitantes dos Museus / Palácios / Monumentos em que se encontram, foi possível ter uma ideia das mesmas, graças aos vídeos fornecidos da interação do público com o modelo tátil do Palácio Nacional de Mafra. A multifuncionalidade destes modelos lançou luzes sobre o potencial dos mesmos para melhorar a acessibilidade e a inclusão de pessoas com deficiência visual bem como outros tipos de incapacidades, por exemplo pessoas com autismo, ou até mesmo do público geral.

Investigações futuras devem ter como objetivo abordar as limitações identificadas e explorar ainda mais as aplicações da tecnologia de modo a aumentar a experiência tátil. Ao continuar a investir no desenvolvimento e utilização de modelos táteis impressos em 3D, podemos promover um ambiente mais

inclusivo e enriquecedor para as pessoas com deficiência visual se envolverem e apreciarem o património construído.

Ao promover a acessibilidade e a compreensão do património arquitetónico, estes modelos contribuem para uma sociedade mais inclusiva e igualitária.

## Referências

### Publicações

- ANDRADE, I. *et al.* (2012). **Accessibility for all: going from theory to practice** [online] 41, pp.3840–3846. Disponível em: <https://doi.org/10.3233/WOR201206873840>. [Acedido Nov. 2022].
- ANDRADE, I.F.e Ely, V.H.M.B. (2012). **Assessment method of accessibility conditions: how to make public buildings accessible?** [online] 41, pp.3774–3780. Disponível em: <https://doi.org/10.3233/wor-2012-0675-3774>. [Acedido Nov. 2022].
- ARAUJO, M.D.X. e Santos, D.M. (2015). **Fotografia Tátil: Desenvolvimento de modelos táteis a partir de fotografias com a utilização de impressora 3d.** InfoDesign - Revista Brasileira de Design da Informação, 12(1), pp.62–76. Disponível em: <https://doi.org/10.51358/id.v12i1.311>. [Acedido Jan. 2023].
- BALLETI, C. *et al* (2017). **3D printing: State of the art and future perspectives. Journal of Cultural Heritage** [online] 26, pp.172–182. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.010>. [Acedido Dez. 2022].
- BEM, G.M. e Pupo, R.T. (2015). **Imprimindo o espaço para as pessoas com deficiência visual: uma revisão sistemática** [online] XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital 2015. pp.148–152. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/desprosigradi201530370>. [Acedido Dez. 2022].
- DISCHINGER, M. (2000). **DESIGNING FOR ALL SENSES - Accessible spaces for visually impaired citizens.** [Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy] Disponível em: <https://research.chalmers.se/en/publication/1233> [Acedido Nov. 2021].
- FERREIRA, O.L. (2011). **Patrimônio cultural e acessibilidade : as intervenções do Programa Monumenta, de 2000 a 2005.** [online] repositorio.unb.br. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/9381> [Acedido Dez. 2022].
- FIORANELLI, M. e Roccia, M.G. (2015). **Volume:1 Issue:1 Historical Evolution of Disability Concept.** History of Medicine and Ethics Journal, [online] 1, pp.1–9. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/275407659\\_Volume1\\_Issue1\\_Historical\\_Evolution\\_of\\_Disability\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/275407659_Volume1_Issue1_Historical_Evolution_of_Disability_Concept) [Acedido Dez. 2022].

GABRILLI, M. (2015). **ACESSIBILIDADE É MUITO MAIS DO QUE CONSTRUIR UMA RAMPA.** Revista Pandora Brasil. [online] Disponível em: <https://docplayer.com.br/392151-Acessibilidade-e-muito-mais-do-que-construir-uma-rampa.html> [Acedido Jan. 2023].

HENRIQUES, R.M.V. (2015). **Os sentidos nos museus: acessibilidade para o público cego.** [Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Estudos da Cultura] repositorio.iscte-iul.pt. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10071/11051> [Acedido Out. 2021].

JANDYAL, A. *et al* (2022). **3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0. Sustainable Operations and Computers,** [online] 3, pp.33–42. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.09.004>. [Acedido Dez. 2022].

JUNIOR, E.D.X. *et al* (2017). **FOTOGRAMETRIA E MUSEUS: GERAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS PARA A PROMOÇÃO DE ACESSIBILIDADE.** [online] Congresso de Inovação Tecnológica 3a Semana Integrada UFPEL. Disponível em: [https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2017/MD\\_04425.pdf](https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2017/MD_04425.pdf) [Acedido Abr. 2022].

