



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



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

Catherine Teixeira Marcon

MODELO MULTISSENSORIAL DESENVOLVIDO POR TECNOLOGIAS 3D
PARA O AUXÍLIO NA PERCEPÇÃO DA FORMA DE PEÇAS MUSEOLÓGICAS
POR PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre

2021

CATHERINE TEIXEIRA MARCON

**Modelo multissensorial desenvolvido por tecnologias 3d para o auxílio na percepção da
forma de peças museológicas por pessoas com deficiência visual**

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

Orientador: Prof. Dr. Fábio Pinto da Silva

Coorientadora: Prof. Dra. Mariana Pohlmann de Oliveira

Porto Alegre

2021

CIP – Catalogação na Publicação

Marcon, Catherine Teixeira

Modelo multissensorial desenvolvido por tecnologias 3d para o auxílio na percepção da forma de peças museológicas por pessoas com deficiência visual / Catherine Teixeira Marcon. -- 2021.

182 f.

Orientador: Fabio Pinto da Silva.

Coorientadora: Mariana Pohlmann de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Pessoa com deficiência visual. 2. Percepção da forma. 3. Modelo Multissensorial. 4. Acessibilidade. 5. Tecnologias 3D. I. Silva, Fabio Pinto da, orient. II. Oliveira, Mariana Pohlmann de, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pela autora.

Catherine Teixeira Marcon

MODELO MULTISSENSORIAL DESENVOLVIDO POR TECNOLOGIAS 3D PARA O AUXÍLIO NA PERCEPÇÃO DA FORMA DE PEÇAS MUSEOLÓGICAS POR PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

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

Porto Alegre, 1 de dezembro de 2021.

Prof. Dr. Fábio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

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

Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Coorientadora: **Prof. Dra. Mariana Pohlmann de Oliveira**

Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Prof. Dr. Everton Sidnei Amaral da Silva

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

Prof. Dr. Félix Bressan

Instituto de Artes da UFRGS – Examinador Externo

Prof. Dr. Eduardo Cardoso

Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS – Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela estrutura que permitiu o desenvolvimento deste estudo, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida, tornando possível a dedicação exclusiva a este estudo. E a toda equipe de professores e alunos do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM) pela colaboração, amizade e conhecimento fornecido.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva, e minha coorientadora, Prof. Dra. Mariana Pohlmann de Oliveira, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, especialmente pelo incentivo constante e disponibilidade, bem como todo o apoio e suporte pessoal.

Ao professor Eduardo Cardoso, que tanto contribuiu para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço por todo o conhecimento compartilhado e pela disponibilidade.

Ao William, graduando em engenharia de controle de automação, que participou em colaboração como bolsista de Iniciação Científica. Agradeço pelos conhecimentos compartilhados e pela dedicação à pesquisa, principalmente pelo auxílio na programação.

Aos meus pais, Sandro e Cristina, e ao meu irmão Kelvin por todo o apoio incondicional, motivação, empenho e confiança. Sem vocês nada disso seria alcançado. E a toda a minha família, que também me incentivou e apoiou.

Ao meu parceiro de vida Gustavo, por toda a compreensão em momentos de ausência, pelo apoio e motivação constante durante todo esse percurso.

Aos meus amigos e colegas, que de diferentes maneiras contribuíram para que eu chegasse até aqui. Obrigada pelo apoio e incentivo.

RESUMO

MARCON, Catherine T. **Modelo multissensorial desenvolvido por tecnologias 3d para o auxílio na percepção da forma de peças museológicas por pessoas com deficiência visual**. Orientador: Fábio Pinto da Silva. 2021. 182 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

O uso de tecnologias 3D aliadas ao design oferece novas oportunidades para o campo da tecnologia assistiva. Em museus, há um grande potencial para o desenvolvimento de réplicas táteis que visem, principalmente, incluir o público com deficiência visual. Porém, são escassos os estudos de sistemas multissensoriais aplicados nessas réplicas, por exemplo, combinando tato e audição. Nesse contexto, essa pesquisa tem por objetivo o desenvolvimento e a avaliação de um sistema multissensorial, desenvolvido por tecnologias 3D, para o auxílio a pessoas com deficiência visual na percepção da forma de peças museológicas. Para tanto, o estudo foi conduzido junto ao Museu de Porto Alegre, tendo início com a digitalização 3D de uma peça do acervo e sua respectiva conversão em um modelo virtual, o qual foi posteriormente impresso em 3D. Em paralelo, a fim de possibilitar a interação entre a réplica tátil e o usuário, foi selecionado um sensor de toque capacitivo como o responsável pelo feedback de áudio, bem como foi desenvolvida a programação do sistema. Em meio a isso, desenvolveu-se uma tinta condutora para atuar como o sensor de toque capacitivo supracitado, a qual foi aplicada em regiões selecionadas para serem descritas aos usuários. Assim que o sistema foi montado junto ao modelo finalizado, o roteiro das audiodescrições foi escrito, gravado e incluído no sistema. Por fim, o modelo multissensorial foi avaliado por meio de um teste piloto e, posteriormente, foi realizada uma consultoria de audiodescrição junto a um profissional com deficiência visual, no intuito de otimizar as audiodescrições, bem como colocar o modelo multissensorial à prova, visando observar o desempenho, pontos positivos e negativos. Como resultado, o sistema tornou-se autossuficiente e o usuário livre para utilizar o sistema de múltiplas formas, seja seguindo as orientações sugeridas, seja explorando-o conforme desejado, bem como retomando informações que queira ouvir novamente. Assim, os resultados indicam que o sistema desenvolvido é eficiente quanto ao auxílio na percepção da forma por uma pessoa com deficiência visual e já poderia ser implementado em um museu para promover a acessibilidade.

Palavras-chave: Digitalização 3D; Impressão 3D; Modelo Tátil; Audiodescrição; Acessibilidade.

ABSTRACT

MARCON, Catherine T. **Multisensory model developed by 3D technologies to help in the perception of the shape of museum pieces for visually impaired people.** Advisor: Fabio Pinto da Silva. 2021. 182 f. Dissertation (Master in Design) - School of Engineering / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

The application of 3D technology in design brings in new opportunities to the field of assistive technology. In museums, there is vast potential in the development of tactile replicas with the goal to include visually impaired people. However, there is a significant lack of research approaching multi-sensory systems applied in these replicas combining touch and hearing, for example. In this context, this paper intends to both elaborate and assess a multi-sensory system, developed with the use of 3D technology, for the assistance of people with visual deficiency in the perception of museum exhibits. For this purpose, this study was carried out closely with the Museum of Porto Alegre, beginning from the 3D digitization of an exhibit and its conversion to a virtual model, which was afterward printed in 3D. Simultaneously, in order to enable the interaction between the tactile replica and the user, a capacitive touch sensor was set to be responsible for the audio feedback, and the system programming was also consolidated. A conductive paint was conceived to act as the touch capacitive sensor mentioned above, which was applied in previously selected regions to be described to the users. Once the system was assembled together with the finalized model, the script for the audio descriptions was written, recorded and incorporated into the system. Lastly, the multi-sensory model was assessed by means of a trial, and then a visually impaired professional was consulted on the audio description, with the purpose of optimizing the audio descriptions as well as to put the multi-sensory model to the test, aiming to analyze its performance. As a result, the system could be declared self sufficient, and the user was able to operate the system in multiple ways, whether following the instructions suggested, or exploring it as desired, as well as to revisit information if they perchance wanted to listen again. Thus, the results indicate that the developed system is efficient in regards to aiding the perception of shape to a person with visual deficiency and could already be implemented in a museum so as to amplify the accessibility.

Keywords: 3D Digitalization; 3D Printing; Tactile model; Audio Description; Accessibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Baixos-relevos produzidos manualmente disponíveis no Museu Tattile Anteros.	42
Figura 2 — Exposição acessível no Museu Tátil Omero.....	42
Figura 3 — Exposição acessível no Museu Nacional do Azulejo.....	43
Figura 4 — Exposição acessível no Museu Tifológico da ONCE.....	44
Figura 5 — Imagens do Virtex em diferentes versões e usos.....	51
Figura 6 — Imagens do projeto Tooteko.....	52
Figura 7 — Imagens do protótipo Orasis Museum.....	53
Figura 8 — Imagens do estudo sobre rastreamento das mãos através do Kinect.....	53
Figura 9 — Modelos multissensoriais desenvolvidos por Reichinger e colaboradores.....	55
Figura 10 — Maquete arquitetônica desenvolvida por Rossetti e seus colaboradores.....	56
Figura 11 — Imagens do produto inglês Museu in a Box.....	57
Figura 12 — Fluxograma com as etapas do procedimento metodológico.....	64
Figura 13 — Fachada do Museu de Porto Alegre Joaquim José Felizardo.....	65
Figura 14 — Seleção inicial das peças disponibilizadas pelo museu.....	72
Figura 15 — Peças pré-selecionadas para uso neste estudo.....	73
Figura 16 — Peças escolhidas e suas respectivas regiões para audiodescrição.....	74
Figura 17 — Rádio selecionado.....	75
Figura 18 — Parte inferior e posterior do rádio selecionado.....	75
Figura 19 — Processo de digitalização.....	76
Figura 20 — Defeitos na malha triangulada após refinamentos.....	77
Figura 21 — Modelagem tridimensional do rádio.....	78
Figura 22 — Sobreposição das malhas no Geomagic Qualify.....	79
Figura 23 — Modelos de sensores fabricados disponíveis para compra.....	80
Figura 24 — Regiões do rádio.....	81
Figura 25 — Lógica preliminar da programação do sistema.....	84
Figura 26 — <i>Lógica geral e de proximidade</i>	85

Figura 27 — Circuito montado para o sistema multissensorial.	87
Figura 28 — Cortes internos da modelagem do rádio.	89
Figura 29 — Fotos durante a impressão 3D do modelo.	90
Figura 30 — Defeitos na superfície do modelo impresso.	91
Figura 31 — Proporções (em massa) de cada componente das misturas realizadas.	94
Figura 32 — Amostras iniciais das tintas prontas para a realização dos testes.	95
Figura 33 — Algumas placas pintadas com as amostras de tinta A e B com duas demãos de tinta. ...	96
Figura 34 — Processo de medição da resistência da tinta.	98
Figura 35 — Gabarito utilizado para a marcação nas placas pintadas, dimensões 4x20 cm.	98
Figura 36 — Massa acrílica aplicada nas regiões críticas da peça impressa.	100
Figura 37 — Peças unidas com cola epóxi e acabamento com massa acrílica nas emendas.	101
Figura 38 — Acabamento nos botões com massa acrílica e lixa.	101
Figura 39 — Modelo do rádio com a pintura final.	102
Figura 40 — Botões pintados com tinta condutora.	102
Figura 41 — Localização dos furos no modelo.	103
Figura 42 — Fitas de carbono sendo utilizadas para unir os fios desencapados com a área pintada.	104
Figura 43 — Furo na parte posterior do rádio para passagem de cabos.	104
Figura 44 — Arduino e protoboard fixados no interior do modelo do rádio.	105
Figura 45 — Base para fixação do modelo do rádio.	105
Figura 46 — <i>Vistas superior e inferior da base de fixação do modelo do rádio.</i>	106
Figura 47 — Fixação do rádio na base.	106
Figura 48 — Lógica da programação do sistema após otimizações do teste piloto.	111
Figura 49 — Consultor realizando a experimentação do modelo multissensorial.	113
Figura 50 — Toque nos sensores 2 e 3 durante a experimentação.	114
Figura 51 — Toque nos sensores 4 e 5 durante a experimentação.	115
Figura 52 — Lógica final da programação do sistema após as otimizações sugeridas pelo consultor de AD.	117

Figura 53 — Ajuste realizado com tinta para isolar os sensores. 118

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 — Relação entre resistência e distância da amostra de tinta A.....	99
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Comparação de processamento e reprodução por fabricação digital.....	49
Quadro 2 — Trabalhos que utilizam modelos táteis com feedback audiodescritivo analisados.	58
Quadro 3 — Sensores utilizados nos modelos táteis com feedback audiodescritivo em museus.....	67
Quadro 4 — Componentes utilizados no sistema desenvolvido.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Principais parâmetros utilizados na impressão 3D do modelo.....	90
Tabela 2 — Proporções (em massa) dos componentes utilizados nas amostras testadas.	93
Tabela 3 — Média das resistências medidas nas amostras iniciais.	95

LISTA DE ABREVIATURAS

AD	Audiodescrição
CABO P3	Acessório de transmissão de áudio
CBO	Conselho Brasileiro de Oftalmologia
CDPD	Convenção dos Direitos das Pessoas com Deficiência
CIF	Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde
IDE	Integrated development enviroment — Ambiente integrado de desenvolvimento
KΩ	Kilo Ohms
LBI	Lei Brasileira de Inclusão
LDSM	Laboratório de Design e Seleção de Materiais
MP3	MPEG Audio Layer – 3, formato de arquivo que permite ouvir música
nF	Nanofarads
OMS	Organização Mundial da Saúde
pF	Picofarads
PLA	Ácido Polilático
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Delimitação do Tema	19
1.2	Problematização.....	20
1.3	Justificativa	21
1.4	Objetivo Geral	23
1.4.1	Objetivos Específicos.....	23
1.5	Estrutura do trabalho.....	23
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	24
2.1	DEFICIÊNCIA VISUAL.....	24
2.1.1	Baixa visão	25
2.1.2	Cegueira.....	25
2.2	PERCEPÇÃO DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA VISUAL	27
2.2.1	Percepção háptica da forma	29
2.2.2	Percepção auditiva da forma	30
2.2.3	Percepção multissensorial da forma.....	31
2.3	ACESSIBILIDADE NO CONTEXTO DO MUSEU.....	32
2.3.1	Audiodescrição.....	35
2.3.2	O museu e o toque.....	39
2.3.3	Tipos de modelos táteis	44
2.3.4	Modelos táteis multissensoriais existentes	50
2.4	MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DIGITAL DE MODELOS MULTISSENSORIAIS.....	58
2.5	TINTA CONDUTORA A BASE DE CARBONO	61
3	MATERIAIS E MÉTODOS	63
3.1	SELEÇÃO DA PEÇA	65
3.2	DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL	66
3.3	SELEÇÃO DO SENSOR	66
3.4	CONFECÇÃO DO SISTEMA	68

3.5	ADAPTAÇÃO DO MODELO VIRTUAL.....	69
3.6	FABRICAÇÃO DIGITAL.....	69
3.7	PRODUÇÃO DA TINTA CONDUTORA	69
3.8	ACABAMENTO DA PEÇA	70
3.9	MONTAGEM DO SISTEMA.....	70
3.10	DESENVOLVIMENTO DA AUDIODESCRIÇÃO.....	70
3.11	TESTE PILOTO	71
3.12	CONSULTORIA	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1	SELEÇÃO DA PEÇA	72
4.2	DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL	76
4.3	SELEÇÃO DO SENSOR	79
4.4	CONFECÇÃO DO SISTEMA	81
4.5	ADAPTAÇÃO DO MODELO VIRTUAL.....	89
4.6	FABRICAÇÃO DIGITAL.....	89
4.7	PRODUÇÃO DA TINTA CONDUTORA	92
4.8	ACABAMENTO DA PEÇA.....	99
4.9	MONTAGEM DO SISTEMA.....	103
4.10	DESENVOLVIMENTO DA AUDIODESCRIÇÃO.....	107
4.11	TESTE PILOTO	109
4.12	CONSULTORIA	112
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
	REFERÊNCIAS.....	123
	APÊNDICE A	139
	APÊNDICE B	147
	APÊNDICE C	155
	APÊNDICE D.....	164
	APÊNDICE E	173

1 INTRODUÇÃO

Conforme os dados da Organização das Nações Unidas — ONU, tem havido uma priorização na agenda durante cerca de três décadas no que diz respeito às necessidades e aos direitos das pessoas com deficiência. Principalmente, após a Convenção dos Direitos das Pessoas com Deficiência — CDPD, que entrou em vigor em 2008, houve o esclarecimento sobre o direito de viver de forma independente e ativa na sociedade, baseando-se na inclusão, igualdade e não discriminação (decreto nº 6.949/09). A Convenção fora incorporada no Brasil, em 2009, contando com um estatuto federal sobre o tema e, somente em 2015, que instituiu a Lei Brasileira nº 13.146/15 de Inclusão da Pessoa com Deficiência — LBI (Estatuto da Pessoa com Deficiência).

Essa lei (nº 13.146/15) trata das orientações para a promoção dos direitos e liberdades das pessoas com deficiência, a fim de garantir inclusão social desse público (BRASIL, 2015). No ano de 2000, foram promulgadas duas leis específicas sobre as pessoas com deficiência: nº 10.048 e nº 10.098. Ambas tratam sobre a eliminação de barreiras físicas e sociais que impeçam ou reduzam a inclusão social de pessoas com deficiência. O decreto nº. 5.296/04, elaborado para regulamentação dessas leis, trata das definições no tocante à pessoa com deficiência.

Por definição, tanto a LBI, quanto Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) definem pessoa com deficiência aquela com limitação de um domínio funcional do corpo, que surge da interação entre a capacidade intrínseca de uma pessoa e fatores ambientais e pessoais (CIF, 2004). Ou seja, significa perda ou anormalidade de uma estrutura do corpo, ou função fisiológica, que “(...) em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas” (BRASIL, 2015). Por essa perspectiva, o funcionamento ocorre em três níveis: função do corpo e estruturas, atividades e participação (DISABILITY AND DEVELOPMENT REPORT, 2018).

No que diz respeito à realização de uma atividade, possuir uma deficiência apenas quer dizer que existe uma limitação, que varia de leve até grave, para sua execução. Quanto à participação, as características do próprio ambiente podem reduzir ou aumentar a capacidade da pessoa de participar efetivamente da sociedade (DISABILITY AND DEVELOPMENT REPORT, 2018). Então, é importante destacar que qualquer restrição ocorrida para a realização de uma tarefa é um problema que qualquer indivíduo pode vir a enfrentar em situações cotidianas (CIF, 2004). Dessa forma, mesmo que o significado de deficiência esteja relacionado com funções do corpo e estruturas, enfatiza-se que a deficiência também está presente nas barreiras impostas pelo próprio ambiente (CARDOSO, 2016; SARRAF, 2018).

Nesse contexto, as diferentes formas de promover a acessibilidade e a inclusão ganham maior atenção. Para Sarraf (2018), tanto a concepção dos ambientes, quanto serviços e produtos devem considerar a todos igualmente, independe das suas limitações, sejam elas físicas, sensoriais e/ou

cognitivas. A autora ainda completa que, as adequações promovidas pelo conceito da acessibilidade universal não às torna um “benefício” exclusivo às pessoas com deficiência, mas sim um benefício para toda a comunidade. Ainda, enfatiza-se que sempre existirá o foco em um público alvo “beneficiário” principal, uma vez que as pessoas com deficiência demandam de mais adequações e mudanças nos serviços, espaços e produtos culturais.

Somente no Brasil, com a nova margem de corte (para comparações com os demais países), há registro de cerca de 12,7 milhões de pessoas com deficiência, representando 6,7% da população total do país na época (Nota técnica 02/2018 — IBGE, 2018). Dentre elas, o percentual de pessoas com deficiência visual é de 3,4% sendo o maior entre os tipos de deficiência no Brasil (IBGE, 2018). Estima-se que cerca de 530 mil pessoas são incapazes de enxergar (cegas), 6 milhões possuem baixa visão e 29 milhões declararam possuir alguma dificuldade permanente de enxergar, ainda que usando óculos ou lentes (IBGE, 2010).

No cenário global, a Organização Mundial da Saúde - OMS, declara que mais de um bilhão de pessoas em todo o mundo vivem com alguma forma de deficiência, o que representa cerca de 15% da população mundial (OMS, 2011). A pesquisa de Resnikoff e colaboradores (2008) aponta que cerca de 314 milhões de pessoas ao redor do mundo têm problemas de visão, seja por doenças oculares ou erros de refração não corrigidos. Deste número, 39 milhões de pessoas são cegas (OMS, 2011).

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O Relatório Mundial sobre Deficiência (2011) expõe questões como a confiança em soluções institucionais, a falta de vida em comunidade e serviços inadequados como causadores de isolamento e dependência de outrem pelas pessoas com deficiência (OMS, 2011). Nesse sentido, sabendo das garantias previstas em lei, relativas ao pleno usufruto dos direitos humanos e fundamentais, desfrutar do patrimônio cultural não deve ser uma exceção a ninguém (BRASIL, 2015; BUONAMICI et al., 2015; CARDOSO, 2016; SARRAF, 2018; ANSALDI, 2019). Entretanto, observa-se que, inevitavelmente, as pessoas com deficiência visual acabam sendo desfavorecidas ao apreciar obras de arte, como pinturas e artefatos, pois, muitas vezes, esses não podem ser tocados (BUONAMICI et al., 2015; MONTUSIEWICZ, MIŁOSZ & KĘSIK, 2018; ANSALDI, 2019).

Então, é fundamental que os programas de comunicação de mostras, museus e galerias contemplem ações que promovam a fruição dos públicos com necessidades específicas, com qualidade e autonomia (FRANCO, 2018). Pois, quando um museu abre suas portas, esse deve estar apto a dialogar com todos os tipos de públicos, tenha ele necessidades especiais ou não, permitindo que cada um possa usar seus próprios sentidos de maneira independente (FRANCO, 2018; PORTELLA, 2018; SARRAF, 2018; ANSALDI, 2019).

No que tange à importância dos museus para a sociedade, atualmente, estas instituições são consideradas locais de lazer, prazer e conhecimento, e que, além de exercerem seu papel inicial de guardiões de acervos de natureza artística e documental, assumem “uma função social de síntese e oferta do conhecimento [...]” (CARDOSO, SILVA & ZARDO, 2017, p. 20). Assim, observa-se que alguns museus vêm tentando fornecer acesso aos seus conteúdos por meio de outros sentidos além da visão, tais como visitas por toque e descrições verbalizadas de peças selecionadas (EARDLEY et al., 2016; MESQUITA & CARNEIRO, 2016).

A respeito dos museus e galerias, a acessibilidade e a inclusão vêm sendo cada vez mais debatidas, seja por pressões legislativas ou pela agenda política de muitos grupos (associações e ONGs), influenciando as concepções das exposições ao redor do mundo. Tais práticas têm contribuído para mudanças e melhorias no atendimento e no incremento de acesso físico, sensorial e intelectual aos bens culturais (FRANCO, 2018; ANSALDI, 2019).

Entretanto, de acordo com o Instituto Português de Museus (2004) é provável que nenhum museu no mundo seja totalmente acessível. Já que o fato de assegurar a plena acessibilidade implica numa série de estratégias complexas que precisam ser aplicadas. Além disso, esta complexidade, bem como a dificuldade de conciliar a satisfação dos visitantes com a conservação do acervo, cria muitos desafios para a equipe do museu em si (HETHERINGTON, 2002; INSTITUTO PORTUGUÊS DE MUSEUS, 2004). E segundo Mesquita & Carneiro (2016), há uma escassez de pesquisas que relacione um conjunto dessas estratégias de acessibilidade que estejam direcionadas às PESSOA COM DEFICIÊNCIA VISUAL.

Portanto, “a igualdade de condições para usufruir do espaço e do que está sendo apresentado e exposto é uma necessidade primordial. O contrário seria uma indesejada exclusão social” (PORTELLA, 2018, p. 59). Neste sentido, “a adaptação dos museus deve se dar não somente em relação ao espaço, edifício e circuito expositivo, mas também em relação ao conteúdo das exposições, às coleções, aos programas e atividades promovidas pelos seus diversos setores” (FRANCO, 2018, P. 126).

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

Levando em consideração que raramente os museus incentivam o manuseio de peças originais e que, em alguns casos, o toque é uma maneira importante para entender objetos e artefatos, o acesso a modelos táteis tridimensionais tende a ser um início da interação direcionada à melhora das experiências museológicas. No entanto, toda percepção requer o uso de mais de um sentido para promover a compreensão da realidade de maneira essencial. Além disso, os usuários esperam produtos e serviços que proporcionem autonomia e independência em museus e galerias (CARFAGNI et al., 2012; REICHINGER et al., 2016a).

Neste sentido, este trabalho está focado no acesso ao patrimônio cultural, ao passo que a perda da visão envolve uma redistribuição da percepção da realidade para os outros sentidos do corpo. Em particular, há uma concentração da percepção no que envolve o toque e a audição (D'AGNANO et al., 2015).

Então, baseando-se na premissa de que itens essenciais do tema principal de uma exposição devem ser acessíveis as pessoas por exame tátil (tocar em artefatos, reproduções ou modelos) e/ou audiodescrição (MONTUSIEWICZ, MIŁOSZ & KĘSIK, 2018), esta pesquisa visa realizar a combinação de ambos os sentidos a fim de favorecer a percepção por todas as pessoas, em especial as PESSOA COM DEFICIÊNCIA VISUAL. Considera-se que as evidências dos estudos com pessoas cegas têm mostrado que o acesso a esse tipo de reprodução sugere que a mera exploração tátil não é suficiente para compreensão plena (BUONAMICI et al., 2015). Desse modo, propor a integração de um audioguia com audiodescrição de detalhes específicos de uma obra seria capaz de possibilitar a liberdade de exploração tátil, independente e autossuficiente, promovendo a experiência no museu por meio de sentidos táteis e sonoros.

1.3 JUSTIFICATIVA

Encontram-se, na literatura, relatos de pessoa com deficiência visual que explicam a ocorrência de um tratamento homogêneo ou discriminatório no que se relaciona aos demais visitantes durante visitas mediadas (CANDLIN, 2003; KUSAYAMA, 2005; ARGYROPOULOS & KANARI, 2015; KLEEGER, 2018). Ou seja, não há distinção entre pessoa com deficiência visual leigas e aquelas que estudam a arte no que se refere ao detalhamento da peça, podendo ser causado por conta do sentimento de insegurança e despreparo dos profissionais dos museus ao receber este público específico (HILLIS, 2005; HANDA, DAIROKU & TORIYAMA, 2010; ARGYROPOULOS & KANARI, 2015).

Segundo Reichinger, Maierhofer & Purgathofer (2011), é extremamente difícil criar uma imagem mental apenas a partir de impressões acústicas, principalmente sobre informações espaciais, como a posição de diferentes elementos em esculturas ou pinturas, pois não é fácil de descrever. Já que é sabido que não se pode explorar por conta própria estas peças. Ademais, a compreensão da peça ou obra, e as imagens mentais criadas, dependem muito da interpretação do guia, deixando pouca liberdade para as interpretações dos ouvintes, os quais não podem verificar se as mesmas estão "corretas".

As pessoas com deficiência visual, no geral, querem um melhor acesso às obras de arte através do toque de forma mais inclusiva e audioguias gravados que elas possam utilizar com mais facilidade, sem depender de nenhum guia ou acompanhante. Além disso, não querem ter que investir muito tempo solicitando recursos para que possam acessar o acervo, e, muito menos, precisar argumentar sobre suas necessidades. Estas reclamações ocorrem em detrimento de que alguns museus não

divulgam suas possibilidades de acessos alternativos, tais como guias individuais que ofereçam uma visita mediada e passeios com toque (CANDLIN, 2003).

Eardley e colaboradores (2016) ressaltaram que esses passeios, nos quais os visitantes podem manusear alguns dos artefatos e discutir sobre eles em conjunto, são julgados como satisfatórios, uma vez que Volpe e colaboradores (2014) reforçam que, até mesmo simples esculturas forneceriam uma percepção háptica satisfatória e teriam sentido para uma pessoa com deficiência visual. O que já era destacado por Candlin (2003), explicando que quando uma pessoa cega toca pela primeira vez uma peça esculpida em calcário, por exemplo, ela pode compreender desde a forma, temperatura, peso e outras características, que não poderia avaliar apenas com a descrição detalhada da obra.