MINEIRO, C. *et al.* (2004). **Temas de Museologia. Museus e Acessibilidade.** [online] Lisboa: Instituto Português de Museus. Disponível em: [https://www.patrimoniocultural.gov.pt/static/data/publication\\_pdfs/IPM\\_2004\\_Museus\\_e\\_Acessibilidade.pdf](https://www.patrimoniocultural.gov.pt/static/data/publication_pdfs/IPM_2004_Museus_e_Acessibilidade.pdf) [Acedido Nov. 2021].

Organização Mundial da Saúde e Direcção-Geral da Saúde (2004). **CIF - Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde.** [online] Lisboa. Disponível em: <https://catalogo.inr.pt/documents/11257/0/CIF+2004/4cdfad93-81d0-42de-b319-5b6b7a806eb2> [Acedido Jan. 2022].

PRIESTLEY, M. (2007). **In search of European disability policy: Between national and global.** [online] 1(1), pp.61–74. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.alter.2007.08.006>. [Acedido Abr. 2023].

- REICHINGER, A. *et al* (2012). **ComputerAided design of tactile models: taxonomy and case studies.** in: Computers Helping People with Special Needs. 7383 Volume of Lecture Notes in Computer Science. [online] 13th international conference on Computers Helping People with Special Needs. pp.497–504. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/9783642315343\\_73](https://doi.org/10.1007/9783642315343_73). [Acedido Abr. 2022].
- RODRIGUES, G.S.V. (2018). **VOZES QUE GUIAM: CONSTRUÇÃO DE AUDIOGUIAS COM AUDIODESCRIÇÃO NO MUSEU NACIONAL MACHADO DE CASTRO** Trabalho de Projeto Mestrado em Tradução e Interpretação Especializadas Porto -2018 INSTITUTO SUPERIOR DE CONTABILIDADE E ADMINISTRAÇÃO DO PORTO INSTITUTO POLITÉCNICO DO PORTO. [Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Tradução e Interpretação Especializadas] Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.22/13263> [Acedido Mar. 2022].
- SANI, M. (2018). **Making Heritage Accessible: Museums, Communities and Participation.** [online] Council of Europe. Disponível em: <https://rm.coe.int/faro-convention-topical-series-article-5-making-heritage-accessible-mu/16808ae097> [Acedido Jun. 2023].
- SCHENK, T. (2005). **Introduction to Photogrammetry.** The Ohio State University, Columbus, [online] 106. Disponível em: <https://www.mat.uc.pt/~gil/downloads/IntroPhoto.pdf> [Acedido Dez. 2022].
- SCIANNA, A. e Filippo, G.D. (2019). **RAPID PROTOTYPING FOR THE EXTENSION OF THE ACCESSIBILITY TO CULTURAL HERITAGE FOR BLIND PEOPLE.** ISPRSInternational Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, [online] XLII2/W15, pp.1077–1082. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsarchivesXLII2W1510772019>. [Acedido Dez. 2022].
- SOUSA, I. (2008). **A inclusão pela arte : museus e públicos com deficiência visual.** [Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Museologia e Museografia] Repositorio.ul.pt. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10451/647>. [Acedido Nov. 2022].
- TEDESCHI, A. (2014). **AAD, Algorithms-aided design: parametric strategies using Grasshopper.** Brienza, Italy: Le Penseur Publisher.

- TELES, P. (2007). **Acessibilidade e mobilidade para todos : apontamentos para uma melhor interpretação do DL 163/2006 de 8 de Agosto**. [online] [comun.rcaap.pt](http://comun.rcaap.pt). Secretariado Nacional para a Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.26/37441> [Acedido Nov. 2021].
- TOMMASELLI, A.M.G. (2009). **Fotogrametria Básica -Introdução**. [online] Disponível em: [http://www.faed.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/891/introducao\\_a\\_fotogrametria.pdf](http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf) [Acedido Dez. 2022].
- VANHALA, L. (2015). **The Diffusion of Disability Rights in Europe**. *Human Rights Quarterly*, [online] 37(4), pp.831–853. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/24519118> [Acedido Abr. 2023].
- VIEIRA, A. (2018). **Acessibilidade no espaço público patrimonial**. [Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Arquitetura] [www.repository.utl.pt](http://www.repository.utl.pt). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/16910> [Acedido Mar. 2022].
- VIEIRA, A. *et al* (2012). **O que os olhos não vêem mas o coração sente: o reconhecimento do espaço arquitetónico por invisuais**. in: ESPAÇOS NARRADOS A CONSTRUÇÃO DOS MÚLTIPLOS TERRITÓRIOS DA LÍNGUA PORTUGUESA. [online] Seminário Internacional da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo: FAU/USP, pp.1486–1504. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/260420883\\_O\\_que\\_os\\_olhos\\_nao\\_veem\\_mas\\_o\\_coracao\\_sente\\_o\\_reconhecimento\\_do\\_espaco\\_arquitetonico\\_por\\_invisuais](https://www.researchgate.net/publication/260420883_O_que_os_olhos_nao_veem_mas_o_coracao_sente_o_reconhecimento_do_espaco_arquitetonico_por_invisuais) [Acedido Nov. 2022].