Então, das estratégias que vem permitindo aos seus visitantes experienciar as realizações arquitetônicas e esculturais, como palácios e tumbas, é a produção de réplicas (em escala, em alguns casos) suficientemente bem detalhadas que possibilita este feito (BEARMAN, 2011; EARDLEY et al., 2016; WILSON et al., 2017). Assim, estas transcrições podem recriar não apenas a composição básica e a cor, mas também traduzir propriedades estilísticas, como textura e pinceladas, em uma experiência palpável (NEUMÜLLER et al., 2014; TEMÍSTOCLEOUS, AGAPIOU & HADJIMITSIS, 2016). O que, igualmente, tornam-se uma forma de conservação destes patrimônios, como em casos de danos ou destruição das obras, ou questões relacionadas a fragilidade destas peças (BEARMAN, 2011; TEMÍSTOCLEOUS, AGAPIOU & HADJIMITSIS, 2016; WILSON et al., 2017; SCOPIGNO et al., 2017; WILSON et al., 2018).

Nas pesquisas relatadas por Argyropoulos & Kanari (2015), as pessoas têm consciência de que o toque nem sempre é viável para todas as exposições. Além disso, os próprios participantes das entrevistas, relataram que quando querem dizer que o toque é muito importante para compreensão, eles não se referem propriamente às originais. Pelo contrário, ressaltam que, desde que seja disponibilizada alguma alternativa como réplica, já é o suficiente. Contudo, dentre as sugestões dos entrevistados, o fornecimento das réplicas mais importantes do acervo, obteve destaque, mesmo que isto represente uma parcela muito pequena do acervo (VAZ, FERNANDES & VEIGA, 2018).

Logo, baseando-se em sistemas análogos de experiências multissensoriais, observou-se uma carência de pesquisas que estudem modelos táteis de peças tridimensionais museológicas, combinadas com feedback audiodescritivo de detalhes que possam ser utilizados de forma autônoma. Todavia, entende-se que réplicas museológicas podem ser sistematizadas e aprimoradas com diferentes tipos de sensores, para transformá-las em modelos táteis ativos, por exemplo, para facilitar interações mais ricas nas exposições dos museus (SCOPIGNO et al., 2017).

1.4 OBJETIVO GERAL

Posto o cenário supracitado, a presente pesquisa tem como objetivo principal, a partir de tecnologias 3D, desenvolver e avaliar um sistema multissensorial, que combine toque e audição, integrado a um modelo tátil de uma peça museológica com foco na acessibilidade de pessoas com deficiência visual.

1.4.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- I. Estudar a percepção tátil e auditiva de pessoa com deficiência visual no tocante a compreensão da forma, a fim de obter requisitos de projeto para desenvolver sistemas que combinem ambos os sentidos de modo a promover uma experiência multissensorial satisfatória;
- II. Estudar as estratégias utilizadas em modelos táteis e multissensoriais já disponíveis em museus para interação com usuários, a fim de identificar os tipos de sensores utilizados;
- III. Selecionar e/ou propor um tipo de sensor para a detecção de toques dos usuários nas peças, baseado em superfície condutora (tinta), para desenvolver o sistema multissensorial;
- IV. Selecionar uma peça museológica para aplicar o sistema multissensorial desenvolvido, avaliando parâmetros baseados na percepção do usuário, visando identificar potenciais e limitações da utilização da tecnologia em réplicas tridimensionais futuras.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além desta primeira parte introdutória, o trabalho está dividido em mais quatro partes. Na segunda parte, é apresentada a revisão de literatura, a qual versa sobre as definições da deficiência visual, percepção háptica e auditiva, bem como a acessibilidade nos museus para pessoas com deficiência visual e as principais iniciativas que vêm sendo abordadas. Na terceira parte, são apresentados os procedimentos metodológicos. A quarta parte destina-se aos resultados e discussão. Por sua vez, a quinta parte destina-se as considerações finais obtidas e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, é apresentada uma revisão acerca das definições de cegueira e baixa visão sob aspectos médicos e legais, assim como as principais relações entre a percepção háptica e auditiva das pessoas com deficiência visual e suas particularidades. Também são apresentadas algumas iniciativas que vêm sendo utilizadas para acessibilidade em museus, no que diz respeito aos modelos táteis disponibilizados, bem como aos modelos multissensoriais. Adicionalmente serão abordados os principais materiais e processos de fabricação utilizados. E por fim, será realizada uma breve revisão relativa à tinta condutora, a qual será aplicada como sensor capacitivo de toque neste estudo.

2.1 DEFICIÊNCIA VISUAL

O fato de que a maioria das pessoas percebem uma boa parte da realidade a sua volta por meio da visão, não significa que as pessoas com deficiência visual estejam impossibilitadas de conhecer e relacionar-se com o mundo. As pessoas com deficiência visual utilizam outras percepções sensoriais, como, por exemplo, a audição, o sistema háptico (ou tato ativo), o olfato, e a propriocepção, bem como aproveitam qualquer resíduo visual¹ que possam ter (LORA, 2003).

Para o Conselho Brasileiro de Oftalmologia - CBO, uma pessoa somente é considerada com deficiência visual quando, mesmo após o tratamento clínico, e/ou cirúrgico, além do uso de óculos convencionais, ainda existe uma situação dada como irreversível (GIL, 2000; CARDOSO, 2016). Os graus de visão podem ser classificados de leve a moderado, severo e profundo até a ausência total da resposta visual (ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015). Por sua vez, a expressão “deficiência visual” se refere ao espectro que vai da cegueira até a visão subnormal (GIL, 2000). Conforme essa classificação, duas escalas oftalmológicas são usadas como parâmetro para avaliar a deficiência visual: a acuidade visual, correspondendo aquilo que se enxerga a determinada distância e campo visual, referindo-se a amplitude da área alcançada pela visão (PEREIRA & VEIGA, 2009; ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015).

Gil (2000) esclarece que entre a baixa visão e a cegueira estão situadas patologias como miopia, estrabismo, astigmatismo, ambliopia e hipermetropia, os quais não constituem necessariamente uma deficiência visual, mas que devem ser identificadas e tratadas ainda na infância, pois podem interferir no processo de desenvolvimento e aprendizagem. Todavia, o impacto que a deficiência visual causa sobre os indivíduos aos quais ela acomete dependem da idade que ocorrem, grau da deficiência, apoio familiar, intervenções médicas e a própria personalidade da pessoa (GIL, 2000). A exemplo disto, pode-se citar a disponibilidade de intervenções, prevenção e tratamentos, o acesso à reabilitação da visão (incluindo produtos de apoio, como óculos ou bengalas), e problemas

¹ Alguns autores utilizam o termo visão residual e/ou resíduo visual para definir a eficiência visual de uma pessoa com deficiência visual (GIL, 2000; LORA, 2003)

com a orientação e mobilidade que as pessoas enfrentam, como informações e transportes inacessíveis (ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015).

2.1.1 Baixa visão

A Fundação Dorina Nowill para Cegos considera uma pessoa com visão subnormal, ou com baixa visão, uma pessoa que apresenta 30% ou menos de visão no melhor olho. Essa é uma condição em que a capacidade funcional decorre de “fatores como rebaixamento significativo da acuidade visual, redução importante do campo visual e da sensibilidade aos contrastes e limitação de outras capacidades” (GIL, 2000, p. 6).

Uma definição mais simplificada poderia ser explicada pela incapacidade de enxergar com clareza suficiente uma tarefa de contar os dedos da mão em uma distância de 3 metros, à luz do dia (GIL, 2000). Todavia, Gil (2000, p. 7), acrescenta que “a pessoa com baixa visão apenas distingue vultos, a claridade, ou objetos a pouca distância. A visão se apresenta embaçada, diminuída, restrita em seu campo visual ou prejudicada de algum modo”.

Existem diversos produtos destinados às pessoas que ainda têm alguma eficiência visual, os quais instigam seu uso e proporcionam a melhora visual por meio de recursos especiais (GIL, 2000; ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015). A exemplo, pode-se citar os auxílios ópticos (como óculos, lupas, etc.) e materiais adaptados conforme a necessidade do sujeito (textos com letras ampliadas e linhas espaçadas).

2.1.2 Cegueira

A Organização Mundial da Saúde - OMS considera como pessoas cegas, mesmo aquelas com vários graus de visão residual. Ou seja, não apenas aquelas que apresentam incapacidade total para ver, mas também todas aquelas caso o prejuízo da visão se verifica em níveis incapacitantes para o exercício de atividades de vida diárias. Em outras palavras, ficam impedidos de utilizar a principal função da percepção visual, que é de captar o ambiente por completo (CARDOSO, 2016).

O termo cegueira é utilizado para identificar a condição de pessoas que apresentam uma total ou parcial incapacidade de enxergar. Dessa maneira, o CBO considera cegueira parcial ou cegueira “legal” (conforme o Decreto nº 5.296/04) quando “a visão corrigida do melhor dos seus olhos é de 20/400 ou menor, ou se o ângulo em relação ao eixo visual que limita o campo visual apresenta medida inferior a 20 graus de arco, ainda que sua acuidade visual nesse estreito campo possa ser superior a 20/400²” (ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015, p. 102). Outrossim, o Decreto nº. 5.296/04 supracitado (sobre as Leis nº 10.098/00 e nº 10.048/00), considera que, além da acuidade visual e a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores citadas, também são considerados como cegueira “os casos nos

² O campo visual de 20/400 (0,05) é chamado de “visão em túnel” (GIL, 2000; ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015).

quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60°” (BRASIL, 2004).

A cegueira pode ser adquirida (precocemente ou tardiamente), ou congênita, significando que há perda da visão desde o nascimento. No indivíduo em que a cegueira é adquirida tardiamente, há capacidade resgatar algumas imagens, luzes e cores guardadas na memória visual, sendo muito úteis na formação dos conceitos e adaptação. Entretanto, aquele que nasce com a incapacidade de enxergar não tem a chance de formar uma memória visual, ou possuir lembranças visuais (GIL, 2000).

Fatos como estes, para quem enxerga o mundo a sua volta é impossível de imaginar, já que as imagens e cores fazem parte de seus pensamentos. Segundo as colocações de Gil (2000, p. 9), “não basta fechar os olhos e tentar reproduzir o comportamento de um cego pois, tendo memória visual, a pessoa tem consciência do que não está vendo”. No caso das pessoas com perda total da visão, elas nem mesmo são capazes de realizar a percepção luminosa. Além disso, Gil (2000) explana que, a cegueira adquirida tardiamente ainda faz com que ocorram perdas das habilidades básicas de mobilidade e orientação, execução das tarefas diárias, atividades profissionais e comunicativas, o que implica na necessidade da readaptação das funções que até então eram utilizadas.

A OMS afirma que 90% das pessoas que sofrem da perda da visão, moderada ou severa, vive em países em desenvolvimento e que cerca de 80% dessas estão na faixa de 50 anos ou mais. Adicionalmente, como explica o CBO, algumas das maiores causas de cegueira na população adulta são: catarata³, glaucoma⁴, retinopatia diabética⁵, degeneração macular relacionada à idade⁶, tracoma⁷ e opacidades de córnea⁸ (GIL, 2000; ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015).

³ A catarata é definida como qualquer opacificação do cristalino (lente biconvexa natural localizada atrás da pupila) que atrapalhe a entrada de luz nos olhos, acarretando diminuição da visão. As alterações podem levar desde pequenas distorções visuais até a cegueira (CBO, 2019a).

⁴ Glaucoma não é uma doença, mas um grupo de condições caracterizadas por danos ao nervo óptico e perda do campo visual (GIL, 2000; ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015). A OMS estima que 4,5 milhões de pessoas são cegas devido ao glaucoma.

⁵ A retinopatia diabética é uma complicação da diabetes mellitus. O “fundo do olho” (região da retina) é afetado pelo vazamento de sangue e gordura provenientes dos vasos sanguíneos presentes nesta região, os quais sofreram complicações pela doença, como estreitamento e bloqueio dos vasos. Esta doença pode levar a uma perda parcial ou total da visão (CBO, 2019b).

⁶ Degeneração Macular Relacionada à Idade (DMRI) é a causa mais frequente de cegueira em pessoas acima de 65 anos. Ela é causada pela degeneração da mácula, que é o centro da retina, sendo responsável pela visão de detalhes e percepção de cores (CBO, 2019c).

⁷ O tracoma é uma doença infecciosa provocada pela *Chlamydia trachomatis* que acomete o segmento anterior dos olhos, levando a uma inflamação crônica (GIL, 2000; ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015). A OMS estima em 1,6 milhão o número de pessoas cegas bilateralmente por tracoma em todo o mundo.

⁸ Opacidades de córnea é a perda da transparência da mesma evitando o foco da luz da pupila na direção da retina do olho (GIL, 2000; ÁVILA, ALVES & NISHI, 2015).

2.2 PERCEPÇÃO DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA VISUAL

A percepção pode ser considerada um conjunto de processos pelos quais um indivíduo mantém contato com o ambiente a sua volta (GIBSON, 1962). Ou seja, é a habilidade de captar, processar e entender a informação através dos sentidos (GIBSON, 1962; STEMBERG, 2000; SÁEZ, 2012). A Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) define as funções responsáveis pela percepção, compreendendo as “funções mentais específicas relacionadas com o reconhecimento e a interpretação dos estímulos sensoriais”, incluindo as funções de: percepção auditiva, visual, olfativa, gustativa, tátil e visuoespacial (CIF, 2004). Ainda, menciona-se a presença de funções sensoriais adicionais, que incluem a função proprioceptiva⁹ e as funções relacionadas com a temperatura e outros estímulos¹⁰ (CIF, 2004). No entanto, essas não estão presentes na descrição da CIF quanto às funções da percepção, e, portanto, não serão aqui abordadas.

O processo cognitivo é responsável pela interpretação entorno dos estímulos recebidos pelos sentidos. Sabendo disso, no que se refere a cognição de pessoas com deficiência visual adquiridas tardia e precocemente, elas não podem ser igualadas. Pois os indivíduos que perderam a capacidade de enxergar após os cinco anos de idade, tem base em elementos da memória visual armazenada. Já os cegos adquiridos precocemente aproximam-se dos congênitos, pois, até os três anos de idade, a criança desenvolve o sistema “sensório-motor”, o qual permite a construção do sistema de significação, do desenvolvimento cognitivo e da interação com o meio ambiente (GIL, 2000; KASTRUP, 2007; PITANO & NOAL, 2018). É nesta fase que os recém-nascidos desenvolvem todos os seus sentidos (GIL, 2000).

Em outras palavras, uma criança que nasce com deficiência visual desenvolve os seus sentidos sem contar com a função visual, diferentemente de um cego tardio, pois há uma exigência profunda de reinvenção cognitiva de acordo com a idade e a existência, ou não, de resíduos visuais (GIL, 2000; PITANO & NOAL, 2018). Nesse sentido, Kastrup (2007, p. 70) explica que “o funcionamento cognitivo na cegueira adquirida guarda, por certo, diversos pontos em comum com o dos videntes [...]”. Logo, as principais diferenças podem ser observadas ao comparar pessoas videntes (capacidade de enxergar normalmente), cegos congênitos (englobando os cegos precoces) e cegos adquiridos tardios.

Particularmente neste estudo, ao mencionar a cegueira congênita, englobar-se-á também a adquirida precocemente. Portanto, sempre que houver referência à cegueira adquirida, apenas tratar-se-á das pessoas que adquiriram a cegueira tardiamente.

⁹ A função proprioceptiva inclui funções sensoriais que permitem sentir a posição relativa das partes do corpo (CIF, 2004).

¹⁰ São funções sensoriais que permitem sentir a temperatura, a vibração, a pressão e estímulos nocivos (CIF, 2004).

De forma complementar, Pitano & Noal (2018) explicam que a atenção é uma função que define a capacidade de concentração e internalização relativa aos conceitos e significados dos relacionamentos, tendo uma função de grande importância na apropriação do conhecimento. Assim, entende-se que a deficiência visual não impede o desenvolvimento do sujeito, apenas “impõe uma organização sensorial diferenciada em relação à construção, à organização e à estruturação dos saberes, desde que lhe sejam proporcionadas as condições adequadas como, por exemplo, possibilitar por outras vias o acesso a informações visuais” (PITANO & NOAL, 2018, p. 131).

Dudley (2015) argumenta sobre os significados e valores que os sentidos traduzem para a consciência, conforme as relações com objetos ou pessoas, e ressalta que, estes relacionamentos estabelecidos entre eles, implicam em diferentes capacidades de influenciar a consciência de maneira física e sensorial com intensidades diferentes. Então, é provável que os indivíduos cegos possam vir a compensar a falta de visão tanto no nível perceptivo, aumentando suas capacidades auditivas quanto em um nível cognitivo mais alto, em função de um redirecionamento da atenção, desenvolvendo redes conceituais acústicas e táteis (RÖDER & RÖSLER, 2003; KASTRUP, 2007; CATTANEO et al., 2008; DUDLEY, 2015).

Outro ponto relevante no que diz respeito à percepção de pessoas com deficiência visual é a capacidade da distribuição uniforme entre as diferentes modalidades sensoriais. Porém, no passado, Spence & Driver (1997), explicavam que, esta distribuição na verdade tinha um custo sobre as demais, ou seja, quando havia deslocamentos sucessivos intermodais, ocorria uma sobrecarga cognitiva (ou na atenção). Atualmente, esta tese deu espaço para novas conclusões no que se refere a tal sobrecarga. Conforme Geronazzo e colaboradores (2016), os sinais, provenientes de diferentes modalidades sensoriais, ocupam diferentes tempos de chegada e tempo de processamento em determinada área do cérebro, o que abre uma janela temporal e garante a integração multissensorial.

Todavia, entre muitas das considerações acerca das diferenças entre cegos congênitos e adquiridos, a explicação mais comum se deve ao fato de que, a aprendizagem anterior de um cego adquirido pode se tornar um obstáculo para a concentração em alguns casos. Kastrup (2007) verificou em seus estudos relativos ao reconhecimento de forma, que a fixação no resíduo visual (ou eficiência visual), no caso de um indivíduo com baixa visão, dominava o sentido utilizado até então. Ou seja, a visão domina o sistema cognitivo e dificulta o direcionamento da atenção para determinada exploração. Outrossim, é possível compreender que, para pessoas cegas congênitas, a visão não constitui um sentido dominante, mas complementar.

Com isto, verifica-se a explicação para as influências que ocorrem no reconhecimento de formas, em que, mesmo tornando-se obstáculos em alguns casos (cegos tardios) podem da mesma maneira explicar a superioridade dos cegos congênitos. Pois, os contextos pessoais, culturais, sociais e históricos, de um indivíduo, podem influenciar nos significados e valores que eles atribuem a um

determinado item, além das características da própria peça (DUDLEY, 2015). O que ocorre igualmente quando se trata do sentido da audição (RÖDER & RÖSLER, 2003).

2.2.1 Percepção háptica da forma

A exploração háptica é a ação primária que as pessoas com deficiência visual executam para “codificar” as propriedades de superfícies de objetos. Ou seja, desde bebê, uma criança com deficiência visual compreende e entende para que serve determinado objeto através das mãos. Esta exploração é baseada na combinação cognitiva da percepção somatossensorial e a propriocepção da mão. Ou seja, o tato não se limita no uso das mãos, ele está ligado às impressões do meio, como as sensações e vibrações, que presumem as assimilações entre diferentes objetos e suas características, originando as imagens mentais (KLATZKY, LEDERMAN & REED, 1987; GIL, 2000; STEMBERG, 2000; PEREIRA & VEIGA, 2009; SÁEZ, 2012).

Então, assim como supracitado, o reconhecimento de formas de determinado objeto leva em conta, principalmente, as experiências passadas, tornando a exploração háptica parte de um conjunto de percepções que estão ligadas ao sistema háptico como um todo (LEDERMAN & KLATZKY, 1997). Fato que pode ser explicado por Kastrup (2007, p. 84), sendo a “especificidade da percepção háptica é que pode não vir a produzir uma representação, e sim uma experiência direta, que pode concorrer para a inventividade da cognição”.

O conceito da percepção háptica envolve a função do tato em conjunto com a sinestesia (KASTRUP, 2015). No entanto, isso não se faz presente no tato passivo, já que se trata de uma informação recebida de forma não intencional, como quando um vidente guia a mão de uma pessoa com deficiência visual por um objeto. Logo, o toque ativo corresponde à busca realizada de forma intencional, como para orientação e mobilidade, transformando objetos em pontos de referência (LORA, 2003).

É sabido que, relacionando-se o sentido do tato e a percepção espacial, eles não apresentam um bom desempenho se comparado à visão (LEDERMAN & KLATZKY, 1993). Mas, como cada modalidade sensorial é mais habilitada para o tratamento de certas questões, em relação às demais, conseqüentemente, acerca da percepção das propriedades e formas dos objetos, no geral, o tato torna-se o sentido mais habilitado para tal (LEDERMAN & KLATZKY, 1993; KASTRUP, 2007).

Entretanto, ao contrário da visão, a percepção através do tato não pode processar uma representação unificada de um objeto de uma só vez. O sentido do tato é considerado analítico no que diz respeito à percepção global de um objeto, pois, o indivíduo precisa se concentrar em diferentes elementos para que assim consiga recompor todo o objeto em uma representação unificada (GIBSON, 1962; CANDLIN, 2016; ROMEU et al., 2018). Não obstante, quando realizada uma análise aprofundada

e uma exploração detalhada, por um longo período de tempo, compreende-se um prazer estético mais intenso (ROMEO et al., 2018).

Neste contexto, há um consenso na literatura referente à exploração de uma forma ou objeto por uma pessoa com deficiência visual. Deste modo, define-se que ela ocorre em dois momentos: uma primeira fase de “visão geral”, em que os usuários tentam se familiarizar com a composição global da peça, tipicamente observando-a com suas mãos inteiras e em movimentos maiores; e em uma segunda fase de “detalhamento”, em que eles exploram as peças com mais minuciosidade, normalmente com as pontas dos dedos (REICHINGER et al., 2016b; CARFAGNI et al., 2012).

Ao comparar pessoas com deficiência visual e videntes, estudos evidenciam que as pessoas com deficiência visual demonstram uma compreensão mais rápida e precisa acerca das propriedades dos materiais, como a textura, temperatura e peso. Entretanto, o inverso ocorre com a forma, onde a compreensão é mais lenta, e torna-se limitada ou inexistente quando se trata de cores (LERDERMAN & KLATZKY, 1997; CANDLIN, 2004; KASTRUP, 2007).

Contudo, é válido ressaltar que através de um processo de treinamento, o reconhecimento de formas pode ser aprimorado e tornar-se mais ágil (GIL, 2000; LORA, 2003; KASTRUP, 2007). É através dele que se torna possível perceber a forma, tamanho, textura e pressão pelas pessoas com deficiência visual (CARDOSO, 2016). A exemplo, Candlin (2003) relata que, as poucas pessoas que conseguiram negociar as restrições de museus, no que se refere ao toque, desenvolveram um profundo conhecimento de forma e textura das obras, usando-o como um meio de identificar objetos, fazendo comparações e julgamentos. Além disso, é preciso enfatizar que o tato não é um sentido que atua de modo isolado (CANDLIN, 2003; 2004; HELLER & GENTAZ, 2013).

2.2.2 Percepção auditiva da forma

Na vida cotidiana, as pessoas com deficiência visual confiam mais em informações auditivas do que videntes, no que diz respeito ao reconhecimento de pessoas e localização de eventos. Segundo Almeida & Oliveira Filho (2001), essas informações auditivas podem ser subdivididas em verbais e sinaléticas. As verbais caracterizam-se pelas próprias palavras e explicações verbais, enquanto que as sinaléticas são definidas por sinais sonoros, que são percebidos e identificados, servindo como referência de espaço/tempo (ALMEIDA & OLIVEIRA FILHO, 2001; CARDOSO, 2016).

Lora (2003) explica que o ouvido é o principal órgão sensorial a longa distância. Logo, pode ser considerado como o sentido “rei” (ou dominante) para as pessoas com cegueira, principalmente em relação à orientação e mobilidade. Alguns estudos fornecem evidências de que o aumento do uso do sistema auditivo resulta de um comportamento compensatório, principalmente em pessoas cegas (RÖDER & RÖSLER, 2003; HÖTTING & RÖDER, 2009). No entanto, ao contrário do que parece, não existe uma compensação automática auditiva causada pela perda da visão, assim como acontece com

o tato, mas o que ocorre é o resultado de um esforço persistente das pessoas com deficiência visual para usufruírem ao máximo desse sentido, como um efeito de treinamento (LORA, 2003; HÖTTING & RÖDER, 2009; WAN et al., 2010).

Röder & Rösler (2003) explicam que há evidências que comprovam as habilidades de memória para estímulos auditivos após a perda da visão. E, além disso, tendem a melhorar, à longo prazo, até a idade adulta. Mas, Wan e colaboradores (2010) esclarecem que anos de cegueira não preveem um melhor desempenho em tarefas de percepção auditiva, o que apenas foi observado em cegos congênitos. Até porque, as pessoas com deficiência visual não recebem maior quantidade de estímulos auditivos que os videntes.

Ademais, pesquisas evidenciam que a integração de informações entre diferentes modalidades de estímulos sensoriais, facilitam a percepção e controle de ações. No caso específico da percepção e da cognição espacial, o indivíduo depende de informações sensoriais multimodais. Desta forma, pode-se dizer que uma boa percepção somente é permitida quando há uma abordagem multimodal (GIL, 2000; LAHAV & MIODUSER, 2008; HÖTTING & RÖDER, 2009; ROMEO et al., 2018).

2.2.3 Percepção multissensorial da forma

No que tange às modalidades sensoriais, Gibson (1962) e Geronazzo e colaboradores (2016) afirmam que elas podem ser divididas em “distais” e “proximais”. Desse modo, o fato defendido por Pitano & Noal (2018) de que os cegos congênitos manifestam fortes influências pela via auditiva, pode ser explicado quando Geronazzo e colaboradores (2016) ressaltam que o próximo sentido “distal” após a visão é a audição. Ou seja, a visão, sendo um sentido “distal”, é proveniente de estímulos na visão que surgem de objetos distantes. Então, na ausência da visão, a audição é o segundo sentido “distal” mais confiável disponível. Já o toque, é tipicamente considerado um sentido “proximal”, porque os estímulos táteis são gerados como consequência de um contato direto entre o corpo e os objetos externos (GIBSON, 1962; STEMBERG, 2000; GERONAZZO et al., 2016).

Em consequência, Romeo e colaboradores (2018) enfatizam que a compreensão global de uma obra de arte ou peça de museu pode ser conseguida principalmente e preferencialmente pela combinação tátil com a descrição em áudio (ou audiodescrição). O que também corrobora com as evidências de D’Agnano e colaboradores (2015), que explicam que a combinação da percepção auditiva e tátil seria mais enriquecedora para a formulação de imagens mentais, compensando a perda da visão. No entanto, apesar dessas considerações, os autores, ressaltam que a união simultânea de informações auditivas e táteis são raras na comunicação para as pessoas com deficiência visual nos museus. Assim, confrontando o visuocentrismo de museus e galerias, o acesso a cópias tridimensionais de obras de arte e artefatos tem sido o início da interação voltada para melhora da experiência de pessoas com deficiência visual nestes estabelecimentos.

2.3 ACESSIBILIDADE NO CONTEXTO DO MUSEU

O termo acessibilidade é muito abrangente e como já contextualizado anteriormente, a tendência é de que haja um crescimento e melhora de suas estratégias. No contexto dos museus, segundo Sarraf (2018), utiliza-se o termo “acessibilidade cultural” que, por definição da própria autora, engloba um conjunto de medidas e atitudes, no intuito de proporcionar o acesso e bem estar de pessoas com deficiência, beneficiando públicos diversos. O conceito de “design universal” também é utilizado pela autora como um parâmetro para o desenvolvimento dessas medidas. Pois, o princípio desse conceito é o “desenho” para todas as pessoas, o que garante o acesso para todos os públicos (SARRAF, 2018).

Nesse sentido, uma instituição cultural, que deseja ser referência em acessibilidade, deve atender toda a diversidade de públicos em todas as suas ofertas (SARRAF, 2018). Entretanto, uma pessoa com deficiência visual raramente visita um museu sem encontrar barreiras físicas e/ou relacionadas à percepção (ROMEO et al., 2018). Dentre os obstáculos à acessibilidade de museus é possível citar, tanto os físicos, quanto os sensoriais. Mas, além disso, ressaltam-se as barreiras intelectuais, atitudinais, emocionais, culturais e não menos importante, financeiras (INSTITUTO PORTUGUÊS DE MUSEUS, 2004; HETHERINGTON, 2002; EARDLEY et al., 2016).