## Legislação

**Decreto-Lei n.º 123/97, de 22 de maio** Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/123-1997-397953> [Acedido Mai 2023].

**Decreto-Lei n.º 163/2006** Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2006-108253479> [Acedido Mar. 2023].

**Decreto-Lei n.º 172-H/86, de 30 de junho** Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/172-h-1986-518817> [Acedido Mai 2023].

**Decreto-Lei n.º 43/82, de 8 de fevereiro** Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/43-1982-600506> [Acedido Mai 2023].

**Lei n.º 38/2004, de 18 de agosto.** Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/38-2004-480708> [Acedido Mai 2023].

**Resolução do Conselho de Ministros 34/88, de 16 de Agosto.** Disponível em: <https://dre.tretas.org/dre/40320/resolucao-do-conselho-de-ministros-34-88-de-16-de-agosto> [Acedido Mai 2023].

ICOMOS (2014). **EU Heritage Legislation - International Council on Monuments and Sites.** [online] Disponível em: <https://www.icomos.org/en/9-uncategorised/705-eu-heritage-legislation> [Acedido Mai 2023].

OASRN - Ordem dos Arquitectos Secção Regional Norte - **ACESSIBILIDADES.** [online] Disponível em: [http://www.oasrn.org/apoio.php?pag=tema\\_detalhe&id=16&num=2](http://www.oasrn.org/apoio.php?pag=tema_detalhe&id=16&num=2) [Acedido Mai 2023].

OERN. **Legislação - Acessibilidades.** [online] Disponível em: <http://www.oern.pt/legislacao/70/acessibilidades-> [Acedido Mai 2023].

ONU (1948). **Declaração Universal dos Direitos Humanos.** [online] Disponível em: [https://gddc.ministeriopublico.pt/sites/default/files/documentos/pdf/declaracao\\_universal\\_dos\\_direitos\\_do\\_homem.pdf](https://gddc.ministeriopublico.pt/sites/default/files/documentos/pdf/declaracao_universal_dos_direitos_do_homem.pdf) [Acedido Out. 2021].

ONU (2006). **CRPD. Article 1 - Purpose** . [online] Disponível em: <https://social.desa.un.org/issues/disability/crpd/article-1-purpose> [Acedido Abr. 2023].

**Standardisation**      **Mandate**      **M/420.(2007)**      Disponível      em:  
<https://www.anec.eu/images/attachments/m420ENfinalMandate.pdf>      [Acedido Abr. 2023].

**Standardisation**      **Mandate**      **M/473.(2010)**      Disponível      em:  
<https://www.etsi.org/images/files/ECMandates/m473.pdf> [Acedido Abr. 2023].

## Sítios da Internet

3dcoat.com. **Digital Sculpting in 3DCoat** [online] Disponível em: <https://3dcoat.com/articles/article/sculpting-in-3dcoat/> [Acedido Jan. 2023].

ACAPO. **Como criar museus, monumentos e palácios mais acessíveis** [online] Núcleo de Estudos e Investigação em Acessibilidade da ACAPO. Disponível em: <https://www.acapo.pt/deficiencia-visual/documentos-e-publicacoes/recomendacoes-tecnicas/como-criar-museus-monumentos-e> [Acedido Out. 2021].

ADA (2022). **Guide to Disability Rights Laws** [online] ADA.gov. Disponível em: <https://www.ada.gov/resources/disability-rights-guide/> [Acedido Jun. 2022].

Australian Institute of Health and Welfare. (2002). **History of the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)** [online] Disponível em: <https://www.aihw.gov.au/reports/disability/history-icf-disability-health/contents/icf-history-redevelopment> [Acedido Jan. 2022].