Segundo Sarraf (2018), para a eliminação dessas barreiras é necessário “o uso de criatividade, de recursos multissensoriais, multimodais e formas de comunicação alternativas”, pois, somente assim é possível encontrar soluções que beneficiem a todos os públicos. Na prática, significa dizer que para elaborar uma exposição, independentemente de sua temática, é necessário (I) eliminar as barreiras físicas, como mobiliário e layout acessíveis; (II) disponibilizar recursos táteis e sensoriais; (III) comunicar através de textos em leitura fácil, com caracteres ampliados e em alto contraste, e em Braille; (IV) utilizar vídeos com legendas em português e Libras; e tudo isso, (V) em ambientes com equilíbrio de estímulos sensoriais, como sons, luzes, projeções (CANDLIN, 2003; NEVES, 2011; CARDOSO, 2016; FRANCO, 2018; SARRAF, 2018).

Contudo, Candlin (2003) exemplifica que, em um mundo ideal, os museus e galerias teriam os formatos de áudio e Braille de toda a exposição disponibilizada, bem como a guias, mediante à solicitação, e maior acesso pelo toque. Além disso, as exposições incluiriam além do som e toque, cheiro e gosto. Assim, a ênfase dada na “aparência” de um objeto seria considerada extremamente limitante e unidimensional.

No entanto, os serviços mais rotineiros, relativos ao acervo, que são disponibilizados para pessoas com deficiência visual utilizam-se de folhetos em Braille, roteiros com “imagens verbalizadas” e seleção de alguns objetos, dentre um acervo gigante, que podem ser tocadas (CANDLIN, 2003; 2006; NEVES, 2011; CANTONI et al., 2018). Cabe aqui ressaltar, que nas pesquisas realizadas por Jeamwattthanachai, Wald & Wills, (2018; 2019), cerca de 70% dos entrevistados pelos autores, relatam

que há dificuldade de se locomover no interior dos museus, pois tratam-se de edifícios complexos, que abrigam estátuas e pinturas antigas muito valiosas, e que o medo de danificar qualquer peça é relativamente alto. Além disso, mais de 72% dos participantes dizem não conseguir ver ou ler as sinalizações, já que muitos museus adotam o uso de uma fita em destaque no chão (cor contrastante), indicando por exemplo, o limite de acesso de algumas exposições. Então, o que ocorre é que uma boa parte dos visitantes é totalmente cego, não podendo perceber sinalizações que não possibilitem o toque, nestes casos, o uso de cordas ou corrimões seria mais indicado (ARGYROPOULOS & KANARI, 2015; JEAMWATTHANACHAI, WALD & WILLS, 2018; 2019).

Mas, por muito tempo não se pensava em alternativas de interação com a própria exposição, mesmo havendo a consciência de que a acessibilidade total estava além de rampas, barras de apoio e acesso a todos os andares do museu. A acessibilidade, como supracitado, precisaria integrar as preocupações sensoriais e cognitivas durante o desenvolvimento da exposição. Entretanto, a maioria das interações é menos espetacular do que isto (MAJEWSKI & BUNCH, 1998; CARDOSO, 2016; ARGYROPOULOS & KANARI, 2015; KOSMAS et al., 2019).

A boa notícia é que muitos estudos vêm desenvolvendo estratégias que oferecem novas possibilidades, mais seguras, principalmente de orientação e mobilidade para pessoas com deficiência visual dentro, e fora de museus (RENER, 2017). Como exemplos, pode-se citar aplicativos de geolocalização (DURSIN, 2012; OTT & POZZI, 2011), combinações entre aplicativos de mobilidade, bengala e óculos com sensores de proximidade com a finalidade de evitar barreiras físicas e obstáculos inesperados (LOPEZ et al., 2012). Além de sistemas programados para reconhecimento de rota previamente (KAKLANIS, VOTIS & TZOVARAS, 2013; BARDOT et al., 2014), com simulações renderizadas, tanto impressas em papel (LANDAU & GOURGEY, 2001; WANG, LI & LI 2012) ou por manufatura aditiva (SWAMINATHAN et al., 2012; GÖTZELMANN & PAVKOVIC, 2014), quanto meios virtuais, utilizando dispositivos de feedback de força ou vibração (JANSSON, BARGAMASCO & FRISOLI, 2003; FRISOLI et al., 2005; CARROZZINO & BERGAMASCO, 2010; ZHANG, 2010; PARK, RYU & HOWARD, 2015). Contudo, a grande maioria dos exemplos supracitados utilizam o feedback de áudio, por vezes associados a comandos de voz (SWAMINATHAN et al., 2012; BARDOT et al., 2014).

Apesar disto, há estudos que salientam a preferência pelas alternativas de mapas físicos, podendo, ou não, ter o áudio embutido. Rener (2017) e Götzelmann & Pavkovic (2014) explicam que o uso de opções como estas têm influência no custo e na demanda, sendo ela dos usuários ou do próprio estabelecimento. Além disso, é válido salientar que também são estudados desde os próprios elementos que compõem estes mapas físicos (LEE, 2019), bem como a volumetria e texturização das formas e símbolos (GUAL et al., 2014; GUAL et al., 2015a; GUAL et al., 2015b). Ademais, há estudos em que são verificadas as maneiras como o usuário percebe estas formas (GUAL et al., 2012; LEE, 2019), e outros estudam como padronizá-las em prol do usufruto comum (RENER, 2017).

Ainda, a respeito dos dispositivos móveis com aplicativos, os quais driblam obstáculos pelo caminho, as opções que rotulam os móveis e objetos pertencentes aos estabelecimentos, com a atribuição de *tags* (etiquetas NFC — *Near Field Communication*), contribuem para a localização de salas e galerias, e ainda descrevem alguns objetos verbalmente. Estas abordagens podem ser úteis no contexto dos museus, pois, o fato de haver a possibilidade de guiar as pessoas com deficiência visual até um local de interesse, pode da mesma forma guiá-la até uma obra de arte (GARRIDO, RUIZ & GÓMEZ-NIETO, 2011; OTT & POZZI, 2011).

Dos 28 museus europeus analisados por Mesquita & Carneiro (2016), apenas metade diferenciava as salas através de estímulos, como cores contrastantes, ou som. Todavia, apenas uma minoria disponha de estratégias mais tecnológicas, como mesas táteis para orientação interna, rotas sinalizadas, telas multimídia, dispositivos de áudio e informações em Braille, ou mesmo a inclusão de experiências táteis com obras e peças originais, ou pelo menos réplicas. Além disso, também não foi dada a atenção para experiências olfativas, assim como a degustação foi amplamente negligenciada. O que para as autoras, seria valioso, uma vez que, juntamente com experiências táteis e auditivas, tais experiências seriam excelentes oportunidades para as pessoas com deficiência visual perceberem as várias características dos museus.

No que tange as experiências táteis, desde o início dos anos de 1990, são observadas iniciativas permanentes, ou pelo menos temporárias, dedicadas às pessoas com deficiência visual em vários museus pelo mundo, como por exemplo o uso de cópias tridimensionais das peças. Dos referidos, cita-se o Museu Tactile Omero (Ancona, Itália); o Centro Tátil (Catania, Itália); o Museu Haptic da Sicília (Palermo, Itália); o Museu Tifológico da ONCE (Madri, Espanha); o Museu do Prado (Madri, Espanha); o Museu da Comunidade Concelhia da Batalha (Batalha, Portugal); o Museu Nacional do Azulejo (Lisboa, Portugal); o Museu Tactual (Atenas, Grécia), e o Centro Georges Pompidou (Paris, França) que apresentam modelos táteis escalonados de peças tridimensionais, como esculturas, monumentos, achados arqueológicos e baixos-relevos de pinturas (ANAGNOSTAKIS et al., 2016; CARDOSO, 2016; EARDLEY et al., 2016; MESQUITA & CARNEIRO, 2016; VOLPE et al., 2014). Algumas galerias britânicas, como o Victoria and Albert Museum, em Londres, oferecem atividades de manuseio de esculturas e reproduções táteis e obras arquitetônicas em escala, como iniciativas de interação. Ou, ainda, visitas organizadas e guiadas com toque de uma seleção de peças (ou réplicas) em diversos museus internacionais como o Louvre, Tate Modern, Museu Britânico e The Museum of Modern Art - MoMA (VOLPE et al., 2014).

No cenário brasileiro, conforme Cardoso (2016), há duas iniciativas que se destacam na área da acessibilidade, a Pinacoteca do Estado de São Paulo e o Museu do Futebol. O Museu do Futebol disponibiliza alguns modelos táteis em relevo, maquetes em escalas reduzidas, e apresenta uma sala destinada a experiência multissensorial. Na Pinacoteca do Estado de São Paulo há uma galeria tátil

com algumas peças do acervo originais, com cerca de 20 esculturas em bronze, oferece réplicas acessíveis por meio do toque, como baixos-relevos e réplicas tridimensionais de pinturas, assim como, audioguias das salas e peças.

Além do acesso físico para as pessoas com deficiência, os museus também estão investindo na qualificação de suas equipes. Os treinamentos acerca da deficiência e sua conscientização, sobre adaptações e acomodações adequadas, estão constituindo critérios significativos para as pessoas com deficiência visual, visitarem ou não, um museu (HILLIS, 2005; HANDA, DAIROKU & TORIYAMA, 2010; ARGYROPOULOS & KANARI, 2015; CARDOSO, 2016). A exemplo, o Instituto Português de Museus (2004) explica que fazer o uso de visitas mediadas com o público no geral, em conjunto com as pessoas com deficiência visual, faz com que os guias necessariamente falem mais devagar, agradando a todos. E, como supracitado, apesar dos modelos táteis serem direcionados aos visitantes com deficiência visual, o público em geral também pode ser beneficiado pela oportunidade de tocar no acervo.

Contudo, embora haja inúmeras alternativas sendo estudadas para melhorar o acesso das pessoas com deficiência visual nos museus, existem ainda muitas barreiras ligadas às escolhas limitadas e uma minoria de aplicações efetivas. Então, mesmo que ocorra a seleção de peças para serem tocadas, seja para produção de réplicas ou descrições detalhadas de áudio, com adequação das informações, isto ainda é relativo a uma fração muito pequena de toda a extensão do acervo de um museu (NEVES, 2011; ARGYROPOULOS & KANARI, 2015).

2.3.1 Audiodescrição

Como já observado anteriormente, a descrição verbal é uma parte muito importante para compreensão da arte e artefatos de museus e, em alguns casos, é considerada indispensável para a interpretação dessas peças (REICHINGER, MAIERHOFER & PURGATHOFER, 2011; CANTONI et al., 2018). Um exemplo disso pode ser uma pintura ou uma escultura composta por variados elementos, todos com aparências diferenciadas, cores e propriedades únicas relacionando-se entre si. Estas características podem ser descritas verbalmente, com mais ou menos detalhes, por um mediador ou gravações de áudio (REICHINGER et al., 2016b).

A Audiodescrição (AD) é um recurso de tecnologia assistiva, que consiste em nada menos do que o processo de tradução de informações e eventos visuais em palavras, destinada principalmente para as pessoas com deficiência visual (BRASIL, MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES, PORTARIA 310/2006; BRASIL, MINISTÉRIOS DAS COMUNICAÇÕES, PORTARIA 188/2010; NEVES, 2011; MOTTA, 2015; ABNT NBR 16452, 2016; ENAP, 2020). Em outros termos, pode ser explicada como uma tradução intersemiótica (NEVES, 2011; MOTTA, 2015; CARDOSO, 2016; ENAP, 2020). Normalmente, são encontradas em escolas, alguns filmes, vídeos na internet, algumas propagandas, teatro e exposições de museus. Mas, o benefício de utilizá-la se estende além das pessoas com deficiência visual, pois ela

se adequa também para indivíduos com dislexia¹¹ e deficiência intelectual, além dos idosos e do público em geral, mesmo que a prioridade sejam as pessoas com deficiência visual (BRASIL, MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES, PORTARIA 310/2006; BRASIL, MINISTÉRIOS DAS COMUNICAÇÕES, PORTARIA 188/2010; NEVES, 2011; BAMBERG, 2014; KLEEGER & WALLIN, 2015; MOTTA, 2015; CARDOSO, 2016; AD, 2019; ENAP, 2020). Além disso, a audiodescrição é um dos aspectos obrigatórios da inclusão entre todas as deficiências, defendido em lei (nº 10.098/00 e nº 13.146/15, além dos decretos 5.296/04 e 6.949/09). Entretanto, ainda é considerada subdesenvolvida (BAMBERG, 2014; KLEEGER & WALLIN, 2015).

Para alguns autores, a AD pode ser entendida principalmente como uma legenda, ou seja, um ato de tradução neutro e discreto, o qual transfere as informações de um meio para outro (BAMBERG, 2014; KLEEGER & WALLIN, 2015; ENAP, 2020). Por outro lado, Neves (2011) explica que a AD trata-se de uma proposta que aceita a subjetividade e prevê a expressividade. Entretanto, para que a AD permita que as pessoas com deficiência visual vivenciem uma variedade de informações visuais educacionais e culturais, que de outra maneira seriam inacessíveis, de uma forma ou de outra, os audiodescritores precisam filtrar e priorizar os aspectos mais importantes daquilo que estiver sendo apresentado. Ou seja, não se pode entender a AD como uma tradução direta. E conseqüentemente, será disponibilizada uma perspectiva inevitavelmente subjetiva e interpretada para possibilitar a compreensão das pessoas com deficiência visual (KLEEGER & WALLI, 2015; MOTA, 2015).

Do mesmo modo, ela precisa ser encarada como uma fonte de estímulos, os quais deverão ser equivalentes aos componentes da obra ou artefato, porém não fundamentalmente iguais. É importante ressaltar que a descrição deve criar reações emocionais e produzir entendimentos com um diálogo que participe do meio visual, não havendo a necessidade de um vocabulário específico, nem mesmo deve-se evitar a referência aos fenômenos visuais, como a cor e perspectiva (NEVES, 2011; KLEEGER & WALLI, 2015). Logo, segundo as considerações de Neves (2011), a AD deve seguir alguns princípios básicos de sensibilidade e bom senso. A exemplo, o atendimento das necessidades de um público misto, bem como respeitar a peça ou obra, sendo ela pertencente a um autor ou artista, e proporcionar o conforto àqueles que ouvem, sem sobrecarregá-los com informações em excesso, ou seja, encontrar um equilíbrio na medida é essencial (NEVES, 2011; CARDOSO, 2016).

Nesse contexto, salienta-se que é possível compartilhar uma informação utilizando diferentes estratégias de audiodescrição. Outrossim, destaca-se as colocações de Neves (2011), que explica que todas as propostas de AD pressupõem o respeito e o dever pela realidade descrita, sendo realizadas

¹¹ A dislexia é considerada um transtorno específico de aprendizagem de origem neurobiológica, caracterizada por dificuldade no reconhecimento preciso da palavra, na habilidade de decodificação e em soletração. (ABD, 2016).

por palavras, efeitos sonoros e músicas. Bem como, há técnicas que são utilizadas conforme o local e o contexto, e são fatores que determinam as condições e a qualidade daquilo que é ofertado.

No que diz respeito aos museus, Neves (2011) também determina o uso de três subcategorias para a AD: (I) audiodescrição substitutiva, quando a pessoa “vê” apenas através da descrição verbalizada; (II) audiodescrição de exploração, quando ocorre a experiência pelo tato e a AD complementa; e (III) audiodescrição de orientação, quando a pessoa é guiada pelo museu. Ademais, a autora ainda destaca que a descrição pode variar entre objetiva e sucinta até a “viagem” narrativa e “*soundpainting*” (transcrição poética). Logo, tratando-se deste estudo, a AD limitar-se-á ao “mundo tangível”¹² e, portanto, obedecerá às regras da audiodescrição de exploração de modo objetivo e sucinto, no intuito de complementar a exploração tátil e tornar a experimentação completa. Principalmente pelo fato de o presente trabalho focar em aspectos objetivos da aplicação da tecnologia, evitando o aprofundamento na experiência do usuário em si, que envolveria vários aspectos emocionais e subjetivos, e que seriam importantes abordagens em trabalhos futuros.

Nesse sentido, a AD de exploração obedece a regras próprias, pois vai além da descrição daquilo que se vê e toca, importando também orientar a pessoa para que ela descubra sozinha a realidade ofertada. Dessa maneira, é preciso utilizar estratégias que direcionem a um “percurso”, para que ocorra a construção da realidade mental a partir de informações que devem ser dadas gradualmente (NEVES, 2011). Além disso, acrescenta-se que a ABNT NBR 16452 estabelece que a AD deve ser suficiente para garantir ao visitante o pleno entendimento das obras.

Então, compreende-se que em uma experiência tátil em um museu, razoavelmente adequada, uma pessoa cega é guiada por um mediador treinado, o qual está preparado para responder perguntas conforme as regiões específicas da peça, e/ou, guiar a mão do indivíduo para o local de interesse. Entretanto, como as visitas normalmente não são individuais, o guia pode não estar presente em determinados momentos, em que o visitante queira mais informações. Ainda, algumas descrições mais aprofundadas sobre a peça podem ser ignoradas ou esquecidas, resultando em uma descrição superficial. Ou seja, a AD simultânea prevê erros.

Contudo, como supracitado, alguns autores enfatizam que não é possível colocar em palavras todos os aspectos visuais de uma peça tridimensional, até porque, poderia causar confusão para os ouvintes e desviar das indicações para elaboração da AD (CANDLIN, 2003; KUSAYAMA, 2005; NEVES, 2011; REICHINGER et al., 2016a; KLEEGER & WALLIN, 2015; KLEEGER, 2018; ROMEO et al., 2018). Nesse sentido, mesmo considerando que a AD deve ser independente e proporcionar a compreensão total (ABNT NBR 16452, 2016), a combinação com o toque permite a absorção desses aspectos visuais, que seriam ignorados. Diante disso, é importante destacar as considerações de Holland (2009) e Magalhães

¹² Termo utilizado por Neves (2011);

& Araújo (2016), que esclarecem que toda a descrição também deveria trabalhar com valores táteis na AD, visto que os sentidos são interdependentes, facilitando ainda mais a compreensão da peça. Em outras palavras, é válido dizer que “[...]é preciso muito mais do que descrição dos elementos que podem ser capturados pela visão” (MAGALHÃES & ARAÚJO, 2016, p. 35) para que seja possível a percepção completa de uma peça.

Ainda assim, com relação a descrição relativa ao material do objeto original, tanto a descrição verbal, quanto o modelo tátil fabricado com materiais alternativos (réplica), não fornecem meios de efetivamente mostrar as propriedades de tal quando utilizados isoladamente (REICHINGER et al., 2012). Esta condição, sob a ótica artística não é um problema, pois sua educação não discute questões relativas à materialidade da arte (CANDLIN, 2003). No entanto, o que se relaciona à experiência, sob a ótica do design, estas são características muito relevantes para a compreensão de um objeto em si. Nesse sentido, a combinação entre o toque e a AD simultaneamente traz a possibilidade de usufruto daquilo que é oferecido para uma pessoa com deficiência visual. Pois, se tratando de museus, é interessante lembrar que a percepção de uma obra de arte ou artefato é específica para cada pessoa (HOLLAND, 2009; D’AGNANO et al., 2015; MAGALHÃES & ARAÚJO, 2016; ROMEO et al., 2018; PAZ, BASTIAN & CARDOSO, 2019).

Em geral, estas explicações verbais podem ser disponibilizadas para pessoas com deficiência visual de maneiras diferentes, e “vai ao museu”¹³ através de uma gama considerável de técnicas de interpretação. A exemplo, cita-se a mediação presencial (esclarecida anteriormente) e a mediação através de equipamentos. Com relação a essas técnicas, alguns autores exploram as abordagens de áudio fixas, existentes em pontos dos museus, que podem ser disparadas por conta de sensores de movimento, como infravermelho ou radiofrequência, por botões, e no formato de guias de áudio, em que o visitante pode carregar ao redor do museu e utilizar conforme desejado (HETHERINGTON, 2002; NEVES, 2011; CARDOSO, 2016; KOSMAS et al., 2019). No entanto, segundo as pesquisas de Mesquita & Carneiro (2016), apenas uma minoria dos museus (pesquisados por eles) possuía guias de áudio com informações direcionais utilizando sensores de infravermelho (28%), e somente 7% deles possuía telas sensíveis ao toque com informações sonoras para as peças em exposição. Posto esse cenário, o presente estudo priorizará a mediação através de equipamentos.

Diante disso, os estudos de Reichinger e colaboradores (2016b) mostraram que existe uma preferência pelos modelos táteis com áudio integrado (modelos multissensoriais), pois conforme os participantes de sua pesquisa, se comparado ao guia humano, há maior liberdade na exploração dos modelos quando não ocorre a influência humana. Adicionalmente, foi percebida, também, a preferência de seus participantes por textos mais curtos e mais lentos, pois em sua experiência não

¹³ Termo utilizado por Neves (2011)

fora possível memorizá-lo por completo, principalmente durante a introdução da peça. Em detrimento disto, o trabalho de Rossetti e colaboradores (2018) trouxe dados positivos quanto ao uso de botões, localizados em pontos estratégicos de sua maquete tátil, onde havia a possibilidade de escolha relativa às características da construção, bem como diferenças no nível de detalhamento oferecido aos usuários.

Contudo, um único texto cheio de informações disparado por inteiro, em apenas um acionamento não é satisfatório (REICHINGER et al., 2016b; ROSSETTI et al., 2018). Os participantes da experiência de Reichinger e colaboradores (2016b) relataram que as faixas de áudio disponibilizadas, conforme a demanda são mais interessantes, visto que permitem que o detalhamento seja relativo ao ponto de interesse. E como supracitado, possibilita a construção de imagens mentais de forma gradual (NEVES, 2011). Para reforçar estas características, é possível realizar uma analogia aos mapas táteis desenvolvidos por Wang, Li & Li (2012) e Swaminathan e colaboradores (2016), os quais, em seus protótipos, disparam as faixas de áudio relativas a cada ponto específico nos respectivos mapas. Estes eram disparados de acordo com o contato da ponta dos dedos em determinadas regiões, caracterizando as ruas, fornecendo informações de orientação e que sequencialmente ofereciam um direcionamento para a rua seguinte, melhorando a qualidade da memorização da rota. Em complemento, é usual que cada faixa de áudio tenha entre 1 e 3 minutos de duração, juntamente com as instruções de uso do equipamento (CARDOSO, 2016).

Então, considerando as constatações dos trabalhos supracitados, este estudo pretende abordar a AD da peça de forma gradual, construindo níveis informativos principais e complementares, bem como um guia que direcione a exploração, como utilizado no estudo de Wang, Li & Li (2012) e Swaminathan e colaboradores (2016). Ainda, prevê o acionamento da AD relativa ao ponto de interesse quando tocado, bem como, áudios de curta duração (REICHINGER et al., 2016b; ROSSETTI et al., 2018).

2.3.2 O museu e o toque

Sabe-se que, conforme a revisão, na maioria das visitas em museus, as pessoas com deficiência visual precisam confiar principalmente nas descrições verbais, pois as representações táteis, muitas vezes, não são disponibilizadas ou ainda podem ser de baixa qualidade. Além disso, é relativamente difícil alcançar o nível que uma experiência com uma peça original poderia oferecer pela exploração manual (JANSSON, BERGAMASCO & FRISOLI, 2003). Segundo Jansson, Bergamasco & Frisoli (2003), qualquer que seja a representação, nenhuma das opções seria tão rica quanto a informação disponível em um contexto natural.

Candlin (2004) discute que talvez reconhecer o toque dentro do museu pode induzir resistência. Não por pressionar a equipe a aprender novas habilidades e reestabelecer os parâmetros

até então utilizados, mas porque tende a indicar algum questionamento de autoridade, já que afasta o tradicional “não toque”, e sinaliza novas possibilidades de aprendizagem, melhorando o acesso para as pessoas com deficiência visual e visitantes no geral.

Wilson e colaboradores (2017) explicam que a privação ao toque nos museus nem sempre foi assim. Os autores ressaltam que no passado os nobres e ricos tinham a permissão para manipular os artefatos, o que só foi esquecido quando o espaço se tornou público a todas as classes. Desde então, o toque tem sido confiado apenas aos curadores. Mas, esta situação começou a ser mudada nas duas últimas décadas, em que se observa algumas iniciativas para mudar esse paradigma. Pois, como supracitado, os esforços são para trazer de volta os sentidos, e principalmente o toque, para o espaço da exposição (WILSON et al., 2017).

No intuito de reforçar os motivos para a inclusão do toque das peças originais, Dudley (2015) exemplifica usando uma tigela esmaltada. Conforme a autora, esta por sua vez, pode transmitir a frescura ao toque e contrastes de texturas (embora suaves) entre a liga de cobre e o anel do aro quando batem as unhas sobre os diferentes materiais. Candlin (2003) fala sobre peças de vidro, descrevendo que para o olhar é ótimo, mas torna-se um objeto totalmente diferente quando é tocado. Toda a leveza que a transparência transmite quando é vista, ao toque é fria e pesada. Segundo um de seus entrevistados, é como se fosse um idioma diferente. Então, não basta disponibilizar as peças para serem sentidas rapidamente, quando se tratam de originais, pois a compreensão através do toque requer muita concentração, e como já visto no subitem 2.2 e 2.3.1 deste estudo, exige muito mais tempo em conjunto com os demais sentidos.

Diante disto, cita-se os trabalhos de Vaz, Fernandes & Veiga (2016; 2018), em que os autores, observando que não bastava disponibilizar peças originais à mão das pessoas com deficiência visual, desenvolveram um expositor interativo para comunicá-las. Com isso em mente, foram incluídas descrições detalhadas sobre as texturas, formas, rugosidade e partes relevantes táteis, além de informações educacionais, como aspectos científicos, processo de modelagem, usos industriais, curiosidades e procedência.

O trabalho consiste em um expositor, que fora concebido para fornecer o acesso a peças originais da coleção da MM Gerdau – Museu de Minas e Metal, no qual, há interação comunicativa (como a audiodescrição) e tátil. Contudo, são disponibilizadas cinco rochas no total, as quais ficam presas ao expositor através de cabos, que quando tocadas (através de resistores sensíveis a força), conteúdos multimídias são apresentados, tanto gráfico quanto audiodescritivos, resultando em recurso multissensorial. A aceitação desta interface obteve muito sucesso, ainda mais quando aprimorada. Outrossim, um dos pontos fortes deste estudo, é a possibilidade de operar em sistema de comparação, pois caso o usuário opte por levantar duas amostras, ambas são descritas com relação à

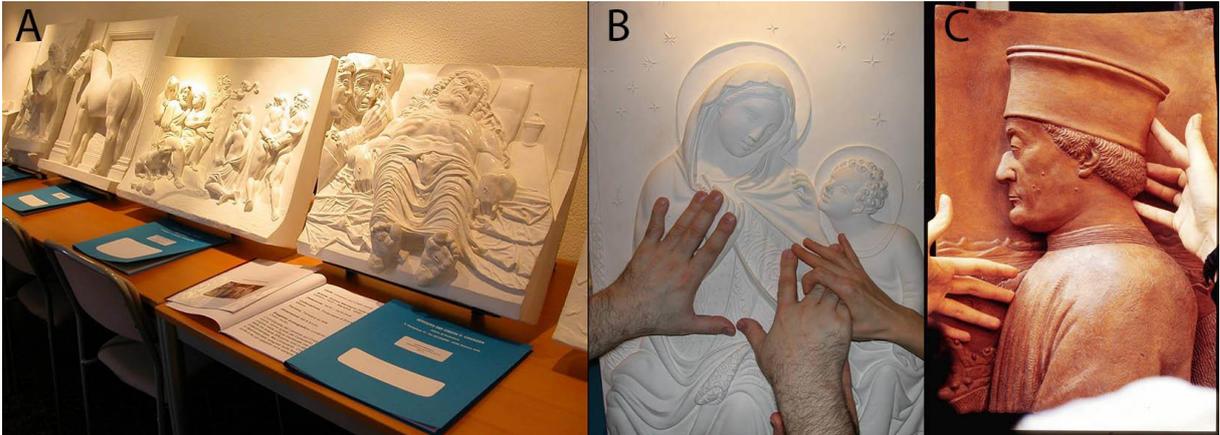
outra. Mas, ainda assim, não são discriminadas áreas da rocha com detalhamentos específicos (VAZ, FERNANDES & VEIGA, 2016; 2018).

De fato, quando a exposição é desenvolvida pensando na acessibilidade cultural a tendência é que haja sucesso na aceitação do que é exposto. Mas, sabe-se que essa prática não é comum, ainda mais levando em conta o toque de peças originais, como no estudo citado. Nesse sentido, conforme o exemplo descrito por um dos entrevistados na pesquisa de Candlin (2003), quando não há possibilidade de tocar em peças originais e não há modelos táteis, são oferecidos, em alguns casos, fragmentos de materiais, como por exemplo, um pedaço da mesma rocha utilizada para esculpir determinada escultura. Concordando com as recomendações observadas no item 2.3 e 2.3.1 deste estudo. Porém, é importante destacar que, desta forma, somente com a AD e um pedaço do material, o visitante não tem a chance de realizar uma percepção completa sobre valores estéticos por meio da beleza, curvas e formas da peça. Além disso, a pessoa com deficiência visual não pode compreender quais as técnicas utilizadas na escultura, as quais estão diretamente relacionadas ao tipo de material, abrindo espaço para a discussão relativa ao uso conjunto de modelos táteis (ou réplicas táteis) nos museus. Logo, o foco desta pesquisa serão os estudos e instituições que oferecem as opções de toque em réplicas, com a finalidade de explorar exemplos para aplicações neste estudo.

Segundo Bearman (2011), a partir do ano de 1867, era comum, entre os museus de alguns países, conforme um tratado realizado entre eles — *Convention for Promoting Universal Reproductions of Works of Art for the Benefit of Museums of All Countries* —, a reprodução de obras de arte por artesões renomados da época. No entanto, não eram destinados às experiências táteis. Ademais, esta prática caiu em desuso durante a primeira metade do século XX, pois, a maioria dos coordenadores e suas respectivas equipes dos museus, muitas vezes descartavam suas coleções de réplicas devido a depreciação. Um dos exemplos reproduzidos nesta época é a réplica da Catedral de Santiago de Compostela, que é exibida na coleção do Museu Victoria & Albert em Londres, como “*Puerta de la Gloria*” (BEARMAN, 2011).

Diante disso, Buonamici e colaboradores (2015) citam algumas instituições renomadas que utilizam modelos táteis. A exemplo, o Museu Tátil Omero, em Bolonha, o Instituto de Arte de Chicago e a Galeria Tátil, na Galeria de Boas-Vindas, em Londres. Estas instituições criaram, principalmente, uma coleção de pinturas famosas traduzidas na forma de baixos-relevo para toque, orientadas para a educação estética das pessoas cegas. Como eles, Volpe e colaboradores (2014) também relembram uma das mais importantes abordagens aplicadas, desenvolvida pelo Museu da Antiguidade Tátil e Pintura Moderna, “Anteros”, fundado pelo Instituto Cavazza em Bolonha (Itália), onde são exibidas reproduções tridimensionais e baixos-relevos de obras de arte de pintores famosos, geralmente reproduzidos em argila branca (Figura 1).

Figura 1 — Baixos-relevos produzidos manualmente disponíveis no Museu Tattile Anteros.



(A) Baixos-relevos produzidos em argila branca disponíveis para toque guiado.

(B) Baixo-relevo sendo tocado.

(C) Baixo-relevo sendo tocado.

Fonte: Museu Tattile Anteros (2021).

Anagnostakis e colaboradores (2016) destacam o Museu Smithsonian, o qual inclui cópias de itens essenciais, conforme o tema principal da exposição, disponibilizando-os de forma acessível para exame tátil ou audiodescrição. Como este, o Museu Victoria & Albert em Londres tem uma abordagem mais completa de acesso para todos os visitantes e inclui a remoção de barreiras físicas, treinamento da equipe, disponibilização de peças táteis, descrições em Braille e livros táteis.

Cardoso (2016) relata sobre o Museu Tátil Omero, o qual, da mesma forma que o Museu Tifológico da ONCE, oferece a exploração tátil combinada com informações sonoras ao vivo, leitura em braille e fonte ampliada (Figura 2). E destaca que também são disponibilizadas peças originais ao tato, que foram “[...] selecionadas devido ao valor autoral, características técnicas e qualidades expressivas para o toque [...]” (CARDOSO, 2016, p. 176).

Figura 2 — Exposição acessível no Museu Tátil Omero.



(A) Baixo-relevo de pintura: “Ragazzo morso da ramarro” de Massimiliano Trubbiani; Peppe Nadia. Autor original da pintura: Caravaggio.

(B) Escultura original: “Virgo Lauretana” de Natalia Gasparucci.

(C) Modelo arquitetônico: Pantheon.

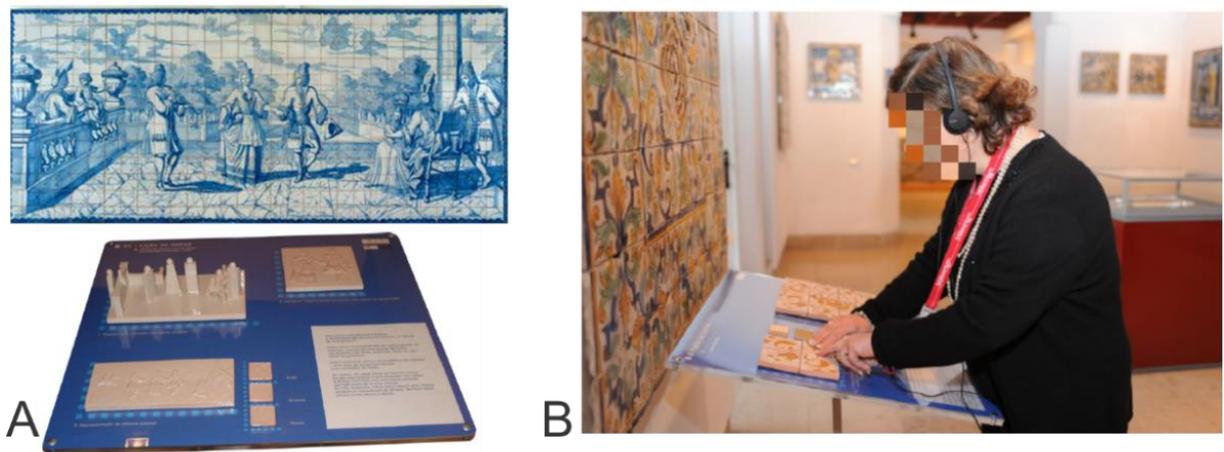
(D) Fotografia do interior do museu.

Fonte: Museo Tattile Statale Omero (2021).

Além destes, é possível também destacar o Museu do Prado em Madri, que oferece cópias impressas em 3D de seis pinturas famosas nas quais os usuários podem realizar a percepção háptica. E o Museu Tactual em Atenas, que é destinado principalmente aos visitantes cegos, oferecendo peças originais e cópias de obras e peças renomadas (ANAGNOSTAKIS et al., 2016). No entanto, vale ressaltar que os museus supracitados, não eram disponibilizados equipamentos, bem como, nenhum tipo de tecnologia embutida nos modelos táteis, já que a grande maioria disponibiliza o acompanhamento por mediadores, e a realização da audiodescrição simultânea.

Por sua vez, Eardley e colaboradores (2016) trazem o Museu Nacional do Azulejo de Lisboa como um dos estudos de caso em seu trabalho. Eles apresentam as iniciativas da equipe, para tornar o museu acessível para todos. Dentre elas, réplicas dos azulejos foram criadas e disponibilizadas em estandes, logo abaixo dos originais, no formato de relevos tridimensionais (Figura 3). Bem como, fora combinado à audiodescrição gravada, utilizando, além da descrição dos elementos visuais, sons representativos, como o movimento do trem e músicas da época, que estavam presentes no painel. Além disso, o mesmo estande dispunha de etiquetas com a descrição estendida, em letras grandes, assim como em Braille. De acordo com o autor, todas estas iniciativas foram muito bem avaliadas pelos usuários.

Figura 3 — Exposição acessível no Museu Nacional do Azulejo.



(A) Estande contendo a representação tridimensional da cena exibida no painel de azulejos em conjunto com a texturização dos principais elementos da mesma.

(B) Utilização do estande, junto a audiodescrição gravada, por uma pessoa com deficiência visual.

Fonte: Adaptado de Eardley e colaboradores (2016).

Já Cardoso (2016) descreve a visita no Museu Tifológico da ONCE, considerando-o como completamente acessível. O autor detalha que todos os modelos são disponibilizados em condições acessíveis de aproximação, bem como às informações relativas as peças, com leitura braille e fonte ampliada, e a AD gravada (Figura 4). Além disso, enfatiza que as maquetes são disponibilizadas em

diferentes materiais, escalas e graus de detalhamento, para que a percepção seja progressiva e permita a compreensão em diferentes níveis de complexidade.

Figura 4 — Exposição acessível no Museu Tifológico da ONCE.



(A) Modelo arquitetônico: “Puerta de Alcalá”, de Andrés León Mora.

(B) Tour tátil no museu: toque em baixo-relevo.

(C) Tour tátil no museu: toque em modelo arquitetônico.

Fonte: Museo Tifológico da ONCE (2021).

Posto esse cenário, percebe-se que dentre as peças do acervo de um museu são necessários critérios de escolha para que isto represente a exposição como um todo (INSTITUTO PORTUGUÊS DE MUSEUS, 2004). Mas, como são poucos os estudos que relatam os critérios de escolha das peças que serão submetidas à transcrição em relevo, é necessário ressaltar os estudos que enfatizam alguns pontos chave para seleção destas peças, visto que, na maioria dos museus não são disponibilizados tantos modelos às pessoas com deficiência visual.

No que diz respeito ao Museu Nacional do Azulejo, Eardley e colaboradores (2016) relatam que são seguidos os critérios de importância da peça original para a coleção como um todo, a legibilidade da imagem na forma tátil, e a presença de determinado azulejo na vida cotidiana dos portugueses. Já o método utilizado por Montusiewicz, Milosz & Kesik (2018), também leva em conta a experiência da equipe do museu, bem como, o reflexo da peça na natureza do acervo principal. Mas, trata como um dos requisitos mais importantes a avaliação da peça quanto sua relação com o dispositivo que será utilizado para digitalizá-la, ou fotografá-la, já que ambos precisam ser compatíveis. Além disso, outro elemento importante nessa seleção, também é o acabamento da peça, como o brilho e a textura da superfície, pois, não se deve selecionar um objeto que se torne muito complexo para ser produzido de forma precisa e satisfatória.

2.3.3 Tipos de modelos táteis

Observando os modelos táteis disponibilizados nos museus pelo mundo é possível perceber uma grande possibilidade de formas de reprodução das peças originais. O tipo mais comum, encontrado nos trabalhos supracitados, são os baixos-relevos de pinturas, visto que é o formato que apresenta maior dificuldade de acesso para as pessoas com deficiência visual. Entretanto, observa-se também a presença de um grande número de réplicas de peças tridimensionais, seja em escala, ou em

tamanho real. Nesse sentido, buscou-se na literatura classificações e critérios que possam contribuir para a escolha mais assertiva do formato de reprodução para cada caso.

Carfagni e colaboradores (2012) e Volpe e colaboradores (2014), esclarecem que é comum encontrar um método para traduzir pinturas em duas representações mais frequentes: “diagramas táteis e baixos-relevos”. No caso, diagramas táteis não dizem respeito às reproduções exatas de relevos de imagens visuais, mas são traduções destas imagens em uma linguagem tátil que pode ser auxiliada pela linguagem verbal, com narrativas que orientam o usuário através do diagrama de maneira lógica e ordenada. Já a representação em baixo-relevo das pinturas, transmite informações 3D de maneira mais realista, melhorando a percepção de profundidade (CARFAGNI et al., 2012)

A exemplo de diagramas táteis, o trabalho de Shiose e colaboradores (2008) abordou a reprodução de fotos por meio de um processo de simplificação de imagens. Nesse trabalho foi dado destaque apenas aos principais contornos e texturas, utilizando reagentes adicionadas à tinta da impressora de papel e conseguindo um efeito volumétrico como se fosse uma linha saliente. Já, Brito e colaboradores (2016), vão além e adicionam um filamento condutor nos contornos limitantes dos elementos da imagem, os quais estão ligados a um sistema que devolve um feedback de áudio à medida que o modelo é tocado.

Assim como eles, alguns métodos semelhantes foram aplicados em réplicas de pinturas famosas, tal como, Cantoni e colaboradores (2018) descrevem em sua pesquisa a combinação do baixo-relevo, com linhas sobressaindo nas bordas de cada elemento que compõem a pintura. Além de uma legenda em braile dentro dos limites, no intuito de descrever mais detalhadamente a obra (CANTONI et al. 2018).

Diante disso, em uma colaboração entre a Universidade de Torino (Itália), o Tactile Vision Onlus, e a União Italiana dos Cegos (Italian Union of the Blind), foi realizado um estudo para definir quais as melhores práticas para o desenho destes contornos, que essencialmente são traduzidos em 2D (ou 2.1D). Entre esses critérios, é importante destacar que alguns dizem respeito ao tamanho explorável dos auxílios táteis, pois precisam comportar a extensão dos braços e facilitar o manuseio, e sempre que possível, devem utilizar como suporte a descrição verbal (CARFAGNI et al. 2012; VOLPE et al., 2014; ROSSETTI et al., 2018).

Em contrapartida, Reichinger e colaboradores (2016a) ressaltam que, os modelos em 3D e os baixos-relevos (2.5D) oferecem mais possibilidades do que os diagramas táteis e as réplicas apenas com contornos (2D), entretanto, são mais complexas de produzir. Nestes casos, tratam-se de máquinas mais avançadas, que consomem mais material, bem como, são mais caras do que aquelas utilizadas para produzir um diagrama tátil, em papel, por exemplo. Apesar disso, estas condições são aceitáveis devido ao fato de que em exposições permanentes os modelos necessitam ser mais duráveis, pois ficam expostos por um longo tempo (REICHINGER et al. 2016a).

Reforçando esta preferência por peças reproduzidas em baixos-relevos, citam-se os trabalhos de Carfagni e colaboradores (2012) e Volpe e colaboradores (2014). Ambos enfatizam que, apesar dos esforços de disponibilizar boas opções transcritas com contornos salientes (2D e 2.1D), quando colocadas à prova, comparando com a mesma obra, porém em baixo-relevo (2.5D), os testes com os usuários mostram uma maior aceitação para com as texturizadas em baixo-relevo.

Isto se deve ao fato de que, segundo o Instituto Português de Museus (2004), as mãos entendem melhor áreas com texturas diferentes do que diversas linhas em relevo. Assim, corroborando com relatado, os participantes obtiveram a melhor percepção da forma global, e em alguns casos, até mesmo a percepção dos detalhes em baixos-relevos. O que já não ficou claro quando manusearam os elementos apenas contornados da pintura, pois não conseguiram formar imagens mentais da profundidade, mesmo quando são adicionadas texturas dentro dos elementos a fim de destacá-los (CARFAGNI et al. 2012; VOLPE et al., 2014).

Nesse contexto, o Instituto Português de Museus (2004) define que quando as peças são demasiado grandes, ou demasiado pequenas, para serem tocadas com as mãos e interpretadas convenientemente, elas devem ser acompanhadas por uma indicação do seu tamanho real, quando escaladas para uma proporção agradável. A exemplo disto, cita-se a pesquisa supracitada de Mesquita & Carneiro (2016). Para complementar esta questão, segundo Neumüller e colaboradores (2014), os modelos táteis devem ser compatíveis com o tamanho das mãos do usuário, bem como os detalhes ao tamanho dos dedos, facilitando a interpretação.

Outrossim, Oouchi, Yamazawa & Secchi (2010) trabalham com as possibilidades de redução da escala dos modelos táteis. Os autores realizaram uma pesquisa comparando um modelo tátil, produzido com gesso em baixo-relevo (2.5D) por um escultor, que adaptou a pintura “Monalisa”, de Leonardo Da Vinci (do Museu Anteros, Itália), com três cópias em escalas reduzidas progressivas (produzidas por prototipagem rápida), todas oferecidas a um grupo de estudantes com deficiência visual. O relato dos participantes é que o formato mais pequeno (3,9 cm X 5,7 cm) é inviável para leitura, mas o tamanho mediano já é útil para compreensão da forma geral, e somente o maior tamanho oferecido (15,8 cm X 23,0 cm) possibilitou a compreensão dos detalhes, que só foram percebidos durante o toque na transcrição em gesso.

Em contraste, Reichinger, Maierhofer & Purgathofer (2011) não deram notoriedade em escalar obra, mas, da mesma maneira que Carfagni e colaboradores (2012) e Volpe e colaboradores (2014), preocuparam-se com a simplificação dos elementos pertencentes a obra. Entretanto, desta vez, o comprometimento dos detalhes, que foi destacado no estudo de Carfagni e colaboradores (2012), fora uma das questões trabalhadas por Reichinger, Maierhofer & Purgathofer (2011), os quais ressaltam as dificuldades de transportar a profundidade de uma pintura para uma peça tátil.

Nesse sentido, Reichinger, Maierhofer & Purgathofer (2011) explicam que o processo de interpretação de uma obra, para reprodução da mesma, é bastante complexo, pois devido a sobreposição dos elementos de uma composição, um algoritmo não consegue operar sozinho e precisa da intervenção humana. Ou seja, baseando-se nos princípios estruturais fundamentais para um modelo tátil tridimensional de uma pintura, há a necessidade de interpretação artística e criativa sobre a mesma, já que a simplificação da quantidade de detalhes é realizada para não causar sobrecarga cognitiva, no sentido de não causar confusão na pessoa por conta dos detalhes (REICHINGER, MAIERHOFER & PURGATHOFER, 2011).

O uso da computação gráfica no patrimônio cultural geralmente é direcionado à métodos para aquisição e preservação digital (REICHINGER, MAIERHOFER & PURGATHOFER, 2011), bem como, são usados na interação com os usuários em ambientes virtuais de museus (JANSSON, BERGAMASCO & FRISOLI, 2003; CARROZZINO & BERGAMASCO, 2010). Entretanto, mais recentemente, também são utilizados para transcrição de obras-primas em materiais táteis. O que de fato é complexo, pois transcrever fielmente uma pintura (2D) para uma configuração tridimensional (baixo-relevo 2.5D e/ou 3D) sem descaracterizá-la, necessita de boas estratégias para tal (FURFERI et al., 2014). Este é um dos motivos que explica a quantidade de estudos para tornar possível estas reproduções.

No que se relaciona a aquisição de imagens da peça, Reichinger, Maierhofer & Purgathofer (2011), esclarecem sobre a variação na percepção das texturas pelo sistema visual humano. E explicam que existem duas formas de interpretar as variações de brilho, pois pode ser uma variação na textura verdadeiramente, ou pode ser causada pela interação entre a superfície e a luz incidente, gerando curvaturas “aos olhos de quem observa”. Então, eles optam pela texturização verdadeira, mas explicam que foi necessário trabalhar diferentes filtros durante os pós processamentos e mesclar com informações interpretativas, interferindo na obra original, no intuito de proporcionar a percepção realista como quando para um vidente.

Ademais, Furferi e colaboradores (2014) completam que, tanto o brilho, quanto a iluminação em uma pintura, são apenas uma interpretação artística de uma cena e que ainda pode ter sido imaginada pelo artista. Ou seja, a direção da luz geralmente é desconhecida e pode ter um efeito de luz difusa causada pelo mesmo. Situações semelhantes podem ocorrer na observação de uma escultura, ou na sua digitalização, porém neste caso, trata-se da iluminação do ambiente (JANSSON, BERGAMASCO & FRISOLI, 2003; REICHINGER, MAIERHOFER & PURGATHOFER, 2011).

No geral, Reichinger e colaboradores (2012) esclarecem que correções de erros de varredura, no pós-processamento, bem como o aumento da expressividade e robustez podem ser necessários para experiências de toque. Pois, algumas informações podem estar omitidas, levando à necessidade de recriação de informações baseadas na obra, ou ainda melhorar algum detalhe para a experiência tornar-se mais satisfatória. Contudo, os autores consideram as alterações na dimensionalidade, como

menos exigentes se comparadas as complexidades citadas anteriormente. Além disso, enfatizam que reduzir o tamanho proporcionalmente é muito mais fácil do que aumentá-lo.

Em contrapartida, Furferi e colaboradores (2014) destacam que, as cenas reconstruídas podem ser geometricamente inconsistentes e causar má interpretação por pessoas com deficiência visual, se os volumes e texturas forem recriados a partir de uma tradução criativa da obra e, além disso, ainda não respeitar a perspectiva da cena. Visto isso, os autores desenvolveram um método semiautomático capaz de gerar modelos semi-tridimensionais (2.5D), utilizando técnicas promissoras e conceitos mais atuais. No entanto, mesmo assim, o método não pretende realizar uma reconstrução perfeita das cenas pintadas, já que sua interface gráfica é orientada pelo usuário. O resultado é mais fiel ao original (considerando a perspectiva), se comparando ao trabalho de Reichinger, Maierhofer & Purgathofer (2011), como quando apenas o usuário era responsável (FURFERI et al., 2014; GOVERNI et al., 2014).

Portanto, Furferi e colaboradores (2014), obtiveram êxito em solucionar alguns problemas de interferências criativas, padronizando as mesmas e baseando-as em métodos mais sofisticados por meio de um software. Apesar disto, alguma interpretação ainda precisou ser realizada. E pelo contrário do que parecia, por conta das interferências, no que diz respeito aos experimentos com usuários, eles foram muito promissores, pois grande parte dos participantes conseguiu fazer a leitura da réplica. Logo, é válido ressaltar que apesar da necessidade de pequenas interferências nas obras traduzidas, as pessoas com deficiência visual demonstram boa aceitação por estes tipos de modelos táteis.

O Instituto Português de Museus (2004) esclarece que as pinturas e imagens podem ser representadas em relevo com um maior ou menor grau de sucesso. Mas, realmente podem precisar de adaptações de simplificação, pois desta forma, as mãos podem compreender melhor as texturas. Porém, é necessário não interferir demasiadamente no objeto podendo causar uma discrepância à forma original (CANDLIN, 2003).

Entretanto, até então, foram explorados os estudos que traduzem pinturas (2D) em diagramas táteis e/ou em peças “semi-tridimensionais” (2.5D), possibilitado a compreensão dos critérios de reprodução destes itens. No entanto, é preciso enfatizar o uso das peças tridimensionais (3D), como em casos de esculturas e artefatos, e as suas “traduções” para outros tipos de modelos táteis (2.5D e 2.1D).

Nos estudos de Reichinger e colaboradores (2012) é possível compreender algumas das relações estabelecidas entre a dimensionalidade das peças e sua transcrição para um modelo tátil. O Quadro 1 expõe as dificuldades e complexidades relacionadas à reprodutibilidade de uma réplica, como pós processamento e posterior fabricação.

Para o entendimento do quadro é necessário esclarecer sobre a reprodução em 2.1D, visto que ela dificilmente ocorre na natureza. Pois esta representação diz respeito aos diagramas táteis referidos, onde apenas os contornos dos elementos de uma figura ficam salientes. Por sua vez, é a

maneira mais fácil e barata de produzir relevos, da mesma forma que é comum de ser encontrada em museus. Mas, quando há a necessidade da percepção de profundidade, ou sombras em uma imagem, se entende outros meios de reprodução mais adequados para transmitir estas questões, como contextualizado anteriormente (REICHINGER et al. 2012).

Os exemplos comuns de relevos em 2.5D podem ser encontrados em moedas e modelos de terrenos. Quando, com tamanho apropriado, podem ser ferramentas de toque muito úteis, adicionando a percepção da profundidade à experiência. Além disso, sendo comparativamente “planos” e mais fáceis de manusear do que um relevo completo em 3D (tridimensional), a produção também é facilitada (REICHINGER et al. 2012; SCOPIGNO et al., 2017).

Mas, no que se refere aos modelos tridimensionais (3D) e suas formas de reprodução, eles podem ser adquiridos por uma ampla gama de scanners. E a produção, no entanto, é mais complicada do que no caso de baixos-relevos supracitados. Já, em relação aos critérios de reprodução dessas peças, é possível se basear nos estudos direcionados aos baixos-relevos, como a respeito da escala, facilidade de manuseio e uso de poucas interferências criativas.

Quadro 1 — Comparação de processamento e reprodução por fabricação digital.

ENTRADA \ SAÍDA	2D	2.1D 2.5D	3D
2D	Abstração, encontrar os contornos importantes	É preciso interpretar para fazer o relevo e a superfície	É necessário interpretar o relevo, superfície e partes ocultas
2.5D	Mesma abordagem, porém é necessário interpretação para encontrar os contornos	Há necessidade de comprimir o relevo	É necessário interpretar o relevo, superfície e partes ocultas
3D	Mesma abordagem, porém há muitas possibilidades de interpretação	Mesma abordagem, porém há muitas possibilidades de interpretação	É realizada a transferência direta, apenas muda-se a escala
	Possibilidade de automação e produção em larga escala.		
	Necessidade de interferência criativa e abstração para criação do relevo.		
	Alta complexidade, requer interferência criativa devido às partes ocultas.		

Fonte: Adaptado de Reichinger e colaboradores (2012).

Posto esse cenário, compreende-se que os formatos de tradução mais complexos envolvem uma peça tridimensional (3D) combinada a uma peça bidimensional (2D), ou combinada com uma peça

semi-tridimensional (2.5D) como pontos de partida (em vermelho no quadro). E isso se deve ao fato de que será preciso interferência criativa, interpretação e adaptação devido a percepção visual e suas características envolvidas. Já que será preciso transformar os elementos bidimensionais da pintura, por exemplo, em elementos tridimensionais (REICHINGER et al., 2012).

Os formatos de tradução menos complexos se referem àqueles com transferência direta, ou com poucas adaptações necessárias, como pode ser observado em verde no Quadro 1. Ou seja, de uma peça tridimensional para outra no mesmo formato. Portanto, a reprodução de uma peça 3D apenas requer algum processamento de adequação do modelo scaneado, conforme o processo de fabricação digital que for selecionado, ou, quando se é desejado alterar a escala, por exemplo.

Entretanto, apesar de ser considerada uma tradução de baixa complexidade, a tradução de uma peça semi-tridimensional em uma peça tridimensional possibilita inúmeras abordagens de posicionamento dos elementos, em relação a profundidade e perspectiva. A exemplo, cita-se o sistema explorado em Reichinger, Carrizosa e Travnicek (2018), que é pensado para uma abordagem avançada, referente a fonte de mesa Meissen “O Triunfo de Anfitrite”, exibido no Museu Victoria and Albert (V & A) em Londres. A proposta é uma versão achatada (baixo-relevo), para que seja compatível com um sistema já desenvolvido anteriormente (Reichinger et al., 2018).

Os autores trabalharam com as digitalizações detalhadas a laser, disponibilizadas pelo museu e com fotogrametria de 35 peças individuais de porcelana. Estas, foram posicionadas corretamente, sendo dimensionadas e alinhadas às respectivas partes da varredura (REICHINGER, CARRIZOSA & TRAVNICEK, 2018). No entanto, as questões sobre a ordem de profundidade dos objetos principais causaram muitos problemas, sendo que várias pessoas, que participaram da experimentação, não puderam compreender quais elementos estavam mais à frente em relação aos demais, ou acreditavam que eles estivessem no mesmo plano (REICHINGER, CARRIZOSA & TRAVNICEK, 2018). Por conta do ocorrido, os autores não chegaram a integrar o sistema multissensorial ao modelo tátil desenvolvido, e consideraram a necessidade de estudos mais aprofundados relacionados a essa “tradução”.