Council of Europe (2014). **The European Social Charter**. [online] Disponível em: <https://www.coe.int/en/web/european-social-charter> [Acedido Abr. 2023].

CRPG. (2023). **População com incapacidades - Censos 2021**. [online] Disponível em: <https://crpg.pt/populacao-com-incapacidades-censos-2021/> [Acedido Mai 2023].

Culture and Cultural Heritage. (2018). **Faro Convention topical series - Culture and Cultural Heritage** [online] Disponível em: <https://www.coe.int/en/web/culture-and-heritage/-/faro-convention-topical-series> [Acedido Jun. 2023].

European Commission. (2020) **European Disability Strategy 2010-2020 helped to remove barriers**. [online] Disponível em: <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=89&furtherNews=yes&newsId=9835&langId=en> [Acedido Abr. 2023].

European Commission. (2019) **European accessibility act**. [online] Disponível em: <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1202> [Acedido Abr. 2023].

- European Commission. (2021) **European disability strategy 2010-2020 - Employment, Social Affairs & Inclusion.** [online] Disponível em: <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1484&langId=en> [Acedido Abr. 2023].
- European Commission. (2019) **European Accessibility Act: Q&A.** [online] Disponível em: <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1202&intPageId=5581&langId=en> [Acedido Abr. 2023].
- egbert-broerken.com. **Blinden-Stadtmodelle.** [online] Disponível em: <https://egbert-broerken.com/> [Acedido Jan. 2022].
- ENAT. (2006). **The European Concept for Accessibility**, 2003. [online] Disponível em: <https://www.accessibletourism.org/?i=enat.en.reports.416> [Acedido Abr. 2023].
- Engineering Product Design. **What is Additive Manufacturing (AM)?** [online] Disponível em: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/additive-manufacturing-processes/> [Acedido Mar. 2023].
- eurodoc.net. (2020). **Disability as an evolving concept: paving the way for more inclusive working environments for ERCs** [online] Disponível em: <https://eurodoc.net/news/2020/disability-as-an-evolving-concept-paving-the-way-for-more-inclusive-working-environments> [Acedido Abr. 2022].
- FARO.com. **Understanding Laser Scanners.** [online] Disponível em: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/understanding-laser-scanners> [Acedido Jan. 2023].
- Forbes. (2022). **The European Accessibility Act: Everything You Need To Know.** [online] Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/forbesbusinesscouncil/2022/05/11/the-european-accessibility-act-everything-you-need-to-know/> [Acedido Abr. 2023].
- Hubs. **3D Printing & Additive Manufacturing - a Complete Overview.** [online] Disponível em: <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/> [Acedido Jan. 2023].
- icd.who.int. (2023). **ICD-11 for Mortality and Morbidity Statistics.** [online] Disponível em: <https://icd.who.int/browse11/l-m/en#/http%3a%2f%2fid.who.int%2fid%2fentity%2f1103667651> [Acedido Dez. 2022].

- Inclusion Europe. (2020). **What is the European Accessibility Act?** [online] Disponível em: <https://www.inclusion-europe.eu/european-accessibility-act/#History> [Acedido Out. 2022].
- INE. (2021). **Censos 2021 - População.** [online] Disponível em: [https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos21\\_populacao&xpid=CENSOS21](https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos21_populacao&xpid=CENSOS21) [Acedido Mai 2023].
- INE. (2022). **População residente (N.o) por Local de residência (à data dos Censos 2021).** [online] Disponível em: <https://tabulador.ine.pt/indicador/?id=0011609> [Acedido Mai 2023].
- inkl.Design. **inkl.Design – Museum projects | Wayfinding Systems | Tactile Models.** [online] Disponível em: <https://inkl.design/projects/> [Acedido Jan. 2022].
- Lboro.ac.uk. (2010). **The 7 categories of Additive Manufacturing,** Loughborough University. [online] Disponível em: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/> [Acedido Mar. 2023].
- Museo Tifológico de la ONCE.** [online] Disponível em: <https://museo.once.es/> [Acedido Jan. 2022].
- MuseumNext. (2019). **Best practice in making Museums more accessible to visually impaired visitors.** [online] Disponível em: <https://www.museumnext.com/article/making-museums-accessible-to-visually-impaired-visitors/> [Acedido Nov. 2021].
- Rotary.de. (2018). **Rotary Magazin Artikel: Rotary Aktuell - Mit Händen zu greifen.** [online] Disponível em: <https://rotary.de/kultur/mit-haenden-zu-greifen-a-12930.html> [Acedido Jan. 2022].
- Sculpteo. **3D Modeling: Creating 3D Objects.** [online] Disponível em: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/3d-modeling-definition/> [Acedido Jan. 2023].
- Ufo 3d. (2019). **History Of 3D Modeling: From Lines To 3D Printing.** [online] Disponível em: <https://ufo3d.com/history-of-3d-modeling/> [Acedido Jan. 2023].