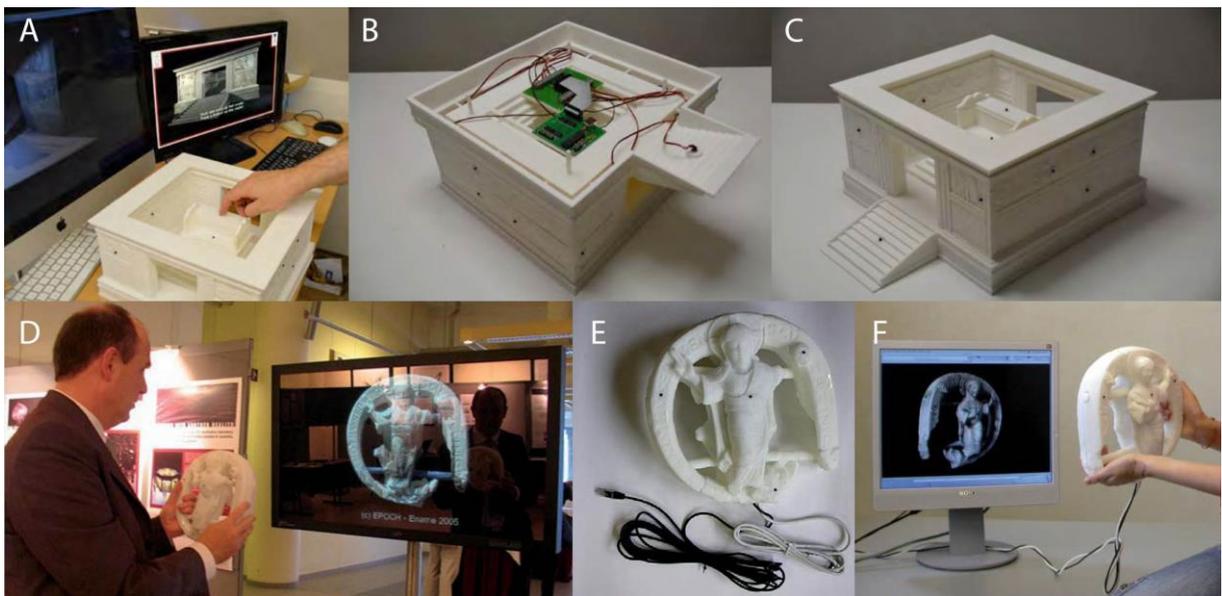
2.3.4 Modelos táteis multissensoriais existentes

Conhecendo os diferentes tipos de modelos táteis que podem ser disponibilizados no museu é possível dar um passo adiante, e analisar os estudos que integram sistemas de áudio em modelos táteis, transformando-os em modelos multissensoriais, destinados ao auxílio da percepção da forma pelas pessoas com deficiência visual. Nesse sentido, serão apresentadas oito pesquisas que envolvem peças semi-tridimensionais e tridimensionais, com diferentes formas de abordagens para realizar o feedback audiodescritivo.

O primeiro trabalho diz respeito ao *Virtex*, que é baseado em uma réplica impressa em 3D, interativa, utilizada como interface tátil e dispositivo de feedback de áudio. Em suma, os usuários

podem tocar livremente no modelo e o sistema irá contar a sua história. O primeiro protótipo do *Virtex* foi desenvolvido em 2007 e os refinamentos foram realizados até 2015 (Figura 5). O projeto dispõe de duas versões: o *Virtex*, que foi pensado para ser um objeto físico, sem fio, combinado a uma tela digital, em que, através de um sensor de movimento integrado, a visualização na tela acompanha o movimento da réplica nas mãos do usuário, assim como, a narrativa acompanha a interação por sensores de toque espalhados na peça. Já o *Virtex Ligth*, foi pensado para apresentar monumentos e sítios, com uma abordagem fixa, ou seja, sem o sensor de movimento, mas ainda com a tela interagindo a partir dos sensores de toque espalhados pela peça (PETRIDIS et al., 2006; PLETINCKX, 2007; CAPURRO, NOLLET & PLETINCKX, 2015). Ambos os sistemas funcionam sob a mesma premissa: a configuração requer uma tela e um computador, e assim que os sensores são tocados na superfície da réplica, o conteúdo é acionado para exibição e narração, que por sua vez, são independentes e possibilitam que o usuário explore livremente, sem a necessidade de uma ordem de reprodução (CAPURRO, NOLLET & PLETINCKX, 2015).

Figura 5 — Imagens do *Virtex* em diferentes versões e usos.



- (A) Teste sendo realizado na réplica de Ara Pacis na versão do *Virtex Ligth*.
 (B) Sistema interno da réplica de Ara Pacis na versão do *Virtex Ligth*.
 (C) Réplica multissensorial de Ara Pacis na versão do *Virtex Ligth*.
 (D) Uso durante implementação da réplica no museu da versão *Virtex*.
 (E) Réplica inicial de objeto de marfim valioso do Museu Arqueológico Provincial em Ename, Bélgica.
 (F) Teste da réplica inicial, ainda utilizando o sensor *InertiaCube2* com fios.

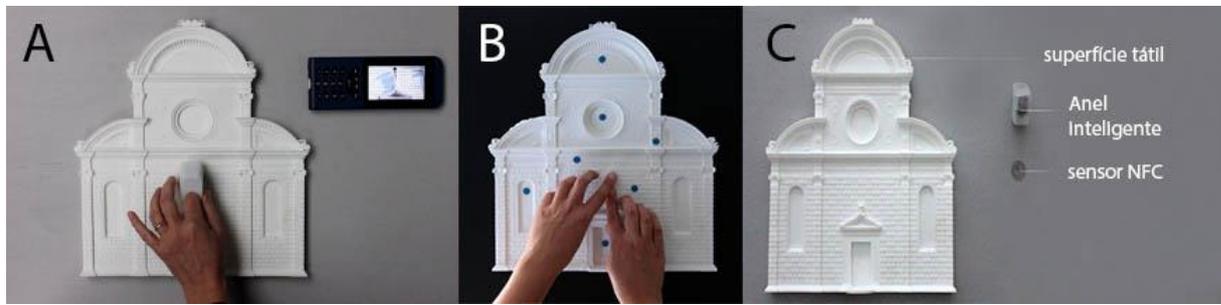
Fonte: Adaptado de Pletinckx (2007) e Capurro, Nollet & Pletinckx (2015).

A principal diferença entre as duas versões é o sensor *InertiaCube3*, que rastreia continuamente a orientação do objeto, porém não dá a informação sobre onde a peça está sendo tocada. Mas, ambos utilizam mini botões espalhados pelo modelo tátil, fazendo os links para as

audiodescrições e mídias, como pode ser visto na Figura 5 (PETRIDIS et al., 2006; PLETINCKX, 2007; CAPURRO, NOLLET & PLETINCKX, 2015).

Outro estudo trata do *Tooteko*, idealizado por D’Agnano e seus colaboradores (2015), que é um protótipo em baixo-relevo da fachada da Igreja de San Michele em Isola de Codussi, impresso em 3D, composto por sensores NFC (*Near Field Communication*) espalhados na peça. A leitura é realizada por um anel, o qual envia as informações para um aplicativo agregado a um tablet, ou smartphone, o qual realiza o feedback audiodescritivo (Figura 6). O diferencial deste projeto é a possibilidade de adaptação dos áudios conforme o usuário e suas necessidades. A exemplo desta adaptação cita-se o idioma dos áudios e o nível de informações necessárias para um visitante especialista ou adolescente.

Figura 6 — Imagens do projeto *Tooteko*.



(A) Réplica tátil da fachada da igreja de S. Michele em Isola de Codussi sendo utilizada.

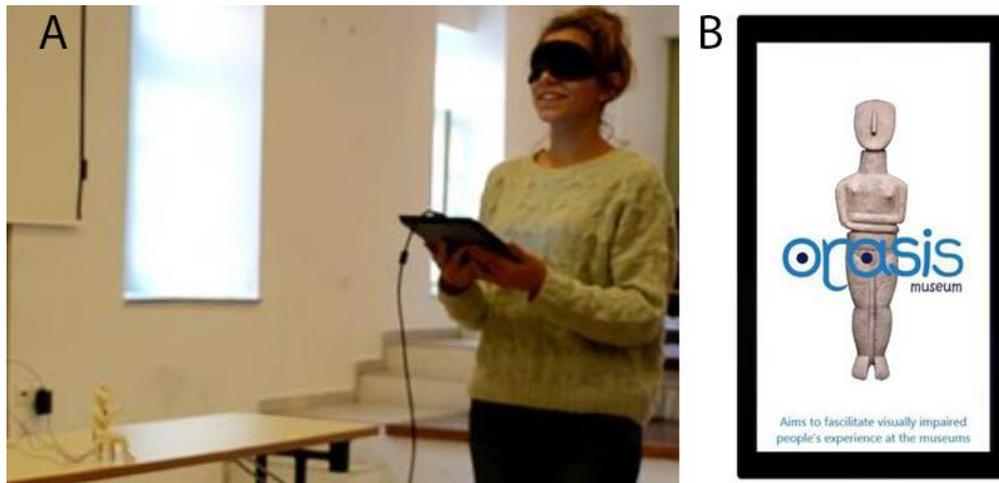
(B) Sensores NFC sendo mostrados em suas posições.

(C) Componentes necessários para funcionamento do *Tooteko*.

Fonte: Adaptado de D’Agnano e colaboradores (2015).

Ademais, os estudos de Anagnostakis e colaboradores (2016) descrevem uma abordagem semelhante, e apresentam um protótipo de baixo custo, destinado a exposições em museus, nomeado projeto *Orasis Museum* (Figura 7). Ele inclui a navegação das salas do museu por um aplicativo em *touchscreen*, e a exploração de réplicas táteis usando sensores sensíveis ao toque, com descrições de áudio através do feedback do toque na peça. Estes, podem ser ouvidos em fones de ouvido, por meio do aplicativo desenvolvido que é disponibilizado em tablets no museu. Entretanto, os autores não identificam qual o sensor que realiza essa leitura, apenas o determinam como capacitivo (ANAGNOSTAKIS et al., 2016).

Figura 7 — Imagens do protótipo *Orasis Museum*.



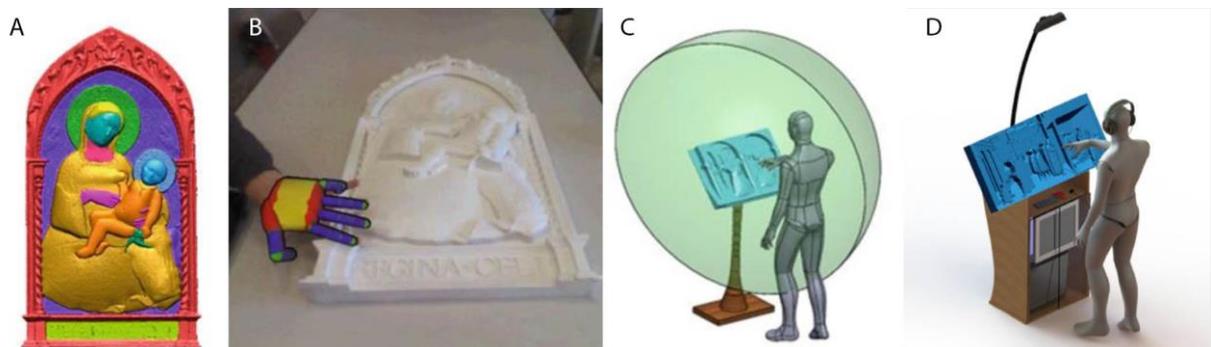
(A) Teste de exploração no museu utilizando o aplicativo desenvolvido.

(B) Interface do aplicativo desenvolvido.

Fonte: Adaptado de Anagnostakis e colaboradores (2016).

O estudo de Furferi e colaboradores (2014), que era exclusivamente tátil, foi melhorado por Buonamici e colaboradores (2015; 2016), que integraram recursos multimodais na experimentação, nomeando-o como *Bas-relief Exploration Sistem*. O estudo consiste em integrar um sistema de reprodução automatizada de audiodescrição, disparada a partir do rastreamento das mãos, a qual é realizada pelo sensor de movimentos Kinect. Para a interpretação da posição das mãos e a localização do toque na peça são realizadas diferentes leituras, e combinadas através do algoritmo criado pelos autores. Este sistema fora aplicado em uma reconstrução de cena, baseada em sua perspectiva (reproduzida por técnicas de sombreado e escalas de cinza, virtualmente), transcrita em baixo-relevo, produzido por métodos de fabricação digital e posterior experimento com usuários. Para tanto, diferentes obras foram reproduzidas e testadas (Figura 8).

Figura 8 — Imagens do estudo sobre rastreamento das mãos através do Kinect.



(A) Modelo virtual segmentado de “Madonna com a criança e anjos”, de Niccolò di Pietro Gerini.

(B) Primeiro rastreamento das mãos para posterior combinação dos registros no algoritmo criado.

(C) Uma das possibilidades do posicionamento para varredura completa, com raio de 1 metro.

(D) Layout final do protótipo *Bas-relief exploration sistem*, que permite a varredura completa.

Fonte: Adaptado de Buonamici e colaboradores (2015) e Buonamici e colaboradores (2016).

O rastreamento das mãos, da mesma maneira que o reconhecimento de formas, são áreas de estudos que oferecem amplas possibilidades para aplicação no campo da interação humano-computador e aos modelos táteis de museus (BUONAMICI et al., 2015). Estas possibilidades embasaram os próximos trabalhos de Reichinger e colaboradores (2016b), que realizaram um estudo aprofundado de sistemas de rastreamento das mãos para uma abordagem semelhante à de Buonamici e seus colaboradores (2016), ainda utilizando sensores ópticos.

Os autores analisaram os dados baseados em estudos com diferentes abordagens do Kinect (OIKONOMIDIS, KYRIAZIS & ARGYROS, 2011; SHEN et al., 2013), e devido à baixa resolução na detecção dos dedos, bem como a necessidade de realizar duas varreduras (BUONAMICI et al., 2015; 2016), os levou a optar pelo uso de uma câmera de profundidade, a Intel RealSense F200 (câmera RGB-D de profundidade). A mesma fora anteriormente citada no trabalho de Reichinger e colaboradores (2016a), onde o sensor de profundidade Leap Motion também fora desclassificado porque não era condizente com seus critérios de seleção, que segundo os autores, não realiza a leitura das mãos quando elas tocavam em objetos. Ademais, o uso da câmera de profundidade já havia sido usado no estudo de Wilson (2010), pioneiramente. Todavia, outros tipos de sensores também foram desclassificados nos critérios de seleção deste estudo, sendo um deles aquele utilizado por D'Agnano e seus colaboradores (2015), que introduziram os sensores no próprio objeto (REICHINGER et al., 2016b).

Então, Reichinger e colaboradores (2016c) realizaram testes comparativos entre os seus sistemas interativos com feedback de áudio que já haviam sido produzidos em trabalhos anteriores (REICHINGER, MAIERHOFER & PURGATHOFER, 2011; REICHINGER et al. 2012; REICHINGER et al. 2016a; REICHINGER et al. 2016b). A comparação incluía um modelo tátil de um sarcófago, nomeado *Cat Sarcophagus: A Digital Touch Replica*, o qual continha algumas feições do artefato acentuadas de um dos lados, considerando que simetricamente o outro era totalmente idêntico ao original, além dos sensores de toque incrustados na peça (Figura 9B). E o outro modelo tratava-se do rastreamento de mãos supracitado, nomeado *Interactive Audio Guide* (REICHINGER et al. 2016b). Os resultados de Reichinger e colaboradores (2016c) mostram que tanto *Cat Sarcophagus: Digital Touch Replica* (REICHINGER et al., 2016c) quanto o *Interactive Audio Guide* (REICHINGER et al., 2016b), com seus respectivos sistemas feedback audiodescritivos, foram muito bem aceitos, recebendo qualificações consistentes dos usuários (Figura 9). Não obstante, salvo alguns usuários, a acentuação das feições do *Cat Sarcophagus: Digital Touch Replica* não foi bem avaliada pelos usuários, que preferiram tocar no lado em que o mesmo era fiel ao original em suas feições e detalhamento. Além disso, os participantes explicaram que teria sido ideal duas peças completas diferentes para uma avaliação mais precisa. Contudo, ambos os sistemas experienciados necessitariam de melhorias futuras a partir dos dados analisados, segundo os próprios autores (REICHINGER et al., 2016c).

Figura 9 — Modelos multissensoriais desenvolvidos por Reichinger e colaboradores.



(A) Modelo multissensorial do *Cat sarcophagus*: *digital touch replica* sendo tocado.

(B) *Cat sarcophagus*: *digital touch replica* sendo mostrado de ambos os lados durante experimentação.

(C) Primeiro estudo sobre o *Interactive audio guide* sendo testado.

(D) Layout final do protótipo *Interactive audio guide*.

Fonte: Adaptado de Reichinger e colaboradores (2016b) e Reichinger e colaboradores (2018).

É notável que Reichinger e colaboradores forneceram uma quantidade substancial de pesquisas no que diz respeito a interação entre baixos-relevos e o usuário. Todavia, o estudo descrito anteriormente relativo ao *Interactive Audio Guide* (REICHINGER et al., 2016b), fora refinado para uma nova configuração, utilizando uma estação de trabalho *HP Sprout*, um computador *all-in-one* que fora criado especificamente para interação 3D, sendo que o sensor *RealSense F200* está diretamente integrado no sistema, e a peça em baixo-relevo é disposta logo à frente do monitor, como pode ser observado na Figura 9D (REICHINGER et al., 2018).

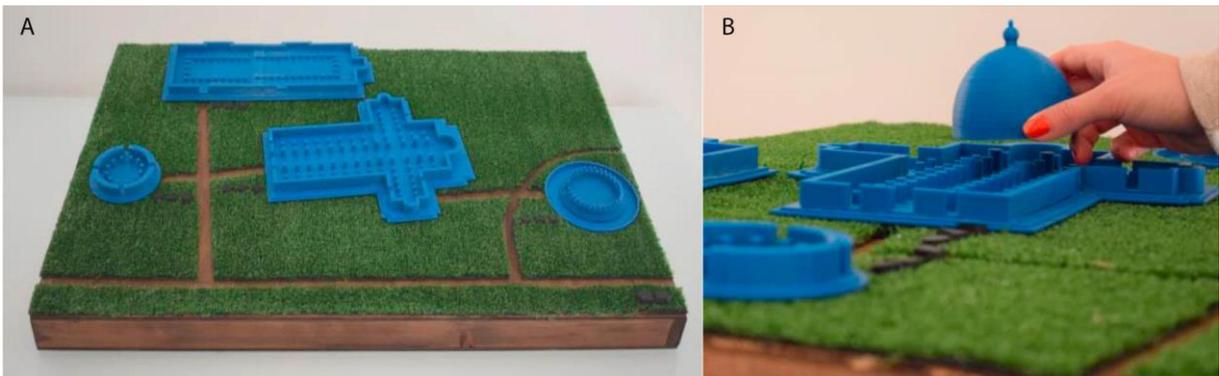
No entanto, o melhor desempenho é conseguido apenas utilizando um dos dedos, pois quando o sistema detecta outros dedos, há problemas de leitura. Então, agora o sistema opera em uma resolução mais baixa, passando por uma filtragem de profundidade mais forte, tornando a detecção dos gestos mais estável (REICHINGER et al., 2018). Além disso, qualquer dedo pode ser usado para interação de detalhes no baixo-relevo (REICHINGER et al., 2018), o que não ocorre em Buonamici e colaboradores (2015) que exigem o dedo indicador. Os autores explicam que a necessidade de usar apenas um dos dedos para exploração (exceto em comandos por gestos) evita situações de ambiguidade de correspondências, já que seria natural na exploração da peça.

Por conseguinte, diferentemente dos trabalhos até então citados, Rossetti e colaboradores (2018), utilizaram botões fora da peça para reprodução de áudio em seu modelo tátil. Eles reproduziram quatro monumentos localizados na “Piazza dei Miracoli” em Pisa, na Itália, que foram cortados à aproximadamente 1 metro de altura do chão, no intuito de mostrar a arquitetura interna dos monumentos, posicionados em conjunto em uma única base (Figura 10). A interação com os usuários é realizada através de três botões com diferentes formas, que ficam localizados na entrada de seus respectivos monumentos, e detalham: (i) informações práticas; (ii) visões gerais históricas; e (iii) descrições arquitetônicas. Além disso, há um sensor de proximidade no modelo, responsável por

reproduzir uma seção introdutória sobre o funcionamento do sistema em geral, com as respectivas notas introdutórias (ROSSETTI et al., 2018).

E, para finalizar as pesquisas analisadas, é preciso salientar a empresa *Museum in a Box*, criada por George Oats, em 2015, mostrado na Figura 11 (MUSEUM IN A BOX, 2020). Este é um projeto de design inclusivo focado na acessibilidade museológica, da mesma forma que sua tecnologia ganhou espaço em atividades educacionais e culturais. Em suma, o produto apresenta os conteúdos museológicos através da reprodução de peças em 3D, previamente selecionadas, utilizando um software com tecnologias NFC e Raspberry Pi, que permitem a audiodescrição e a atualização dos dados remotamente. E tudo isso é disponibilizado em uma “box”, que pode ser levada para qualquer lugar. Esta empresa digitaliza e imprime as peças em 3D (em escala compatível com seu produto) e oferece um “kit” de peças em conjunto com seu produto, para que os conteúdos se tornem táteis e de baixo custo, além de fácil locomoção (RAMOS, 2019; MUSEUM IN A BOX, 2020).

Figura 10 — Maquete arquitetônica desenvolvida por Rossetti e seus colaboradores.



(A) Maquete arquitetônica da “Piazza dei Miracoli” em Pisa, na Itália.

(B) Modelo em detalhe para mostrar o uso e os diferentes botões na base da peça.

Fonte: Adaptado de Rossetti e colaboradores (2018).

O principal intuito é levar a vivência de obras arte e artefatos, dos maiores museu do mundo, para qualquer parte do mundo. Nesse sentido, a produção do *Museum in a Box* se inicia com a escolha do museu e das peças que se pretendem reproduzir. Logo, são recolhidas todas as informações necessárias para desenvolver a AD daquela peça e tudo é armazenado em um suporte digital. Após os objetos impressos em 3D, todos recebem um adesivo NFC na base, para que se tornem compatíveis com o produto (Figura 11). E, uma vez que a caixa tem acesso à internet, sempre que as informações forem atualizadas no museu, será possível atualizar os dados do modelo impresso (RAMOS, 2019; MUSEUM IN A BOX, 2020).

Figura 11 — Imagens do produto inglês *Museum in a Box*.



(A) Layout completo do produto *Museum in a Box*.

(B) Modelo com etiquetas adesivas NFC que são disponibilizadas para os usuários.

(C) *Museum in a Box* com peças e figuras museológicas, que podem ser utilizadas através dos adesivos NFC.

Fonte: Museum in a Box (2020).

Para ouvir a AD da peça que estiver sendo tocada, a mesma precisa ser posicionada no topo da caixa e, assim, o sistema irá compreender de qual peça se trata (Figura 11). Nesse caso, não há sensores espalhados pelo modelo, bem como não é possível localizar a posição das mãos na peça. Logo, existe apenas um áudio para cada modelo impresso. Entretanto, este produto pode ser levado para dentro de uma sala de aula, não necessitando do deslocamento até o museu, assim como, pode chegar até a casa de uma pessoa com deficiência visual e facilitar esse contato.

O Quadro 2 apresenta um resumo esquemático com as principais características dos modelos táteis com feedback de áudio integrado que foram mencionados até então.

É de senso comum entre todos os estudos analisados que o toque nos objetos, juntamente com as descrições de áudio integradas é preferível entre usuários que utilizaram estes modelos. Ao comparar o toque com os comandos de voz (SWAMINATHAN et al., 2016), ou descrições narradas por guias em museus (CANDLIN, 2003; KLEEGER, 2018), à botões para reprodução de áudio, sejam pequenos ou grandes (PETRIDIS et al., 2006; PLETINCKX, 2007; CAPURRO, NOLLET & PLETINCKX, 2015; ROSSETTI et al., 2018), assim com, ao rastreamento das mãos (BUONAMICI et al., 2016; REICHINGER et al., 2018), os sensores de toque obtiveram destaque (D'AGNANO et al., 2015; ANAGNOSTAKIS et al., 2016; REICHINGER et al., 2016c; RAMOS, 2019; MUSEUM IN A BOX, 2020). Pois, observando algumas restrições frente a estes trabalhos, entende-se que é ideal a possibilidade do toque por ambas as mãos (D'AGNANO et al., 2015; BUONAMICI et al., 2016; REICHINGER et al., 2018), assim como é importante o uso de outros dedos além do indicador (BUONAMICI et al., 2016). Então, por mais interessante que possa parecer o rastreamento das mãos, entende-se que o uso de sensores de toque é mais promissor para a pesquisa em questão.

Quadro 2 — Trabalhos que utilizam modelos táteis com feedback audiodescritivo analisados.

<p>Virtex e Virtex Ligth Utilizam sensores de movimento e micro botões com feedback de áudio e vídeo.</p>  <p>Pletinckx (2007); Capurro Nollet & Pletinckx (2015)</p>	<p>Tooteko Utilizam sensores NFC integrados no modelo com feedback audiodescritivo por App.</p>  <p>D'Agnano et al. (2015)</p>	<p>Orasis Utilizam sensores capacitivos integrados no modelo com audiodescrição por App.</p>  <p>Anagnostakis et al. (2016)</p>	<p>Bas-relief exploration system Utilizam o Kinect como sensor para rastreamento das mãos.</p>  <p>Buonamici et al. (2016)</p>
<p>Cat Sarcophagus Utilizam sensores de toque com feedback audiodescritivo incrustados no modelo.</p>  <p>Reichinger et al. (2016c)</p>	<p>Interactive Audio Guide Utilizam câmera de profundidade para rastreamento das mãos.</p>  <p>Reichinger et al. (2018)</p>	<p>Piazza del Miracoli Utilizam três tipos de botões para feedback audiodescritivo fora da peça impressa em 3D.</p>  <p>Rossetti et al. (2018)</p>	<p>Museum in a Box Utilizam etiquetas NFC na base dos modelos impressos, com audiodescrição remota.</p>  <p>Ramos (2019); Museum in a Box (2020)</p>

Fonte: Desenvolvido pela autora (2021).

2.4 MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DIGITAL DE MODELOS MULTISENSORIAIS

Por um longo período de tempo, os modelos táteis de patrimônios culturais, foram reproduzidos manualmente por escultores, artesões ou profissionais qualificados (REICHINGER, MAIERHOFER & PURGATHOFER, 2011; REICHINGER et al., 2012). Esta modelagem manual poderia fornecer informações confiáveis e detalhadas sobre uma determinada estrutura. No entanto, exigia um trabalho arduo e um investimento extenso de tempo, para fornecer até mesmo uma pequena região de uma peça (ZANG, 2010; REICHINGER et al., 2012; BUONAMICI et al, 2015). Além de ser um processo demorado, segundo Scopigno e colaboradores (2017), existia ainda as complexidades de reprodução do tamanho original (escala 1:1).

Não obstante, entre os materiais mais comumente utilizados na produção manual por artesãos, destacavam-se o gesso e a resina, que geralmente usavam a abordagem de moldagem na própria obra (tratando-se de esculturas), o que afetava gravemente o status de conservação da mesma, podendo danificá-la (SCOPIGNO et al., 2017; BALLETTI, BALLARIN & GUERRA, 2017). Problemas como estes, abriram um amplo espaço para que a fabricação digital pudesse reproduzir cópias de alta qualidade, solucionando as questões técnicas e mantendo as peças e obras de arte seguras (SCOPIGNO et al., 2017). Adicionalmente, a disponibilidade de variadas ferramentas tecnológicas e de computação gráfica, também facilitou a fabricação destas peças (KOSMAS et al., 2019), resultando em um aumento da popularidade da exploração da técnica, especialmente no contexto de patrimônios culturais. Pois, uma das maiores vantagens de utilização é a não destruição da peça original, já que a aquisição ocorre através de métodos de digitalização tridimensional ou fotogrametria, as quais também são precisas e escalonáveis. No entanto, os estudos que abordam a avaliação do uso destas réplicas em contextos multissensoriais são escassos. Logo, não se tem muitos dados de como os visitantes do museu interagem e percebem essas reproduções, assim como não se sabe como eles as consideram (NEUMÜLLER et al., 2014; D'AGNANO et al., 2015; SCOPIGNO et al., 2017; WILSON et al., 2017; BALLETTI, BALARIN & GUERRA, 2017; BALLARIN, BALLETTI & VERNIER, 2018).