- Wikipedia. (2005). **Lei das Doze Tábuas**. [online] Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_das\\_Doze\\_T%C3%A1buas#T%C3%A1bua\\_IV](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_das_Doze_T%C3%A1buas#T%C3%A1bua_IV) [Acedido Dez. 2022].
- Wikipedia. (2020). **Visual acuity**. [online] Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_acuity](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_acuity) [Acedido Dez. 2022].
- Wikipedia. (2022a). **Disability rights movement**. [online] Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Disability\\_rights\\_movement#History](https://en.wikipedia.org/wiki/Disability_rights_movement#History) [Acedido Apr. 2022].
- Wikipedia. (2022b). **Egbert Broerke**n. [online] Disponível em: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Egbert\\_Broerke](https://nl.wikipedia.org/wiki/Egbert_Broerke)n [Acedido Jan. 2022].
- Wilc.org. (2017). **Fair Housing Amendments Act**. [online] Disponível em: <https://www.wilc.org/fair-housing-amendments-act-2/> [Acedido Jul. 2022].
- World Health Organization (2011). **World report on disability 2011**. [online] Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44575> [Acedido Dez. 2022].
- World Health Organization (2022). **Blindness and Vision Impairment**. [online] Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment> [Acedido Nov. 2022].
- World Health Organization (2023). **Disability and health**. [online] Who.int. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health> [Acedido Nov. 2022].
- World Health Organization. (2021). **Disability**. [online] Disponível em: [https://www.who.int/health-topics/disability#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/disability#tab=tab_1) [Acedido Jan. 2022].
- World Health Organization. Assessment, Classification and Epidemiology Unit (1999). **International classification of functioning and disability : ICFIDH-2**. [online] apps.who.int. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/65990> [Acedido Jan. 2022].
- World Health Organization. **Disabilities**. [online] Disponível em: <https://www.afro.who.int/health-topics/disabilities> [Acedido Abr. 2022].
- www.access-board.gov. **U.S. Access Board - UFAS** (1984). [online] Disponível em: <https://www.access-board.gov/aba/ufas.html> [Acedido Jul. 2022].

- www.adl.org. (2022). **A Brief History of the Disability Rights Movement**. [online] Disponível em: <https://www.adl.org/resources/backgrounders/brief-history-disability-rights-movement> [Acedido Abr. 2022].
- www.icf-casestudies.org. **ICF Case Studies - The Integrative Bio-psycho-social Model of Functioning, Disability and Health**. [online] Disponível em: <https://www.icf-casestudies.org/introduction/introduction-to-the-icf/the-integrative-bio-psycho-social-model-of-functioning-disability-and-health> [Acedido Fev. 2022].
- www.inr.pt. (2020). **Design Universal** - INR, I.P. [online] Disponível em: <https://www.inr.pt/design-universal> [Acedido Nov. 2021].
- www.kreiszeitung.de. (2017). **Das historische Nienburg in 3 D**. [online] Disponível em: <https://www.kreiszeitung.de/lokales/nienburg/bildhauer-egbert-broercken-fertigt-bronze-stadtmodell-8804032.html> [Acedido Fev. 2022].
- www.visitberlin.de. **Tactile model of Berlin's Museum Island**. [online] Disponível em: <https://www.visitberlin.de/en/tactile-model-berlins-museum-island> [Acedido Dez. 2021].
- www.wbdg.org. (2022). **History of Accessible Facility Design** | WBDG - Whole Building Design Guide. [online] Disponível em: <https://www.wbdg.org/design-objectives/accessible/history-accessible-facility-design> [Acedido Mai 2022].



# Anexos

## Questionário desenvolvidos

### Modelos Táteis acessíveis: Convento de Cristo

Este inquérito tem como objetivo recolher informação para a realização de um trabalho de Mestrado, no domínio da Arquitetura na especialização de Arquitetura de Interiores e Reabilitação do Edificado.

A público "alvo" deste inquérito são os visitantes dos Monumentos/Museus incluídos neste estudo.