Nesse sentido, Montusiewicz, Milosz & Kesik (2018), explanam sobre os benefícios de experimentar artefatos de museu utilizando o sentido do tato, e relatam suas considerações sobre a adequação da impressão 3D para este fim. Por sua vez, Balletti, Ballarin & Guerra (2017) salientam as aplicações da impressão 3D no contexto dos museus, que se destacam entre elas, a redução do tempo e os custos para todos os tipos de reproduções, como achados arqueológicos, esculturas, elementos arquitetônicos, pinturas e obras de arte em geral. Como eles Wilson e colaboradores (2017) também ressaltam que as peças impressas em 3D “tocáveis” podem contribuir para que os visitantes em geral possam se envolver e aprender com o conteúdo das exposições através de meios de comunicação alternativos, enfatizando que isto melhora a capacidade de apreciar os detalhes. E, para complementar, segundo as colocações de Scopigno e colaboradores (2017), a impressão 3D oferece mais flexibilidade no que diz respeito a edição, como um objeto físico, pois pode ser dimensionado ou alterado mais facilmente, se comparado a fresadora CNC (Computer Numeric Control), por exemplo, que é uma outra técnica de fabricação digital.

Posto esse cenário, conforme Cardoso e colaboradores (2013), e Scopigno e colaboradores (2017), a maioria das técnicas tradicionais de fabricação digital são acessíveis para média ou grande escala, sendo este um processo geralmente ajustado especificamente para um determinado objeto, o que é caro para configurar. E como supracitado, existem outros meios de fabricação digital, que são possíveis de dividir em duas classes principais: (i) os processos subtrativos, e (ii) os processos aditivos.

As técnicas subtrativas vêm sendo utilizadas amplamente na indústria, desde o final dos anos 80, enquanto que os processos aditivos ganharam destaque nos últimos anos. Ambos podem ser comparados segundo os critérios de liberdade geométrica, tendo referência no tamanho suportado pela máquina; adequação como réplica de museus, segundo aspectos de facilidade de acesso e reprodutibilidade; e precisão, pois o acabamento superficial é altamente importante para utilização nos modelos táteis, bem como supracitado (SCOPIGNO et al., 2017; BALLETTI, BALLARIN & GUERRA, 2017; BALLARIN, BALLETTI & VERNIER, 2018).

No que diz respeito aos processos subtrativos, também conhecidos como usinagem, eles apresentam múltiplas restrições que não somente a dimensão que a ferramenta alcança, mas tem relação com o tamanho da máquina e em quantos eixos ela opera (SCOPIGNO et al., 2017; BALLETTI, BALLARIN & GUERRA, 2017). É interessante explicar que, nesses processos de subtração de material, como o fresamento, por exemplo, é possível realizar um planejamento cuidadoso, no que se refere aos caminhos da ferramenta de fresa, ou ainda, a divisão do objeto em várias partes (REICHINGER et al., 2012). Da mesma forma, as impressoras 3D geralmente têm tamanhos de construção limitados, bem como, materiais menos duráveis. Então, haverá questões para serem avaliadas quanto a estes aspectos.

No presente estudo, será utilizado um processo aditivo, mais especificamente a impressão 3D, também caracterizada como prototipagem rápida. Mas, é importante destacar que, dentro dessa classificação, ainda existem muitos processos, como a estereolitografia (SLA); modelagem por fusão e deposição (FDM); e sinterização seletiva a laser (SLS). E, fazendo uma breve comparação entre elas, entende-se que podem resultar em maior ou menor precisão e, conseqüentemente, melhor ou pior acabamento superficial, influenciando diretamente na percepção dos detalhes da peça, textura, peso e sensação de toque (CARDOSO et al., 2013; SILVA & CALDOVINO, 2015; BALLARIN, BALLETTI & VERNIER, 2018). Adicionalmente, salienta-se que para a seleção da técnica de impressão 3D de uma réplica, utilizada no contexto do museu, é ideal a verificação dos fatores supracitados, para que a peça corresponda à original, em termos de precisão e exatidão da forma (BALLARIN, BALLETTI & VERNIER, 2018).

Segundo Ballarin, Balletti & Vernier (2018), realizar uma verificação é obrigatório nesse cenário. Para tanto, a seleção da técnica levará em conta tanto os fatores que correspondem a originalidade da peça, assim como o acesso a técnica e custos envolvidos. Logo, conforme os estudos revisados, a técnica com menor custo envolvido é a modelagem por fusão e deposição (FDM, ou fabricação por filamento fundido - FFF), ainda que as outras ofereçam um melhor acabamento superficial. Além disso, destaca-se que esse trabalho se concentra na verificação do sistema, abrindo espaço para melhorias nas técnicas de prototipagem rápida para refinamentos no futuro, o que seria ideal para a percepção de detalhes em peças mais complexas.

Ainda há a importante questão do material a ser utilizado no modelo multissensorial. O processo FFF permite a utilização de uma gama maior de materiais. Dentre os materiais de fácil impressão e baixo custo tem-se o PLA ou poli (ácido lático). Há versões do PLA com carga de grafeno (carbono) que tornam o material condutor, mas elevam o custo e podem dificultar a impressão 3D. Outra opção considerada neste trabalho é a aplicação de uma tinta condutora, que tornaria a superfície do material capaz de detectar toques dos usuários sem a inserção de sensores externos.

2.5 TINTA CONDUTORA A BASE DE CARBONO

As tintas condutoras surgiram como uma evolução das técnicas de fabricação de eletrônicos (CAMARGO et al., 2021), e é notável a versatilidade dessas tintas para a fabricação de inúmeros dispositivos, como sensores vestíveis, para uso em controle remoto de monitoramento de saúde, e biossensores (ANDREOTTI et al., 2019; CAMARGO et al., 2021); eletrodos flexíveis para fins farmacêuticos (PRADELA-FILHO, 2020; KONGKAEW et al., 2021); sensores eletroquímicos descartáveis flexíveis (ANDREOTTI et al., 2019; CAMARGO et al., 2021; PRADELA-FILHO et al., 2017); blindagem eletromagnética e radiofrequência (AZIM et al., 2006); têxteis eletrônicos (ARBAB et al., 2019; ISLAM et al., 2019); impressão a jato de tinta (ARBAB et al., 2019; HTWE & MARIATTI, et al., 2021; LIU et al., 2019); e aquecimento (ARBAB et al., 2019).

Além disso, são utilizados diversos materiais condutores para este fim. Nesse sentido, Camargo e colaboradores (2021) explicam que entre os materiais condutores, os mais utilizados são as nanopartículas metálicas e materiais à base de carbono. No que diz respeito ao uso dos metais, geralmente há um melhor desempenho de condutividade elétrica, porém são mais caros e menos biocompatíveis se comparados com as tintas à base de carbono.

Em suma, Camargo e colaboradores (2021) expõem que as tintas condutoras são essencialmente uma suspensão de material condutor em um solvente apropriado, ou misturas de alguns solventes, podendo, ou não, conter agentes aglutinantes, surfactantes ou ainda polímeros que trabalhem como estabilizantes. Essas tintas são encontradas comercialmente, no entanto, geralmente são de alto custo, ou são feitas para algum fim específico, o que dificulta seu uso em outras aplicações. Posto esse cenário, corrobora-se com as colocações de Camargo e colaboradores (2021), que afirmam a crescente pesquisa sobre o desenvolvimento de novas tintas condutoras, que sejam de baixo custo e fáceis de fabricar, tendo base em materiais de carbono.

Frente a isto, verificou-se na literatura abordagens que pudessem ser reproduzidas para uso na presente pesquisa. Para tanto, observou-se o uso de pelo menos cinco materiais de carbono: o grafite (ANDREOTTI et al., 2019; AZIM et al., 2006; CAMARGO et al., 2021; PRADELA-FILHO et al., 2017; PRADELA-FILHO et al., 2020); o grafeno (HTWE & MARIATTI, et al., 2021; KONGKAEW et al., 2021; LIU et al., 2019); o negro de fumo (AZIM et al., 2006; ISLAM et al., 2019); os nanocarbons (HOF et al.,

2017); e os nanotubos de carbono (ARBAB et al., 2019); bem como, são utilizados em conjunto em alguns trabalhos (AZIM et al., 2006; CAMARGO et al., 2021).

Dentre os solventes e aglutinantes utilizados nestas pesquisas, alguns chamaram mais atenção devido a facilidade de acesso e produção, como os vernizes, resinas naturais e os compostos poliméricos (ANDREOTTI et al., 2019; CAMARGO et al., 2021; PRADELA-FILHO et al., 2017; PRADELA-FILHO et al., 2020). O uso da água também foi observado, no entanto, ela precisa ser combinada com outros surfactantes para que as partículas fiquem dissolvidas (HTWE & MARIATTI, 2021), deixando de despertar interesse para sua aplicação neste trabalho.

Isso posto, dois estudos precisam ser mencionados devido à facilidade de reprodução do método aplicado para desenvolvimento da tinta condutora. O primeiro estudo é de Pradela-Filho (2017), que prepararam a mistura de pó de grafite com esmalte de unha manualmente, testando diferentes massas e avaliando desempenhos atraentes para a aplicação pretendida. Baseado nesse estudo, Andreotti e colaboradores (2019) trabalharam com os mesmos materiais, porém utilizando diferentes métodos para a mistura do composto. Ambos os autores relatam benefícios do uso do esmalte de unha para a formação do filme, estabilidade da formulação, flexibilidade, resistência e durabilidade, além de apresentar uma viscosidade uniforme. Adicionalmente, salienta-se que Andreotti e colaboradores (2019) realizaram testes para comprovar a aderência da tinta em diversos substratos diferentes, como vidro, fita crepe, MDF, madeira e PVC, concluindo a versatilidade de aplicações da tinta.

Na sequência, Pradela-Filho e colaboradores (2020) refinaram sua pesquisa utilizando verniz de vidro como aglutinante, ainda combinado com o pó de grafite, para a avaliação da possibilidade de produção de sensores eletroquímicos descartáveis. Para tanto, os autores utilizaram uma centrífuga dupla assimétrica para realizar a mistura, a fim de permitir uma maior quantidade de material condutor na formulação da tinta, que havia sido preparada, anteriormente, pelo processo manual. Como resultado, descobriram um aglutinante promissor para a produção de tintas de carbono com alta condutividade elétrica.

Nesse sentido, conforme já mencionado, o presente trabalho considera a opção de utilizar uma tinta condutora para tornar a superfície de um objeto capaz de detectar toques dos usuários. Assim, a superfície do modelo multissensorial (tinta condutora) funcionaria como um grande sensor capacitivo, sem a necessidade de inserção de sensores externos (como observado na maioria dos estudos correlatos).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

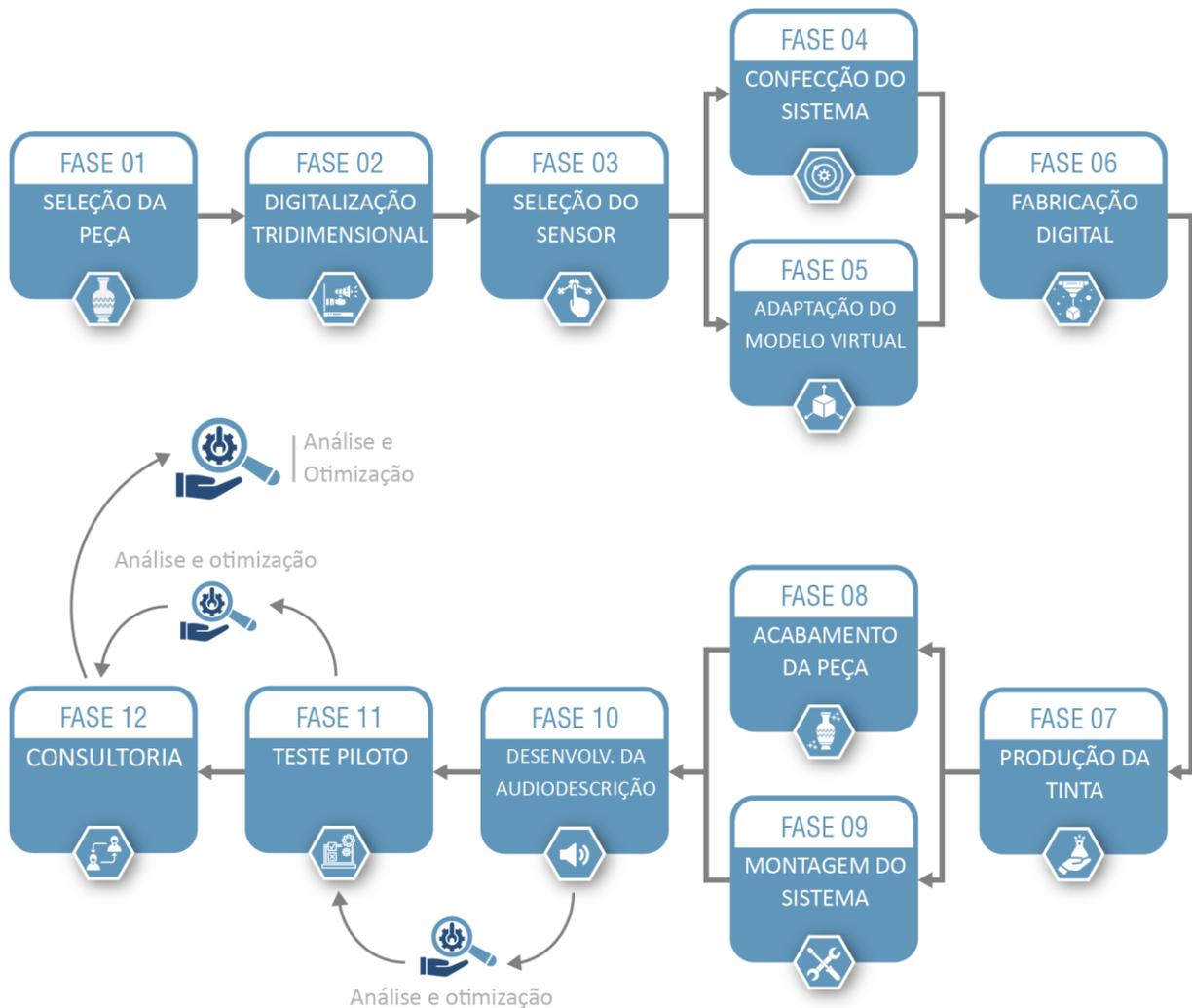
Conforme já exposto, existem algumas alternativas desenvolvidas para interação entre modelos táteis e usuários no meio museológico, mas ainda são escassos os estudos acerca dos sistemas para modelos multissensoriais nesse meio. Embora ainda não haja uma única metodologia empregada nos trabalhos revisados, percebe-se um padrão: inicia-se nos procedimentos de aquisição de imagens ou escaneamento de um objeto, seguido pelo pós-processamento e a fabricação digital de um modelo tátil, o qual geralmente recebe interferências criativas. Sobre experimentos com usuários, observou-se que, frequentemente, a experiência é mediada e gravada, no entanto, não foi possível verificar nenhum padrão específico de medida dos resultados.

Nesse contexto, a presente pesquisa tem início na digitalização de uma peça do acervo do museu e sua respectiva conversão em um modelo virtual. Em paralelo, a fim de possibilitar a interação entre a réplica tátil e o usuário, será selecionado um sensor, o qual será responsável pelo feedback de áudio conforme as regiões que forem tocadas na peça. Para tanto, o modelo virtual precisará ser modificado para comportar internamente o sistema e ser fabricado digitalmente por prototipagem rápida. Posteriormente, acabamentos na peça impressa são previstos, seguidos da montagem do sistema, que, conseqüentemente, envolve o desenvolvimento da audiodescrição. E por fim, o modelo multissensorial será colocado à prova através do teste piloto e uma consultoria, a fim de avaliar as vantagens e desvantagens do sistema, bem como otimizações necessárias para que assim seja possível sua implementação no futuro. É importante destacar que não haverá a realização da experimentação com os usuários, como nos trabalhos revisados, mas uma consultoria será realizada a fim de validar a eficácia do sistema para aplicações futuras.

Esta é uma pesquisa de natureza aplicada. Tem como objetivo principal a exploração, seguindo, inicialmente, os procedimentos metodológicos de pesquisa bibliográfica, indo ao encontro da pesquisa experimental. Para tanto, há um estudo de caso envolvido, o qual leva a uma abordagem de análise qualitativa, visto que será submetida a uma avaliação final (GIL, 2002; PRODANOV, 2013).

Em síntese, o procedimento metodológico está baseado, principalmente, nos estudos de Montusiewicz, Milosz & Kesik (2018) e na análise de similares, principalmente conforme o Museum In a Box (2020). As etapas consistem em: (1) seleção da peça; (2) digitalização tridimensional; (3) seleção do sensor; (4) confecção do sistema; (5) adaptação do modelo virtual; (6) fabricação digital; (7) produção da tinta condutora; (8) acabamento da peça; (9) montagem do sistema; (10) desenvolvimento da audiodescrição; (11) teste piloto; e (12) consultoria (Figura 12). As últimas três fases do procedimento metodológico preveem a realização de uma análise dos resultados obtidos até então, bem como a otimização quando necessária. As etapas serão descritas nos subitens seguintes.

Figura 12 — Fluxograma com as etapas do procedimento metodológico.



Fonte: Autora (2021).

O estudo será realizado no Museu de Porto Alegre Joaquim José Felizardo, devido a sua importância social para a cidade. O Museu tem como missão promover a interação da sociedade com o patrimônio cultural da cidade, preservando e comunicando as suas histórias. Além disso, já são disponibilizadas visitas especializadas para pessoas com deficiência visual, incluindo audioguias, com leitura de textos e descrições imagéticas, catálogo em Braille e maquetes táteis, facilitando o contato com o público desta pesquisa.

A sede do museu (Figura 13) costumava ser a casa de chácara do comerciante Lopo Gonçalves Bastos, que foi construída entre 1845 e 1853 na antiga Rua da Margem, atual João Alfredo, no bairro Cidade Baixa.

Figura 13 — Fachada do Museu de Porto Alegre Joaquim José Felizardo.



Fonte: Prefeitura de Porto Alegre, 2019.

O acervo do Museu conta com cerca de 200 mil itens arqueológicos relacionados a diferentes grupos que ocuparam o território desde o período pré-colonial, reunidos em coleções de material cerâmico, lítico, ósseo, entre outros, além de aproximadamente 9 mil imagens da cidade de Porto Alegre. As coleções compreendem principalmente os séculos XIX e XX, com um conjunto de itens tridimensionais de cerca de 1300 objetos obtidos por doações particulares e ligadas à Prefeitura Municipal de Porto Alegre, desde acessórios pessoais, peças decorativas, instrumentos musicais e até mobiliário e indumentária (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2019).

Alguns trabalhos do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM) já foram conduzidos em parceria com o museu no âmbito da acessibilidade e preservação. Por exemplo, Rossi, Silva & Kindlein Júnior (2013) apresentaram algumas possibilidades de utilização de tecnologias 3D para difusão virtual de peças do museu. Cardoso e colaboradores (2013) exploraram técnicas de fabricação digital para obtenção de réplicas das peças, já visando a inclusão de pessoas com deficiência visual. Posteriormente, Silva & Caldovino (2015) delimitaram sua pesquisa na viabilização da impressão 3D, também para a produção de réplicas, mas com foco inicialmente na textura superficial dos protótipos e definição de parâmetros para otimização dos resultados da impressão.

3.1 SELEÇÃO DA PEÇA

Apoiando-se na literatura revisada, a seleção da peça será realizada em conjunto com a equipe do museu. Vale ressaltar que será dada prioridade a uma peça do acervo que atenda aos requisitos dimensionais. Ou seja, que usuário possa tocá-la com ambas as mãos simultaneamente, e não

contenha muita variação de textura e/ou detalhes muito pequenos, bem como deva ser totalmente tridimensional, como um objeto ou escultura.

Além disso, pretende-se preservar ao máximo a originalidade da peça, preservando o modelo tátil fiel às dimensões e detalhamentos da peça. Tais considerações são importantes, pois qualquer modificação no modelo tátil pode interferir na expressividade da obra (OOUCHI, YAMAZAWA & SECCHI, 2010; REICHINGER, MAIERHOFER & PURGATHOFER, 2011; CARFAGNI et al., 2012; REICHINGER et al. 2012; FURFERI et al., 2014; VOLPE et al., 2014). Nessa etapa também serão definidas as principais regiões da peça, que darão origem as audiodescrições a serem desenvolvidas, assim como, o mapeamento necessário para a confecção do sistema.

3.2 DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL

Para a posterior fabricação digital da réplica será necessário digitalizar tridimensionalmente a peça. Dentre as tecnologias disponibilizadas no LDSM, será utilizado o scanner 3D Artec Eva, que opera com a tecnologia de luz estruturada (luz branca). O equipamento possui precisão de até 0,1 mm e pode ser operado manualmente a uma distância de trabalho entre 40 centímetros e 1 metro do objeto. Além disso, a facilidade de transporte deste scanner é uma das vantagens de utilizá-lo. Assim, há possibilidade de realizar este procedimento nas dependências do museu.

No que diz respeito a digitalização com este equipamento, são capturadas até 15 imagens 3D por segundo, as quais são enviadas para o Software Artec Studio em tempo real. O Software gera uma pré-visualização do objeto que está sendo digitalizado e dispõe de algumas ferramentas para ajustes finos no alinhamento das imagens e para geração de uma malha (Artec Group, Luxemburgo).

Caso a malha gerada necessite de mais algum refinamento, este será realizado em um software especializado, o Geomagic Studio. Neste mesmo software, a malha final estará preparada para receber as adaptações para comportar o sistema.

3.3 SELEÇÃO DO SENSOR

Com base nos dados da revisão de literatura, os sensores utilizados nos sistemas podem ser classificados pelo tipo de leitura: aproximação; contato; e rastreamento das mãos (Quadro 3). Independentemente das categorias, serão realizadas análises preliminares a fim de selecionar um sensor para a confecção do sistema. A avaliação será restrita a aplicabilidade do mecanismo no sistema, assim como, em relação ao custo final do projeto.

Em relação aos estudos que são mostrados no Quadro 3, aqueles envolvidos na categoria de rastreamento das mãos foram os primeiros a serem descartados para a presente aplicação, pois a tecnologia utilizada para tal envolve o maior custo se comparado aos demais. Além disso, em todos os estudos em que são aplicadas (BUONAMICI et al., 2015; 2016; REICHINGER et al., 2016b; 2016c; 2018),

o tipo de modelo tátil é classificado como baixo-relevo (2.5D, conforme o esclarecimento no item 2.3.3 deste estudo).

Quadro 3 — Sensores utilizados nos modelos táteis com feedback audiodescritivo em museus.

CATEGORIAS	SENSORES	AUTORES
Aproximação	Etiqueta NFC	D’Agnano et al. (2015)
		Museum In a Box (2020)
Contato	Botões	Rossetti et al. (2018)
		Pletinckx (2007)
		Capurro, Nollet & Pletinckx (2015)
	Sensores capacitivos	Anagnostakis et al. (2016)
	Sensor de movimento	Pletinckx (2007)
Capurro, Nollet & Pletinckx (2015)		
Rastreamento das mãos	Kinect	Buonamici et al. (2015)
		Buonamici et al. (2016)
	Câmera RGB-D	Reichinger et al. (2016b)
		Reichinger et al. (2016c)
		Reichinger et al. (2018)

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

No que se refere à categoria de aproximação (Quadro 3) e seus respectivos estudos, há modelos táteis em 2.5D (D’AGNANO et al., 2015) e 3D (MUSEUM IN A BOX, 2020). Portanto, este não seria um fator desclassificatório. Adicionalmente, salienta-se que o uso de etiquetas NFC (*Near Field Communication*) tem um custo relativamente baixo, além de ser facilmente encontrado para venda. Entretanto, há necessidade do uso de algum dispositivo que realize a leitura, como o anel de D’Agnano e colaboradores (2015), e a “box” utilizada no produto Museum In a Box, desenvolvido por George Oats, em 2015. Contudo, como a intenção é desenvolver um modelo multisensorial, que integre a

audiodescrição e o modelo tátil, independentemente de qualquer outro dispositivo. Então, a categoria de aproximação também foi descartada.

Posto esse cenário, a categoria selecionada por eliminação é a de contato. Dentro desta categoria foram identificados, pelo menos, 3 tipos de sensores diferentes nos estudos revisados. Considerando esses três, o uso de um sensor de movimento foi descartado, visto que ele precisa ser combinado com outro tipo de sensor, pois não possibilita o reconhecimento da localização do ponto em que o usuário está tocando naquele exato momento. E além disso, dependendo da tecnologia utilizada pode se tornar bem caro. Logo, restam outros 2 tipos de sensores de toque, os botões e os sensores capacitivos.

Realizando uma rápida comparação entre eles, observa-se que os botões geram uma pequena saliência na superfície em que são acoplados. Em alguns casos, como no estudo de Pletinckx (2007) e Capurro, Nollet & Pletinckx (2015) isto pode ser interessante, já que permite que o usuário perceba em quais locais da peça há uma descrição detalhada. Entretanto, para o presente estudo este requisito não é interessante, uma vez que a intenção é não causar interferências na forma final da réplica, o que ocorreria devido ao uso de botões.

Isso posto, o sensor de toque que mais se adapta aos requisitos pretendidos é o capacitivo. Pois ele pode ficar totalmente oculto na superfície, sem interferir na forma. Sabendo disso, a busca agora será pela definição do tipo de sensor capacitivo que será utilizado.

3.4 CONFECÇÃO DO SISTEMA

Esta etapa consiste na programação da placa controladora (Arduino) para reprodução de áudio sob demanda. Para tanto, serão buscados os componentes compatíveis com o sensor previamente selecionado, com o objetivo de controlar a leitura e conexão entre os sensores táteis e o feedback de áudio, bem como, coordenar a ordem de disparos sonoros.

Em outras palavras, o sistema o qual este estudo prevê, precisa compreender qual a área do modelo tátil o usuário está tocando e disparar uma audiodescrição específica daquela região, com detalhes sobre a forma, cor, textura e outros, além de guiar o usuário para uma experiência completa. Nesse contexto, a programação precisa entender os movimentos do usuário e necessitará de um mapeamento prévio.

O código será desenvolvido em parceria com um colega de laboratório o qual tem maior experiência com a linguagem de programação, que será a “C++” com pequenas modificações, conforme a IDE (*Integrated development environment*) do Arduino exige.

3.5 ADAPTAÇÃO DO MODELO VIRTUAL

Conforme o sensor selecionado e a definição da localização dos mesmos na peça, serão necessárias adaptações ao modelo virtual. Tais adaptações são imprescindíveis, pois o modelo deve acondicionar todos os sensores, os fios e as placas controladoras internamente. Além disso, o modelo também precisa prever a localização do dispositivo responsável pelo feedback audiodescritivo.

Neste contexto, Carfagni e colaboradores (2012) ressaltam que a espessura da peça é uma questão importante, pois ela fornecerá a rigidez necessária e suporte tátil. Vale destacar que todas essas adaptações serão realizadas sem interferir na forma externa da peça. Adicionalmente, complementa-se que os furos previstos serão realizados após a impressão e montagem da peça, com o uso de ferramentas adequadas.

3.6 FABRICAÇÃO DIGITAL

A fabricação digital será contratada como um serviço terceirizado. Para tanto, o arquivo com a edição final da malha, e todas as suas adaptações, deverá ser convertido ao formato .stl e encaminhado para a empresa selecionada. Os cortes no modelo virtual, necessários para a adequação da peça ao volume de trabalho da impressora, ficará a cargo da empresa contratada para a prestação do serviço.

Dentre as tecnologias de fabricação digital disponibilizadas, será utilizado um equipamento com princípio da impressão de fabricação por filamento fundido (FFF), e o material disponível para extrusão será o PLA (ácido poli lático).