Todos os dados fornecidos são absolutamente confidenciais e anónimos e serão exclusivamente utilizados para fins de investigação científica. Peça-lhe, assim, que seja o mais rigoroso possível no seu preenchimento.

Agradeço, desde já, a sua participação.

*\* Indica uma pergunta obrigatória*

---

#### 1. Idade \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Menor de 18
- 18-24 Anos
- 25-34 Anos
- 35-44 Anos
- 45-54 Anos
- 55-64 Anos
- 65+ Anos

#### 2. Género \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Masculino
- Feminino
- Outro

3. Possui algum tipo de deficiência visual? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Não  
 Sim, Baixa visibilidade.  
 Sim, Cegueira.  
 Sim, Outra.

4. Se respondeu que sim à questão anterior, em que momento de sua vida desenvolveu essa deficiência?

*Marcar apenas uma oval.*

- Nascimento  
 Criança/Adolescência  
 Adulto(a)

#### **Modelos táteis**

Nesta secção serão feitas algumas questões relacionadas com os modelos táteis encontrados durante a sua visita.

5. Costuma visitar Museus, Monumentos ou Palácios? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não

6. É a primeira vez que visita este Museu, Monumento ou Palácio? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não

7. Considerou os modelos táteis disponíveis úteis para o melhor entendimento do edifício e das peças expostas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não

8. Conseguiu entender do que se tratavam os modelos? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não  
 Alguns

9. Se respondeu alguns na questão anterior por favor indique qual ou quais, caso contrário passe a questão seguinte.

*Marcar tudo o que for aplicável.*

- Convento de Cristo  
 Janela manuelina  
 Pormenor 1: Esfera armilar  
 Pormenor 2: Algas  
 Pormenor 3: Fragmento de coral  
 Pormenor 4: Cordas com boia  
 Pormenor 5: Troncos  
 Pormenor 6: Busto

10. Em relação ao modelo tátil do edifício, considerou a escala do mesmo adequada? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não, demasiado pequena.
- Não, demasiado grande.

11. A informação complementar foi útil para uma melhor interpretação do modelo? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

12. De 1 a 10 qual é a probabilidade de recomendar estes modelos táteis a outras <sup>\*</sup> pessoas?

*Marcar apenas uma oval.*

Pouco provável

---

1

---

2

---

3

---

4

---

5

---

6

---

7

---

8

---

9

---

10

---

Muito provável

---

13. Finalmente, gostaria que mais Museus, Monumentos ou Palácios, para além <sup>\*</sup> dos já realizados, tivessem modelos táteis acessíveis?

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

14. Comentários (se quiser deixar algum comentário adicional pode fazê-lo no espaço abaixo)

---

---

---

---

---

# Modelos Táteis acessíveis: Mosteiro de Alcobaça

Este inquérito tem como objetivo recolher informação para a realização de um trabalho de Mestrado, no domínio da Arquitetura na especialização de Arquitetura de Interiores e Reabilitação do Edificado.

A público "alvo" deste inquérito são os visitantes dos Monumentos/Museus incluídos neste estudo.

Todos os dados fornecidos são absolutamente confidenciais e anónimos e serão exclusivamente utilizados para fins de investigação científica. Peço-lhe, assim, que seja o mais rigoroso possível no seu preenchimento.

Agradeço, desde já, a sua participação.

*\* Indica uma pergunta obrigatória*

---

## 1. Idade \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Menor de 18
- 18-24 Anos
- 25-34 Anos
- 35-44 Anos
- 45-54 Anos
- 55-64 Anos
- 65+ Anos

## 2. Género \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Masculino
- Feminino
- Outro

3. Possui algum tipo de deficiência visual? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Não
- Sim, Baixa visibilidade.
- Sim, Cegueira.
- Sim, Outra.

4. Se respondeu que sim à questão anterior, em que momento de sua vida desenvolveu essa deficiência?

*Marcar apenas uma oval.*

- Nascimento
- Criança/Adolescência
- Adulto(a)

#### **Modelos táteis**

Nesta secção serão feitas algumas questões relacionadas com os modelos táteis encontrados durante a sua visita.

5. Costuma visitar Museus, Monumentos ou Palácios? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

6. É a primeira vez que visita este Museu, Monumento ou Palácio? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

7. Considerou os modelos táteis disponíveis úteis para o melhor entendimento do edifício e das peças expostas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não

8. Conseguiu entender do que se tratavam os modelos? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não  
 Alguns

9. Se respondeu alguns na questão anterior por favor indique qual ou quais, caso contrário passe a questão seguinte.

*Marcar tudo o que for aplicável.*

- Mosteiro de Alcobaça  
 Túmulo de D. Pedro  
 Pormenor 1: Cabeça de D. Pedro  
 Túmulo de D. Inês de Castro  
 Pormenor: 2: Cabeça de D. Inês de Castro

10. Em relação ao modelo tátil do edifício, considerou a escala do mesmo adequada? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não, demasiado pequena.  
 Não, demasiado grande.

11. A informação complementar foi útil para uma melhor interpretação do modelo? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

12. De 1 a 10 qual é a probabilidade de recomendar estes modelos táteis a outras pessoas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Pouco provável

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

Muito provável

13. Finalmente, gostaria que mais Museus, Monumentos ou Palácios, para além dos já realizados, tivessem modelos táteis acessíveis? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

14. Comentários (se quiser deixar algum comentário adicional pode fazê-lo no espaço abaixo)

---

---

---

---

---

# Modelos Táteis acessíveis: Mosteiro da Batalha

Este inquérito tem como objetivo recolher informação para a realização de um trabalho de Mestrado, no domínio da Arquitetura na especialização de Arquitetura de Interiores e Reabilitação do Edificado.

A público "alvo" deste inquérito são os visitantes dos Monumentos/Museus incluídos neste estudo.

Todos os dados fornecidos são absolutamente confidenciais e anónimos e serão exclusivamente utilizados para fins de investigação científica. Peço-lhe, assim, que seja o mais rigoroso possível no seu preenchimento.

Agradeço, desde já, a sua participação.

*\* Indica uma pergunta obrigatória*

---

## 1. Idade \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Menor de 18
- 18-24 Anos
- 25-34 Anos
- 35-44 Anos
- 45-54 Anos
- 55-64 Anos
- 65+ Anos

## 2. Género \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Masculino
- Feminino
- Outro

3. Possui algum tipo de deficiência visual? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Não
- Sim, Baixa visibilidade.
- Sim, Cegueira.
- Sim, Outra.

4. Se respondeu que sim à questão anterior, em que momento de sua vida desenvolveu essa deficiência?

*Marcar apenas uma oval.*

- Nascimento
- Criança/Adolescência
- Adulto(a)

#### Modelos táteis

Nesta secção serão feitas algumas questões relacionadas com os modelos táteis encontrados durante a sua visita.

5. Costuma visitar Museus, Monumentos ou Palácios? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

6. É a primeira vez que visita este Museu, Monumento ou Palácio? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

7. Considerou os modelos táteis disponíveis úteis para o melhor entendimento do edifício e das peças expostas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

8. Conseguiu entender do que se tratavam os modelos? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

Alguns

9. Se respondeu alguns na questão anterior por favor indique qual ou quais, caso contrário passe a questão seguinte.

*Marcar tudo o que for aplicável.*

Mosteiro da Batalha

10. Em relação ao modelo tátil do edifício, considerou a escala do mesmo adequada? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não, demasiado pequena.

Não, demasiado grande.

11. A informação complementar foi útil para uma melhor interpretação do modelo? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

12. De 1 a 10 qual é a probabilidade de recomendar estes modelos táteis a outras pessoas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Pouco provável

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

Muito provável

13. Finalmente, gostaria que mais Museus, Monumentos ou Palácios, para além dos já realizados, tivessem modelos táteis acessíveis? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

14. Comentários (se quiser deixar algum comentário adicional pode fazê-lo no espaço abaixo)

---

---

---

---

---

# Modelos Táteis acessíveis: Museu Nacional Machado de Castro

Este inquérito tem como objetivo recolher informação para a realização de um trabalho de Mestrado, no domínio da Arquitetura na especialização de Arquitetura de Interiores e Reabilitação do Edificado.

A público "alvo" deste inquérito são os visitantes dos Monumentos/Museus incluídos neste estudo.

Todos os dados fornecidos são absolutamente confidenciais e anónimos e serão exclusivamente utilizados para fins de investigação científica. Peço-lhe, assim, que seja o mais rigoroso possível no seu preenchimento.

Agradeço, desde já, a sua participação.

*\* Indica uma pergunta obrigatória*

---

## 1. Idade \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Menor de 18
- 18-24 Anos
- 25-34 Anos
- 35-44 Anos
- 45-54 Anos
- 55-64 Anos
- 65+ Anos

## 2. Género \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Masculino
- Feminino
- Outro

3. Possui algum tipo de deficiência visual? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Não
- Sim, Baixa visibilidade.
- Sim, Cegueira.
- Sim, Outra.