3.7 PRODUÇÃO DA TINTA CONDUTORA

Com a definição do sensor como capacitivo, buscaram-se possibilidades de uso deste tipo de sensor, logo, entende-se a tinta condutora como uma das alternativas para tal aplicação. Nesse sentido, verificou-se a disponibilidade no mercado desse produto, entretanto, não foi possível encontrar um fornecedor que disponibilizasse uma embalagem com custo-benefício interessante. A título de exemplo, um tubo com 7,5 ml foi encontrado a um valor de 5,25 reais, considerando que seria preciso ao menos 300 ml para a realização dos testes iniciais (210,00 reais ou 40 tubos).

Assim, buscou-se na literatura trabalhos que desenvolveram tintas condutoras para diversas aplicabilidades, com intenção de identificar componentes com melhor custo-benefício. Optou-se, então, por produzir uma tinta condutora para aplicação neste estudo como um sensor capacitivo de toque. Com base nos trabalhos de Pradela-Filho e colaboradores (2017) e Andreotti e colaboradores (2019), o ponto de partida para o desenvolvimento da tinta condutora foi a mistura manual entre esmalte incolor e pó de grafite. O desenvolvimento foi empírico e realizado de forma iterativa (as

etapas subsequentes dependem dos resultados obtidos), o detalhamento é apresentado no item 4.7 do capítulo de resultados e discussão.

3.8 ACABAMENTO DA PEÇA

Por conta do tamanho da peça em relação ao volume de trabalho da impressora 3D, é sabido que cortes foram necessários para fabricação digital. Logo, acabamentos finais se fazem indispensáveis, pois as peças precisarão ser unidas. Nesse sentido, destaca-se que todas as emendas devem se tornar imperceptíveis, visto que serão tocadas posteriormente. Para tanto, será utilizada a massa acrílica para preencher qualquer imperfeição. Contudo, vale destacar que serão preservados todos os aspectos da forma da peça, corrigindo apenas algum defeito que possa vir a ocorrer como resultado da impressão 3D.

Na sequência, será realizada a pintura como acabamento final da peça. Enfatiza-se que não serão utilizadas cores que correspondam ao modelo original, pois um dos produtos a ser aplicado é a tinta produzida (que funcionará como o sensor capacitivo de toque supracitado). Ou seja, as regiões definidas previamente se tornarão os sensores de toque por conta do uso da tinta condutora. Além disso, salienta-se que as áreas de sensores precisam ser isoladas entre si, necessitando de um acabamento com uma tinta não condutora também.

3.9 MONTAGEM DO SISTEMA

A montagem consiste na união do modelo tátil finalizado com a placa controladora e todos os componentes necessários para o funcionamento do sistema (partes impressas, Arduino, módulos, fiação, etc.). Para tanto, serão utilizadas ferramentas para realização dos furos, colas e fitas isolantes, garantindo a instalação completa e segura do sistema. Adicionalmente, uma base de madeira será adicionada ao modelo tátil final, a fim de garantir a fixação e segurança durante o manuseio pelas pessoas.

3.10 DESENVOLVIMENTO DA AUDIODESCRIÇÃO

O desenvolvimento dos textos para audiodescrição (AD), bem como a gravação das faixas de áudio, serão realizadas pela pesquisadora em conjunto com os orientadores, e terão base na revisão de literatura (roteiro e narração). Nesse sentido, retoma-se o posicionamento quanto à delimitação da AD nesse trabalho como focada no “mundo tangível”. E, portanto, seguirá as regras da AD de exploração (NEVES, 2011) de modo objetivo e sucinto, no intuito de complementar e orientar a exploração tátil.

É importante reforçar que este estudo pretende abordar a AD da peça de forma gradual, construindo níveis informativos, bem como um guia que direcione a exploração (WANG, LI & LI, 2012; REICHINGER et al., 2016b; SWAMINATHAN et al., 2016; ROSSETTI et al., 2018). Ainda, enfatiza-se que

não serão evitadas as referências aos fenômenos visuais, como a cor e perspectiva, pois segundo Neves (2011) e Kleege & Walli (2015), é importante criar reações emocionais e produzir entendimentos com um diálogo que participe do meio visual. Entretanto, destaca-se que é necessário filtrar e priorizar os aspectos mais importantes daquilo que estiver sendo apresentado. Tudo isso seguindo os princípios básicos de sensibilidade e bom senso (NEVES, 2011), sendo que a percepção total será possível através da combinação da AD com o toque.

3.11 TESTE PILOTO

No intuito de analisar e otimizar todo o sistema desenvolvido até então, antes da realização da validação junto ao consultor da AD, todo o modelo multissensorial deverá ser testado pela equipe de projeto. Para tanto, todos os caminhos de manejo previstos precisarão ser verificados, a fim de evitar problemas durante a experimentação. Da mesma forma, todas as faixas de áudio precisarão ser testadas, dado que é no teste piloto que será possível averiguar a fluidez com que o sistema funciona. Em outros termos, será preciso avaliar o tempo entre o toque na peça até o momento em que o áudio é disparado, para que não seja longo ao ponto de tornar a experiência cansativa, ou ainda, que possa vir a prejudicar a interpretação das descrições.

3.12 CONSULTORIA

A consultoria será o teste final de validação do sistema, e principalmente, avaliará a AD. Em vista disso, será contratada uma consultoria com um profissional da área de AD, que preferencialmente seja uma pessoa com deficiência visual. Conforme as considerações de Neves (2011) e Cardoso (2016), é aconselhável que a AD passe pela avaliação de um consultor para que efetivamente possa ser implementada posteriormente em qualquer equipamento.

Nessa etapa, ainda será possível verificar todo o funcionamento do sistema e sua fluidez, pois o profissional deverá passar por todo o mapeamento realizado previamente. Dessa forma, poderão ser realizadas novas análises por todo o sistema, a fim de efetuar as otimizações no funcionando, bem como, realizar qualquer alteração relativa a AD.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão descritos os resultados conforme as etapas do método utilizado, assim como serão realizadas algumas análises e considerações acerca dos resultados obtidos. As fases 10, 11 e 12 — desenvolvimento da audiodescrição; teste piloto; e consultoria, respectivamente — preveem otimizações, as quais serão descritas juntamente com as fases referidas.

4.1 SELEÇÃO DA PEÇA

Inicialmente, foi realizada uma reunião com a equipe do museu para definir algumas possibilidades de peças para estudo. Nesse sentido, alguns objetos do acervo foram avaliados quanto ao seu tamanho e número de detalhes, sendo definido o uso de algum rádio antigo ou uma prensa. Posteriormente, a equipe do museu disponibilizou uma lista com os objetos mais propensos para realização do estudo, dentre eles, quatro rádios foram pré-selecionados por seguirem os requisitos pretendidos (Figura 14).

Figura 14 — Seleção inicial das peças disponibilizadas pelo museu.



(A) Rádio 183, dimensões de 200 x 270 x 160 mm, ano desconhecido;
 (B) Rádio 184, dimensões de 190 x 260 x 120 mm, ano desconhecido
 (C) Rádio 188, dimensões de 270 x 440 x 250 mm, ano de 1938;
 (D) Rádio 189, dimensões de 260 x 420 x 190 mm, ano 1939;
 Fonte: Museu de Porto Alegre (2019).

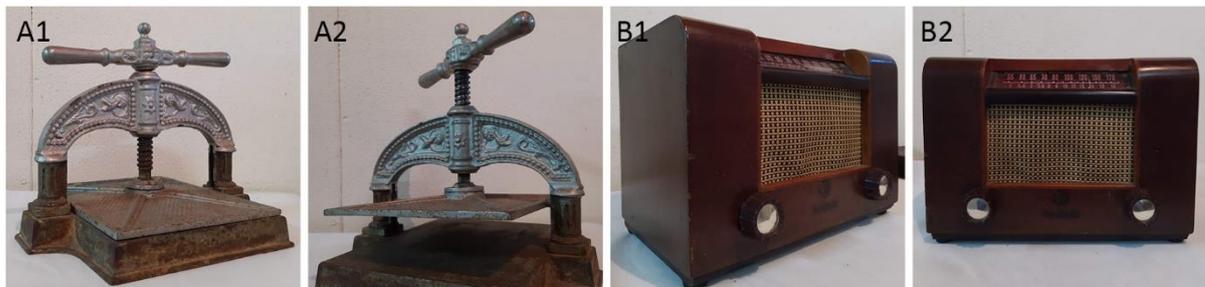
Comparando os modelos expostos na Figura 14, observa-se que os rádios A e B apresentam dimensões menores, apesar de serem de anos desconhecidos. Os modelos C e D possuem a especificação do ano, mas apresentam dimensões maiores. O modelo B tem um dos botões quebrado, que, apesar de poder ser reconstruído, dificulta o trabalho. Já o rádio C tem detalhes apenas no plano frontal, tornando o restante do corpo do rádio desinteressante para o toque.

Observando as principais diferenças entre os modelos A e D nota-se que o modelo A possui geometrias mais retas e um botão a menos em relação ao modelo D, apresentando um tamanho ligeiramente menor. Estas considerações tornam o rádio A mais interessante para aplicação neste estudo piloto devido à facilidade no processo de digitalização, fabricação digital e aplicação do sistema. A Figura 14 apresenta esses modelos, ressaltando que eles não foram removidos do local e nem manuseados.

É importante destacar que, em relação ao tamanho não haverá comprometimento da experiência, pois o modelo A comporta ambas as mãos do usuário e será reproduzido em escala real. No que diz respeito ao número de detalhes a serem descritos, a escolha do modelo A elimina apenas 1 dos botões em relação ao modelo D. Por sua vez, o terceiro botão é exatamente idêntico aos outros, no que diz respeito a forma. Logo, menos áreas serão descritas, tornando a posterior avaliação de desempenho do sistema mais ágil. Portanto, o rádio pré-selecionado será o A.

Assim, a escolha final ficou entre o rádio A e a prensa. Esses dois objetos foram visitados na reserva técnica do museu para observação de mais detalhes (Figura 15). Realizando uma comparação entre ambos, um é totalmente o contrário do outro. Ou seja, o rádio possui um volume maior que possibilita o usuário manuseá-lo com as duas mãos com mais facilidade, mas possui menor riqueza de detalhes. Possui múltiplos materiais, sendo que a diferença de texturas não será representada com a impressão 3D. Então, devido à forma geral e número de detalhes será relativamente mais fácil de (re)produzir.

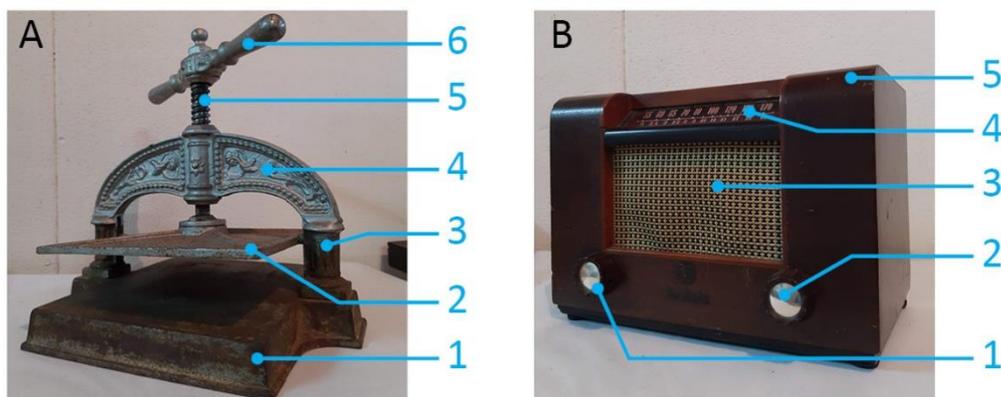
Figura 15 — Peças pré-selecionadas para uso neste estudo.



(A1) Prensa fechada;
 (A2) Prensa aberta;
 (B1) Rádio em perspectiva;
 (B2) Rádio em vista frontal;
 Fonte: Autora (2021).

Em contrapartida, a prensa possui apenas materiais metálicos, os quais possuem características de tato similares, logo, a variação de textura não será tão importante na peça impressa. E, ainda que com maior variação da forma e detalhes, ela parece ser mais difícil de manusear com ambas as mãos, bem como de (re)produzir. Adicionalmente, salienta-se que a proposta desta peça prevê a movimentação através da rosca central, o que envolveria outras variáveis relativas à experimentação, e que poderiam prejudicar a posterior avaliação de desempenho do sistema (Figura 16).

Figura 16 — Peças escolhidas e suas respectivas regiões para audiodescrição.



(A) Prensa: 1) Base; 2) Prensa superior; 3) Guia; 4) Suporte; 5) Rosca; 6) Alavanca.

(B) Rádio: 1) Botão 1; 2) Botão 2; 3) Alto-falante; 4) Visor das estações; 5) Corpo do rádio.

Fonte: Autora (2021).

Ainda, observando as possíveis regiões a serem descritas, em cada uma das peças, destaca-se a necessidade de mais sensores no caso da prensa, aproximando-se das considerações realizadas para a pré-seleção do rádio. As regiões da prensa também necessitariam de audiodescrições mais longas devido a riqueza de detalhes, o que por um lado poderia ser interessante para a experiência dos usuários. Mas, a questão é que o presente estudo pretende avaliar o sistema e seu funcionamento, com o intuito de utilizar uma peça como base para a aplicação do sistema, evitando qualquer outra variável, como a reprodução de diferentes texturas e audiodescrições mais lúdicas. Posto esse cenário, considerando as questões supracitadas, a peça que melhor servirá para a aplicação pretendida é o rádio (Figura 17).

Realizando uma breve pesquisa, com base nos dados encontrados em etiquetas na parte posterior e inferior do rádio, foi possível saber um pouco mais sobre o histórico desta peça, auxiliando para a posterior montagem do roteiro de AD (Figura 18). Assim sendo, identificou-se a marca RCA (*Radio Corporation of America*) como fabricante do rádio. A marca existiu entre os anos de 1919 a 1986. Buscando como referência o modelo e número do rádio foi possível data-lo aos anos de 1945 e 1946. E conforme os dados encontrados, o modelo do rádio é o E105 (RC594-C).

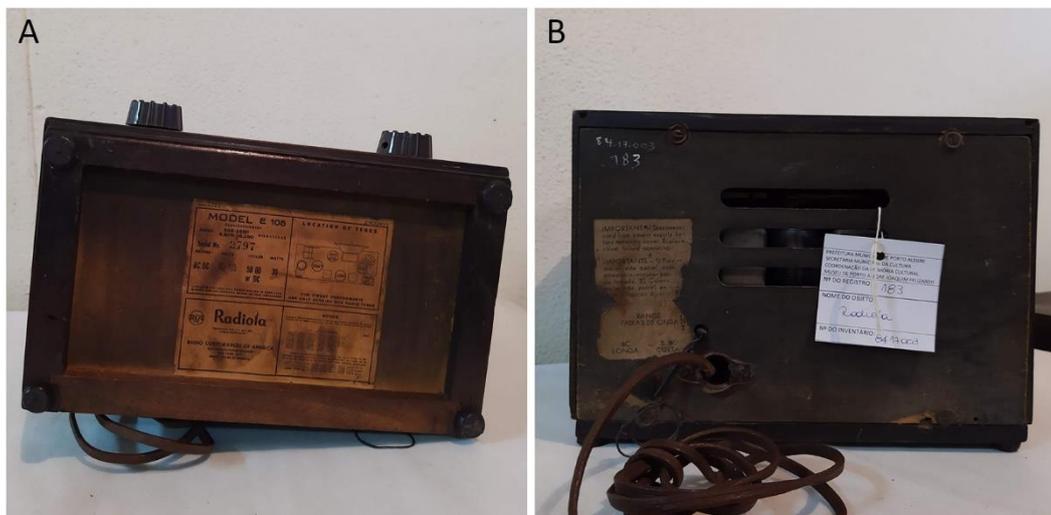
Figura 17 — Rádio selecionado.



Fonte: Autora (2021).

A RCA foi pioneira no ramo das telecomunicações, e por conta de sua popularidade durante a era de ouro do rádio, a qualidade de fabricação, inovação e estilo, os rádios da RCA são uma das marcas mais procuradas até hoje por colecionadores (RCA, 2021). Há produtos comercializados até hoje, porém mais avançados tecnologicamente.

Figura 18 — Parte inferior e posterior do rádio selecionado.



(A) Parte inferior do rádio;
 (B) Parte posterior do rádio;
 Fonte: Autora (2021).

No que diz respeito às regiões mais interessantes para a realização da audiodescrição do rádio, as áreas pré-definidas foram mantidas. Dessa forma, serão necessários, pelo menos, 5 sensores independentes, mas que serão parte de um sistema integrado. São eles os botões 1 e 2; a caixa de som; o visor das estações do rádio; e o corpo do rádio (Figura 16).

É importante frisar que a parte posterior da peça fora desconsiderada como uma área de interesse para realização da AD. Conseqüentemente ela não será considerada com um sensor, nem mesmo fará parte da descrição do corpo do rádio. Ainda, se esclarece que, com exceção das áreas que

se tornarão os sensores supracitados (Figura 16), o corpo do rádio comporta as laterais direita e esquerda da peça, além do topo.

4.2 DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL

A digitalização tridimensional foi realizada nas dependências da reserva técnica do Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo. Durante a digitalização e, para que a peça pudesse ser posicionada em diferentes ângulos, foi necessário o uso de luvas, a fim de garantir que o rádio não fosse danificado. E como já estabelecido, foi utilizado o scanner 3D Artec Eva, que opera com a tecnologia de luz estruturada (luz branca) (Figura 19).

Figura 19 — Processo de digitalização.

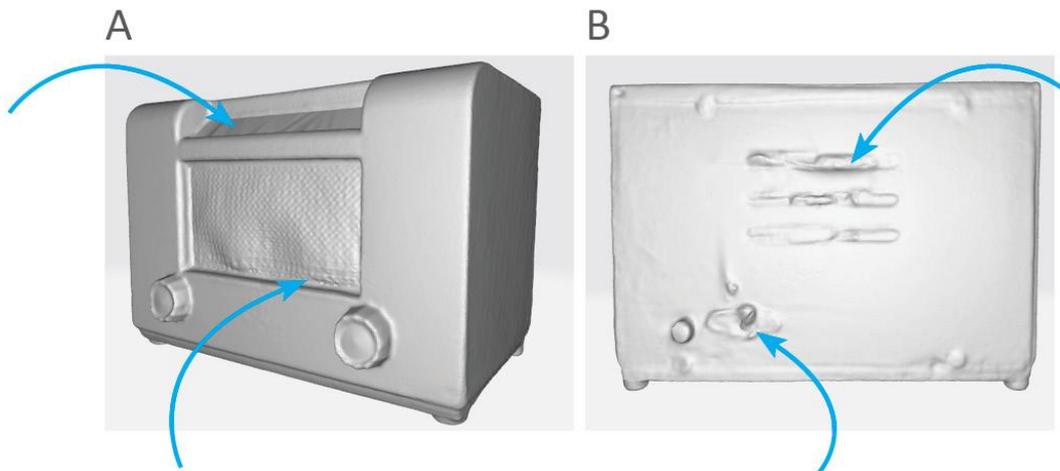


Fonte: Autora (2021).

A malha de triângulos obtida, após o processamento dos dados, precisou ser refinada utilizando o Software Geomagic Studio. Este procedimento foi necessário por conta de alguns fatores causais durante a digitalização, como: a mudança na posição do tecido, o qual reveste a caixa de som, visto que o mesmo cedeu com o passar dos anos; o reflexo causado pelo vidro no visor das estações do rádio; a presença de uma etiqueta pendurada na parte posterior da peça, a qual não podia ser removida; e a presença do fio que ligava o rádio. Estas questões contribuíram para a obtenção de geometrias diferentes, causando uma má interpretação durante o alinhamento dessas realizado pelo próprio software. Mesmo realizando esse procedimento de forma manual, houve defeitos na geração da malha. Estes defeitos podem ser visualizados na Figura 20, a qual aponta os erros supracitados.

Na Figura 20 (A) é possível verificar ondulações na região do vidro, onde o mesmo precisaria ser completamente liso, assim como é possível identificar alguns defeitos no tecido da caixa de som. Ainda, salienta-se que os botões ficaram “grudados” no corpo do rádio, diferentemente do que ocorre em realidade, em que há um pequeno espaçamento entre eles. Já na Figura 20 (B) são evidentes os erros nos locais onde deveria haver furos, tanto para ventilação, como para saída dos fios. Outro ponto que precisa ser evidenciado são os cantos de todo o corpo do rádio, o qual acabou ficando com as bordas suavizadas devido ao processo de geração da malha. Adicionalmente, cita-se que a tampa posterior da peça não estava totalmente presa ao rádio, bem como, em um dos lados a madeira encontrava-se um pouco inchada (talvez por conta da umidade). Isso também teve influência nos dados adquiridos.

Figura 20 — Defeitos na malha triangulada após refinamentos.



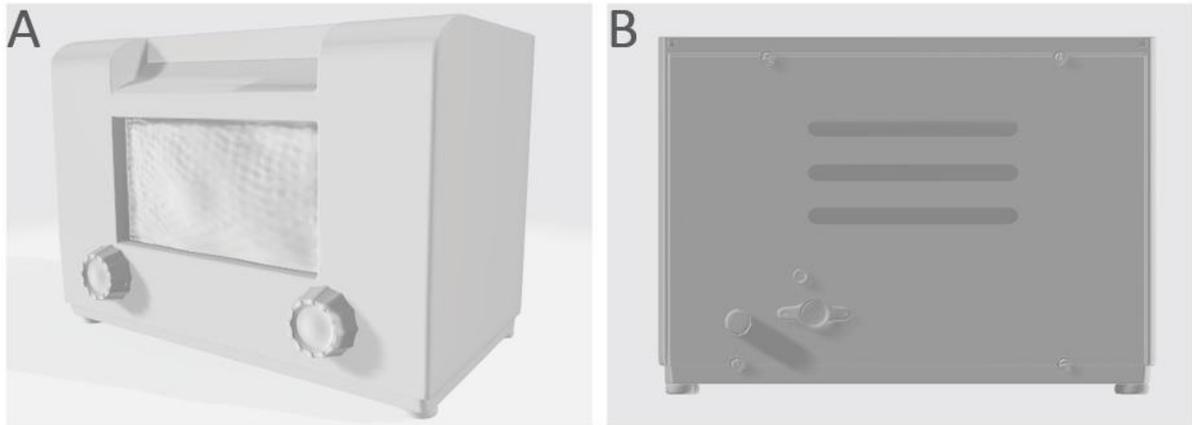
(A) Principais defeitos na vista frontal do rádio;
 (B) Principais defeitos na vista posterior do rádio.
 Fonte: Autora (2021).

Posto esse cenário, foi dado o início aos ajustes necessários. Para tanto, optou-se pela modelagem tridimensional do rádio, a qual foi baseada na digitalização 3D, bem como em fotos registradas de variados ângulos da peça. A modelagem foi terceirizada e realizada através do Software Autodesk Maya. Esta foi gerada a partir de um paralelepípedo com as dimensões do modelo digitalizado. A partir disso, foram realizadas subdivisões na malha, extrusões e manipulações dos vértices para aproximar ao máximo o modelo da peça. As partes menores, assim como os furos foram feitos com sólidos separados, os quais posteriormente foram soldados ou excluídos da malha através de operações booleanas¹⁴. A Figura 21 mostra imagens da nova malha em perspectiva e em vista ortográfica posterior.

¹⁴ Operações booleanas: realiza interseção, subtração ou combinação (adição) de duas malhas (AUTODESK, 2021).

Na Figura 21 (A) é possível perceber que as bordas, anteriormente arredondadas, tornaram-se praticamente retas, apenas com a suavização necessária. O visor das estações tornou-se uma superfície lisa e reta, como o vidro deveria ser. Os botões receberam uma melhor definição nos detalhes e foram desgrudados do corpo do rádio. Ainda, o tecido que reveste a caixa de som também foi refinado, melhorando a definição e se aproximando ainda mais da trama do tecido original.

Figura 21 — Modelagem tridimensional do rádio.



(A) Perspectiva da malha gerada a partir da modelagem tridimensional.

(B) Vista posterior da modelagem tridimensional.

Fonte: Autora (2021).

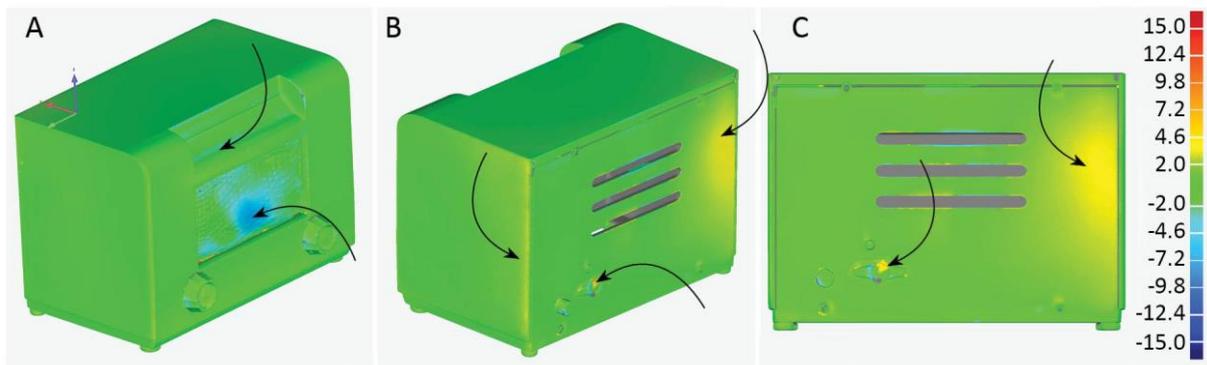
Contudo, a fim de validar a modelagem desenvolvida, foi realizada a sobreposição das malhas no software Geomagic Qualify. A intenção foi averiguar o quão fiel ficou a modelagem em relação à digitalização tridimensional original. Para tanto, a peça digitalizada foi considerada como referência e a modelada como teste (Figura 22).

No que diz respeito à comparação 3D, ela precisa ser determinada conforme o maior desvio dimensional. Ou seja, onde a diferença dimensional entre a digitalização e a modelagem forem maiores. A variação das cores no espectro mostra diferentes saturações entre o vermelho e o azul. Quando o desvio dimensional ultrapassa o valor limite estabelecido, as cores atingem sua saturação máxima. Logo, as regiões em que são observados os tons de verde-claros são áreas em que há maior aproximação dimensional entre as peças. As zonas em que o verde-claro se mistura com o amarelo, bem como, com o azul-claro, são zonas consideradas médias em relação às demais.

O espectro estabelecido varia entre 2 e 15 mm. Em outros termos, significa dizer que há desvios dimensionais máximos de cerca de 1,5 cm. Esta é uma variação considerável, que poderia indicar uma grande mudança na forma da peça, entretanto, visto que foram realizadas modificações intencionais na geometria, é necessário fazer uma avaliação qualitativa da superfície. As zonas de saturação máxima foram encontradas entre os botões e o corpo do rádio, bem como, em alguns pequenos detalhes no tecido da caixa de som. Ou seja, a comparação mostra que os principais desvios

dimensionais estão ligados exatamente com os defeitos da malha digitalizada, os quais foram corrigidos por não alcançarem a forma original do rádio. Nesse sentido, a Figura 22 aponta para uma predominância de áreas em verde-claro, indicando que praticamente toda a superfície apresenta desvios dimensionais abaixo de 2 mm.

Figura 22 — Sobreposição das malhas no Geomagic Qualify.



- (A) Desvio dimensional negativo nas áreas em tons de azul apontadas com as setas;
 (B) Desvio dimensional positivo nas áreas em tons de amarelo apontadas com as setas;
 (C) Desvio dimensional positivo e negativo apontados com as setas;
 Fonte: Autora (2021).

Ainda, além do espectro de cores visual que é obtido através da comparação entre as malhas, outros dados são fornecidos e devem ser analisados. Dentre eles, há uma estimativa do valor *RMS* — que trata da raiz do valor quadrático médio, ou valor eficaz, do inglês *root mean square* — sendo um dos dados mais importantes nesta comparação. Neste caso, o valor *RMS* é de 1,1 mm, indicando que, no que se relaciona às dimensões da peça, a modelagem ficou bem aproximada.