4. Se respondeu que sim à questão anterior, em que momento de sua vida desenvolveu essa deficiência?

*Marcar apenas uma oval.*

- Nascimento
- Criança/Adolescência
- Adulto(a)

#### **Modelos táteis**

Nesta secção serão feitas algumas questões relacionadas com os modelos táteis encontrados durante a sua visita.

5. Costuma visitar Museus, Monumentos ou Palácios? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

6. É a primeira vez que visita este Museu, Monumento ou Palácio? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

7. Considerou os modelos táteis disponíveis úteis para o melhor entendimento do edifício e das peças expostas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não

8. Conseguiu entender do que se tratavam os modelos? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não  
 Alguns

9. Se respondeu alguns na questão anterior por favor indique qual ou quais, caso contrário passe a questão seguinte.

*Marcar tudo o que for aplicável.*

- Museu Nacional Machado de Castro  
 Cavaleiro medieval  
 Azulejo didático  
 Apóstolo de Hodart  
 "Loggia" renascentista

10. Em relação ao modelo tátil do edifício, considerou a escala do mesmo adequada? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim  
 Não, demasiado pequena.  
 Não, demasiado grande.

11. A informação complementar foi útil para uma melhor interpretação do modelo? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

12. De 1 a 10 qual é a probabilidade de recomendar estes modelos táteis a outras pessoas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Pouco provável

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

Muito provável

13. Finalmente, gostaria que mais Museus, Monumentos ou Palácios, para além dos já realizados, tivessem modelos táteis acessíveis? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

14. Comentários (se quiser deixar algum comentário adicional pode fazê-lo no espaço abaixo)

---

---

---

---

---

# Modelos Táteis acessíveis: Palácio Nacional de Maфра

Este inquérito tem como objetivo recolher informação para a realização de um trabalho de Mestrado, no domínio da Arquitetura na especialização de Arquitetura de Interiores e Reabilitação do Edificado.

A público "alvo" deste inquérito são os visitantes dos Monumentos/Museus incluídos neste estudo.

Todos os dados fornecidos são absolutamente confidenciais e anónimos e serão exclusivamente utilizados para fins de investigação científica. Peço-lhe, assim, que seja o mais rigoroso possível no seu preenchimento.

Agradeço, desde já, a sua participação.

*\* Indica uma pergunta obrigatória*

---

## 1. Idade \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Menor de 18
- 18-24 Anos
- 25-34 Anos
- 35-44 Anos
- 45-54 Anos
- 55-64 Anos
- 65+ Anos

## 2. Género \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Masculino
- Feminino
- Outro

3. Possui algum tipo de deficiência visual? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Não
- Sim, Baixa visibilidade.
- Sim, Cegueira.
- Sim, Outra.

4. Se respondeu que sim à questão anterior, em que momento de sua vida desenvolveu essa deficiência?

*Marcar apenas uma oval.*

- Nascimento
- Criança/Adolescência
- Adulto(a)

#### Modelos táteis

Nesta secção serão feitas algumas questões relacionadas com os modelos táteis encontrados durante a sua visita.

5. Costuma visitar Museus, Monumentos ou Palácios? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

6. É a primeira vez que visita este Museu, Monumento ou Palácio? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

7. Considerou os modelos táteis disponíveis úteis para o melhor entendimento do edifício e das peças expostas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

8. Conseguiu entender do que se tratavam os modelos? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

Alguns

9. Se respondeu alguns na questão anterior por favor indique qual ou quais, caso contrário passe a questão seguinte.

*Marcar tudo o que for aplicável.*

Palácio Nacional de Mafra

Busto de D. João V

10. Em relação ao modelo tátil do edifício, considerou a escala do mesmo adequada? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não, demasiado pequena.

Não, demasiado grande.

11. A informação complementar foi útil para uma melhor interpretação do modelo? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

12. De 1 a 10 qual é a probabilidade de recomendar estes modelos táteis a outras pessoas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Pouco provável

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

Muito provável

13. Finalmente, gostaria que mais Museus, Monumentos ou Palácios, para além dos já realizados, tivessem modelos táteis acessíveis? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

14. Comentários (se quiser deixar algum comentário adicional pode fazê-lo no espaço abaixo)

---

---

---

---

---