4.3 SELEÇÃO DO SENSOR

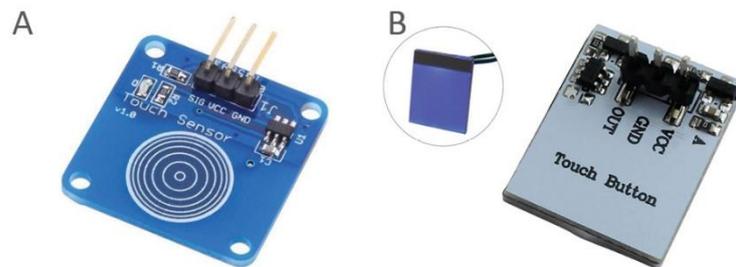
Essencialmente, um sensor capacitivo tem a função principal de detectar sinais através da sua variação de capacitância durante o toque. Em outras palavras, significa dizer que é possível identificar o toque no momento em que os dedos entram no campo elétrico do sensor e o mesmo altera sua capacitância. Ou seja, o circuito entende que há uma interferência e envia um sinal indicando o toque (HELERBROCK, 2021).

Diante disso, é importante destacar que a capacitância é afetada por fatores geométricos dos capacitores, como a distância e a área (HELERBROCK, 2021). Logo, foram consideradas duas opções de tipos de sensores capacitivos de toque: os sensores fabricados, ou a montagem de um sensor através de um circuito próprio.

Analisando as possibilidades disponíveis no mercado, percebeu-se que haveria uma limitação de tamanho do sensor. Esta questão, por sua vez, envolveria duas alternativas de aplicações. A primeira delas seria o uso de apenas 5 sensores em pontos estratégicos da peça, considerando que o

usuário poderia não os encontrar durante a exploração, visto que o tamanho aproximado de cada um é de até 2,4 cm. E, a segunda alternativa, seria o uso de vários sensores espalhados pela peça, considerando que estivessem dispostos na mesma região a ser descrita, para que o usuário tivesse mais chances de encontrá-los (Figura 23).

Figura 23 — Modelos de sensores fabricados disponíveis para compra.

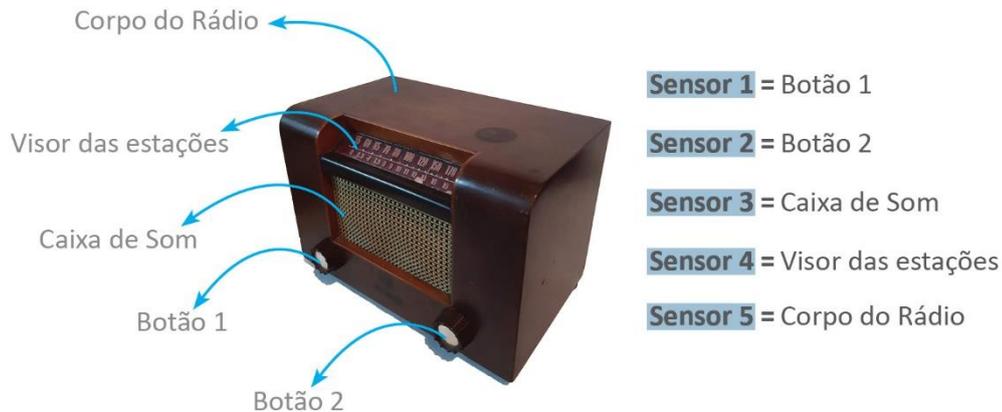


(A) Sensor Touch capacitivo TTP223B; Dimensões: 24 x 24 x 7,2 mm;
 (B) Sensor de toque capacitivo Httm com Led azul; Dimensões: 20 x 16 x 3 mm.
 Fonte: Filipeflop (2021a), e Usina Info (2021).

A primeira opção foi descartada, pois poderia o usuário não ouvir a audiodescrição de algumas regiões, caso não encontrasse todos os sensores. Já a segunda opção até foi considerada inicialmente, entretanto, o uso de uma maior quantidade de componentes afetaria o custo final do projeto e inviabilizaria o uso. Além disso, há um limite de portas digitais que a placa do Arduino Uno consegue receber, e o uso de mais sensores acarretaria a necessidade de uma placa com mais portas digitais, o que também afetaria os custos do projeto. Posto esse cenário, a montagem de um sensor capacitivo de toque, através de um circuito próprio, tornou-se mais viável, tanto relacionando-se aos custos finais do projeto, quanto em relação ao limite de tamanho, o qual não seria mais um problema. As regiões podem ser observadas na Figura 24.

Nesse sentido, partindo do princípio de que um sensor fabricado necessita que uma pessoa encoste nele, ou chegue perto o suficiente para que ele possa detectar o toque, seria necessário o uso de vários fios, ou então uma chapa metálica com um circuito próprio. Mas, para que tal formato funcione, as paredes impressas da réplica precisariam ser muito finas e todo o interior do rádio deveria ser revestido com algum material metálico. Entretanto, isto se tornaria muito complexo, pois esse material metálico necessitaria ser conformado seguindo toda a curvatura da geometria interna do rádio. Isso posto, considerou-se que o ideal seria que toda a superfície da peça fosse condutora. E isso poderia ser resolvido de duas maneiras diferentes: utilizar um material condutor para produzir a peça, como por exemplo, um filamento condutor; ou aplicar um material condutor sobre a superfície impressa, como por exemplo, uma tinta condutora.

Figura 24 — Regiões do rádio.



Fonte: Autora (2021).

Para tanto, a proposta inicial fora o uso de um filamento condutor para impressão 3D, o qual foi adquirido no mercado nacional e testado. O produto era composto por ABS comum com carga de grafite. Mas, realizando-se testes preliminares, não foi possível detectar condutividade elétrica nele. Buscando na literatura estudos que já tivessem realizado alguma aplicação com material condutor para impressão, mesmo que em outros setores, foi possível identificar uma marca internacional de filamento composto por PLA com carga de grafeno. Entretanto, haveria um alto custo de importação, que juntamente ao tempo para execução de novos ensaios e calibração da impressora não se tornou mais uma alternativa.

Portanto, a opção de aplicar um material condutor sobre a superfície impressa da peça tornou-se a opção mais viável. Como exemplo deste tipo de material, cita-se uma tinta condutora. Por sua vez, esta pode ser encontrada disponível no mercado, utilizando diversos tipos de materiais condutores (prata, grafite, grafeno, etc.), ou produzida com base em estudos já realizados, utilizando pó de grafite, por exemplo. Assim sendo, a descrição da tinta condutora utilizada, como sensor capacitivo de toque, pode ser encontrada no item 4.7 do capítulo de resultados e discussões neste trabalho.

4.4 CONFECÇÃO DO SISTEMA

Em suma, o sistema deve entender em qual região o usuário está tocando e reproduzir uma audiodescrição desta área em específico. Além disso, a proposta é torná-lo independente, ou seja, o modelo multissensorial precisa garantir que o usuário consiga realizar a experiência completa, sem a ajuda de um mediador. Para tanto, o sistema deve prever as ações do usuário. Logo, um mapeamento das possibilidades de manuseio se faz necessário para que o sistema se torne inteligente.

Para a confecção do sistema, conforme já exposto, foram definidas 5 regiões importantes para serem descritas por áudio e consequentemente foi definido o uso de cinco sensores. Adicionalmente,

foi estabelecido que o projeto deve priorizar o baixo custo, para que seja acessível à implementação futura em museus. E, como o tipo de sensor é o capacitivo de toque, mais especificamente a tinta condutora, é necessário esclarecer algumas funcionalidades para que seja possível compreender o comportamento do sistema desenvolvido.

Neste trabalho, o Arduino Uno foi selecionado como o microcontrolador, principalmente pela facilidade de acesso e baixo custo envolvido. Considerando que a tinta atua como um sensor capacitivo, esclarece-se que, no que se refere a um capacitor, este é um componente que armazena cargas elétricas ao ser ligado a uma fonte de tensão. Quando há um aumento da capacitância, há um aumento da capacidade de armazenamento das cargas elétricas (ARDUINO, 2021a; MUNDO DA ELÉTRICA, 2021). Em outros termos, quando a tinta é tocada, a capacitância no circuito aumenta, influenciando no tempo que este capacitor leva para estar carregado. Isso se repete de maneiras diferentes para cada um dos sensores no sistema (áreas diferentes). No circuito proposto, a variação de tensão é de 0 até 5 V para quando o capacitor estiver carregado, independentemente de ter sido tocado ou não. O que muda efetivamente é o tempo que isso leva para ocorrer, já que o toque aumenta a capacidade de armazenamento do capacitor. Assim sendo, o Arduino realiza a leitura de quanto tempo esse capacitor leva para chegar aos 5 V quando é tocado. É importante destacar que esta leitura ocorre em cerca de 100 microssegundos, ou 10 mil leituras por segundo, então esse período de tempo é muito rápido (ARDUINO, 2021a).

Sendo assim, se esclarece que essa medida de tempo precisa ser calibrada para que cada sensor seja acionado. Portanto, é preciso saber quanto tempo leva para o sensor chegar aos 5 V sem ter sido tocado. Sabendo deste valor é possível estabelecer um parâmetro de acionamento. Entretanto, para que efetivamente o Arduino realize um comando, o sistema precisa passar por todo o código e entender qual a ordem deve ser dada, assim que ele é acionado. O áudio somente será disparado após esse período de tempo que o sistema leva para passar pelo código. Neste projeto, estima-se um tempo de cerca de 1 segundo para que o áudio se inicie.

No que tange ao comando que o Arduino irá realizar, este seguirá a lógica de programação, conforme o mapeamento estabelecido. Nesse sentido, foi necessário determinar como as audiodescrições seriam organizadas, ponderando as colocações feitas no item 3.10, do capítulo de materiais e métodos.

Isso posto, partindo do princípio de que, antes de qualquer informação sobre a peça, o usuário precisaria compreender como funciona o acionamento dos sensores, se estabeleceu que haveria um áudio introdutório para as instruções. Além disso, nesse mesmo áudio o usuário precisaria entender do que se trata a peça, para que em seguida pudesse conhecer todas as regiões mais importantes. Na sequência, viriam os áudios específicos relacionados a cada região.

Para tal, como a proposta de abordagem é gradual, dando espaço para a construção das informações pelo usuário, a AD de cada região se dividiu em três partes. A primeira parte seria direcionada a uma breve descrição do que se trata tal região (faixa 1); a segunda parte se trata de uma explicação mais detalhada daquela área (faixa 2); e a terceira parte se trata de um guia para que o usuário siga para o próximo sensor (faixa 3).

Ademais, considera-se que cada AD precisa ser ouvida individualmente. Como, este estudo pretende proporcionar ao usuário o toque no modelo com ambas as mãos, isso acarreta a necessidade de criar um áudio que indique o toque simultâneo em dois sensores. Assim, esclarecendo à pessoa com deficiência visual que ela poderá escolher uma das regiões que estão sendo tocadas para efetivamente ouvir a AD daquela área. Adicionalmente, com o intuito de indicar que a experiência chegou ao fim, e que o usuário passou por todas as regiões que continham AD, um áudio de finalização foi incluído. Por fim, analisou-se que o usuário poderia querer continuar explorando livremente a peça. Então, uma música da época do rádio foi adicionada como última faixa de áudio.

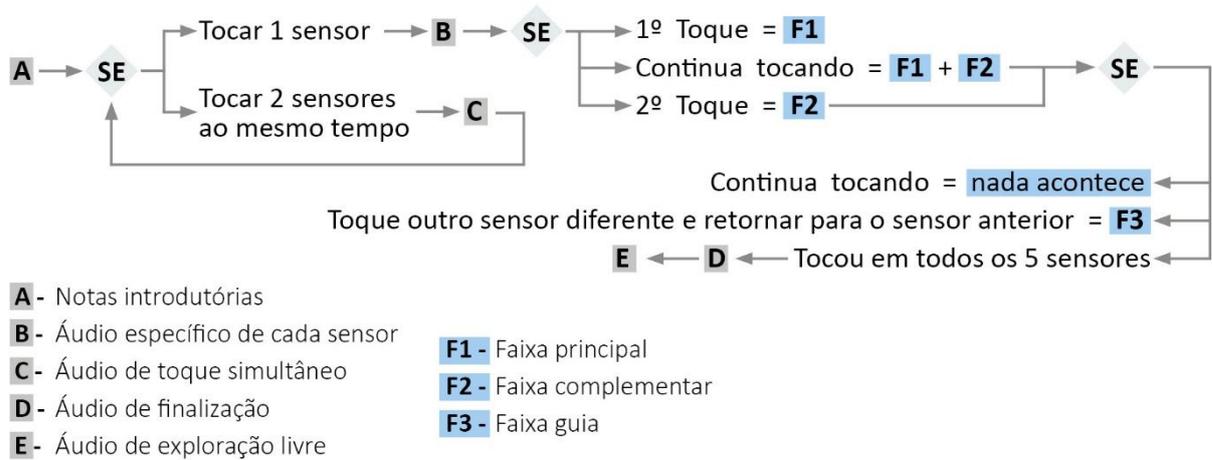
Portanto, para o completo funcionamento da programação são necessários cinco áudios gerais: **(A)** áudio introdutório, ou notas introdutórias; **(B)** áudio específico de cada sensor **(C)** áudio de toque simultâneo; **(D)** áudio de finalização; e **(E)** áudio de exploração livre. A explicação mais detalhada sobre como são as audiodescrições desenvolvidas são descritas no item 4.10 deste estudo.

À vista disso, se esclarece que a proposta de manejo é que o usuário possa realizar a exploração rápida, contendo as informações essenciais de cada região, em um primeiro toque na peça. Em seguida, se o usuário voltar em um sensor que já conheceu, ou permanecer tocando o mesmo sensor em que está ouvindo a descrição rápida, ela irá ouvir a AD que detalha tal região (faixa 2), contabilizando um segundo toque. Da mesma forma, isso se repete para a faixa 3, a qual será reproduzida a partir do terceiro toque na peça. Esta lógica de programação pode ser observada na Figura 25.

Isso significa que a programação sempre verifica qual faixa já foi disparada, aguarda ela ser reproduzida completamente, e então, caso tenha outro acionamento no mesmo sensor, é dado o comando para o disparo da próxima faixa. Isso ocorre por conta de um “*delay*¹⁵” adicionado a programação, o qual tem o mesmo tempo de duração da faixa de áudio. Ou seja, o programa fica parado durante a reprodução de cada áudio. Adicionalmente, esclarece-se que as três faixas que compõem os áudios específicos de cada região não serão disparadas juntas, pois a faixa 3 somente será disparada se houver um terceiro toque no mesmo local, considerando um intervalo entre sensores.

¹⁵ *Delay*: significa que o código, ou uma parte dele é congelada por um certo período de tempo. Isso se dá em milissegundos (FILIPEFLOP, 2021b).

Figura 25 — Lógica preliminar da programação do sistema.



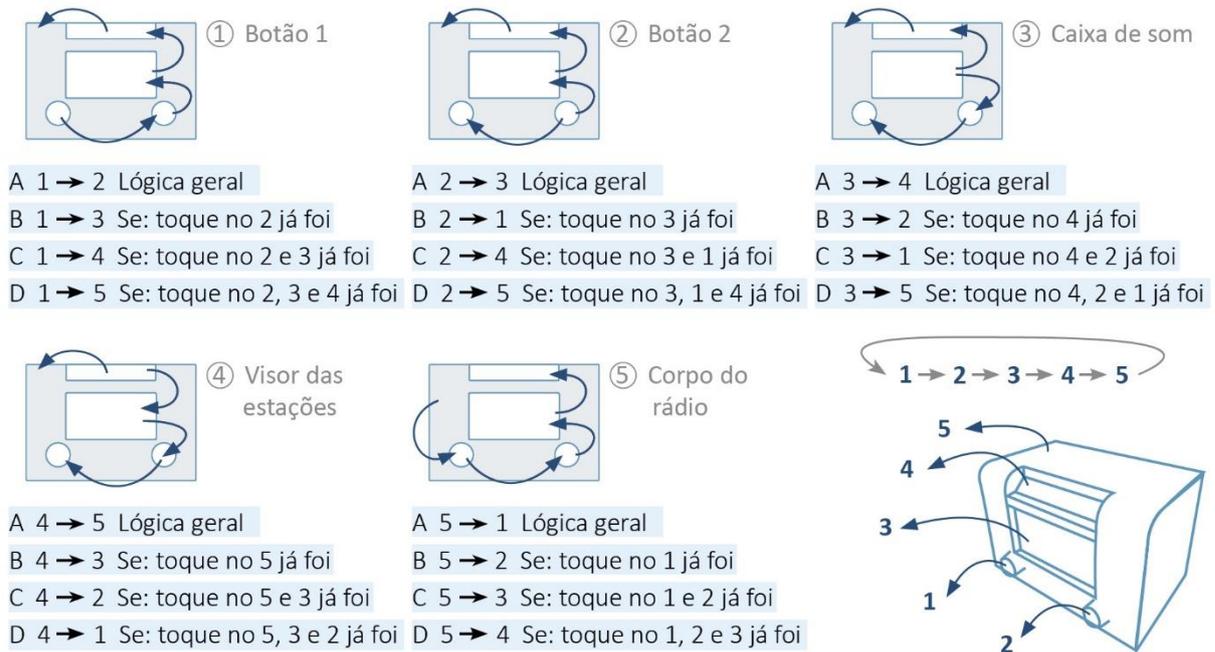
Fonte: Autora (2021).

Posto esse cenário, por conta do grande número de possibilidades de exploração, a lógica evidencia a necessidade do mapeamento dos guias para realização da programação, já que a intenção é prever as ações do usuário e torná-lo independente. Outrossim, isso foi essencial visto que se trata de uma peça tridimensional, com 5 sensores diferentes, e que conseqüentemente, envolvem pelo menos 4 variáveis cada um.

Desse modo, o mapeamento das possibilidades considera uma lógica de sequência entre os sensores, tendo em conta a sua proximidade. Ou seja, a lógica geral segue do sensor 1 até o 5, analisando aqueles que já foram conhecidos. Em vista disso, foram determinados 4 guias diferentes para cada sensor, que se repetem em todos eles. A exemplo disso cita-se que: (A) Se o usuário está conhecendo o sensor 1, a lógica a enviará para o sensor 2; (B) Se o usuário já conhece o sensor 2, a lógica a enviará para o sensor 3; (C) Se o usuário já conhece os sensores 2 e 3, a lógica a enviará para o sensor 4; e (D) Se o usuário já conhece os sensores 2, 3 e 4, a lógica a enviará para o sensor 5.

Essa ideia de que a programação sempre oriente o usuário para o sensor seguinte acompanha, em geral, o exemplo supracitado. Entretanto, em alguns sensores, ao invés da lógica geral, o guia precisa orientá-la para a região que estiver mais próxima do local que está sendo tocado. Nesse sentido, cita-se como exemplo o sensor 4, o qual trata do visor das estações: Se o usuário está conhecendo o sensor 4, o guia a enviará para o sensor 5; mas, se ela já conhece o sensor 5, o guia a enviará para o sensor 3; se ela já conhece os sensores 5 e 3, o guia a enviará para o sensor 2; e se ela já conhece os sensores 5, 3 e 2, o guia a enviará para o sensor 1. A Figura 26 mostra a lógica geral e a de proximidade descrita para cada uma das regiões da peça. Assim, sempre que houver um terceiro toque, o sistema considera as 4 possibilidades de orientação para o referido sensor.

Figura 26 — Lógica geral e de proximidade.



Fonte: Autora (2021).

Ademais, destaca-se que o áudio de finalização e o de exploração livre somente serão disparados quando o usuário vivenciar todas as faixas principais e complementares de cada um dos sensores. E, não depende das faixas guias, já que a intenção é fazer com que o usuário passe por todas as áreas da peça, não necessitando de repetição das informações.

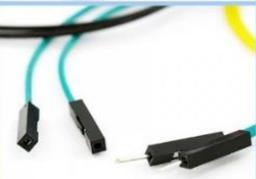
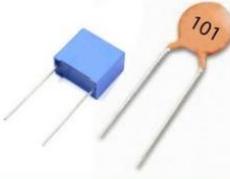
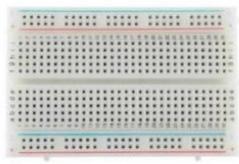
Para que tudo isso funcione corretamente são necessários um módulo MP3 que organize as mídias gravadas em um cartão de memória; um cabo P3 que possibilita o uso de fones de ouvido ou caixas de som; um conector P3 para conectar a caixa de som ao módulo MP3 através do cabo P3; resistores e capacitores para limitarem a passagem de corrente elétrica; *jumpers*, ou fios elétricos para instalação elétrica; uma *proto board* (placa de prototipagem elétrica) para realizar as conexões entre os componentes; e uma fonte para ligar o sistema. O Quadro 4 mostra todos os componentes utilizados e suas principais funções no sistema.

Para cada sensor utilizado são necessários um resistor e um capacitor. No que se refere aos resistores, eles são responsáveis pela redução do fluxo de cargas elétricas que são enviadas para o circuito. Junto a ele, o capacitor armazena as cargas elétricas (funcionando da mesma forma que a tinta), a fim de melhorar a estabilidade da leitura dos sinais. Ambos são utilizados para cada pino do Arduino que se conecta a um dos sensores (receptor de sinal). O resistor utilizado é de 100 K Ω e o capacitor é cerâmico de 100 pF.

Em relação ao Módulo MP3 DFPlayer mini, ele também requer o uso de um capacitor e um resistor. Por sua vez, foi utilizado um capacitor de poliéster de 1 nF combinado a um resistor de 1 K Ω , também para melhorar a estabilidade e repetibilidade do sinal. Já a reprodução das audiodescrições,

que será realizada através de uma caixa de som, precisa de um conector P3 e um cabo P3 para ser conectada ao módulo MP3. Destaca-se que diversos modelos de caixas de som foram testados para que a saída de som tivesse um bom volume, no presente projeto foi selecionado o modelo Pocket da marca Xtrax®. Uma recomendação que pode ser feita aqui é o uso de caixas de som amplificadas.

Quadro 4 — Componentes utilizados no sistema desenvolvido.

IMAGEM	FUNÇÃO NO CIRCUITO	IMAGEM	FUNÇÃO NO CIRCUITO
	ARDUINO UNO: é o microcontrolador no sistema.		CABO P3 e CAIXA DE SOM: reproduz as faixas de áudios.
	TINTA CONDUTORA: sensor capacitivo de toque.		CONECTOR P3: para conectar a caixa de som no sistema.
	RESISTOR (1 K e 100 K Ω): reduz o fluxo de cargas enviadas para o circuito.		JUMPERS: ou fios elétricos para realizar a instalação elétrica.
	CAPACITOR CERÂMICO (100pF) e CAPACITOR POLIÉSTER (1nF): armazena cargas elétricas.		PROTOBOARD: para realizar as conexões entre todos os componentes do sistema.
	MÓDULO MP3 DF-PLAYER MINI: armazena as faixas de áudios.		FONTE (12 V): para ligar o sistema.

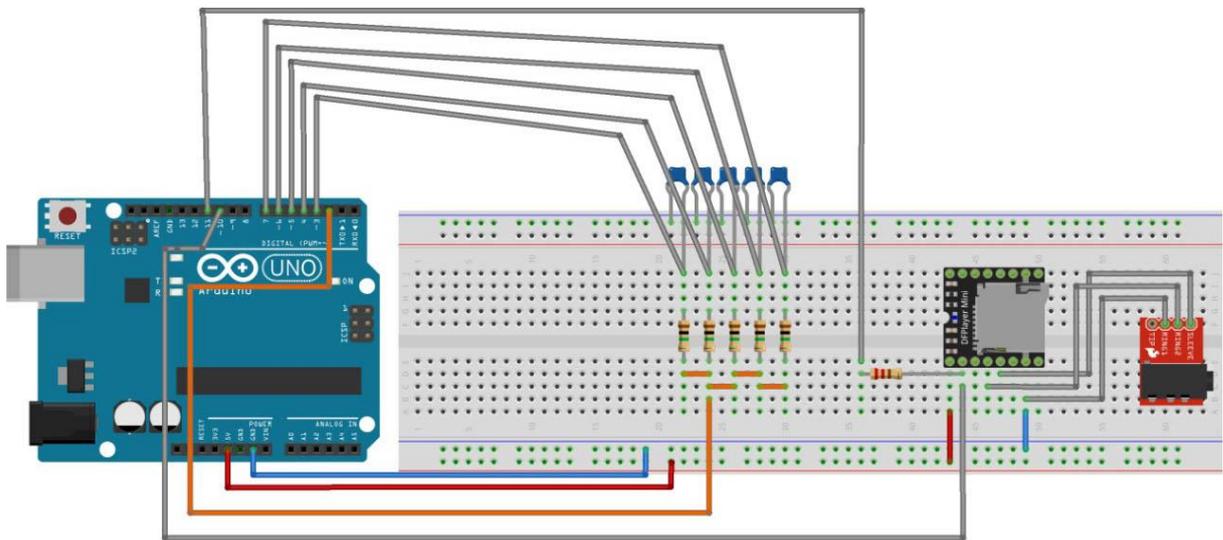
Fonte: Autora (2021).

Todos os componentes serão conectados ao Arduino através do circuito montado na *proto-board*. As portas utilizadas serão as digitais: os pinos de 3 a 7 serão usados para os sensores, e o 2 para alimentação dos resistores de cada um dos sensores; o pino 10 (TX- *transmitter*) e o 11 (RX- *receiver*) serão usados como recurso de comunicação serial para o Módulo MP3; todos os demais componentes serão conectados ao pino de aterramento GND (*ground* ou terra) no Arduino; bem como, todos os demais componentes serão conectados ao pino de 5 V da própria placa controladora.

É válido mencionar que, somente quando tudo estiver ajustado será possível utilizar a fonte de alimentação para ligar o circuito.

No que se refere à conexão entre o Módulo MP3 e a caixa de som, a ligação será dada através da conexão entre o conector P3 e o Módulo MP3, que por sua vez, se conecta ao Arduino. Todo o circuito é mostrado na **Figura 27** — *Circuito montado para o sistema multissensorial*. Figura 27 onde as ligações entre os componentes podem ser observadas. É válido destacar que, no circuito mostrado na Figura 27 o toque é realizado nas hastes dos resistores, simulando o sensor de toque na peça. Posteriormente, um fio será conectado em cada um dos sensores de toque (tinta), juntamente com o respectivo resistor e capacitor de cada pino.

Figura 27 — Circuito montado para o sistema multissensorial.



Fonte: gerado no software Fritzing (2021).

Para que o modelo multissensorial funcione conforme desejado é necessário que o Arduino seja programado. Para tanto, a programação foi realizada no IDE — *Integrated development enviroment* — do Arduino, que é o software utilizado para escrever os programas. A técnica utilizada foi a lógica combinacional, que é uma linguagem de programação simples utilizada na linguagem C++. Ainda, foi necessário o uso de algumas bibliotecas para facilitar o desenvolvimento do programa, tornando o código mais simples e organizado.

No que se refere às bibliotecas utilizadas e suas funcionalidades, foram incluídas a “*CapacitiveSensor.h*”, para realizar a leitura dos sensores; a “*Arduino.h*”, para os comandos do Arduino; a “*SoftwareSerial.h*”, para manipular as portas seriais do Arduino; e a “*DRobotDFPlayerMini.h*”, para o uso do MP3. Em seguida, foi imprescindível definir alguns parâmetros constantes no projeto, pois, como se tratam de 5 sensores, existem questões que se repetem em todos eles. Dessa forma, definiu-se que cada sensor seria tratado como um objeto, e que seriam utilizadas

cinco chaves (sensores). Isso significa que cada sensor será rodado em paralelo, somente mudando o nome. Adicionalmente, determinou-se um pino de alimentação comum para todas as chaves.

O passo seguinte foi a definição de variáveis que controlam todo o sistema. Em outras palavras, os dados que podem ser alterados na programação: (1) a primeira variável definida foi para controlar quais foram os sensores que já foram tocados. Basicamente ela indica verdadeiro ou falso, e mais tarde dará origem a uma tabela verdade para quais os sensores já foram acionados; (2) a segunda foi para controlar a transição entre as faixas de áudio em um mesmo sensor; (3) a terceira variável trata da leitura do tempo em que a tensão leva para aumentar de 0 para 5 V; (4) em seguida, definiu-se uma variável que controla a sensibilidade de acionamento; (5) uma variável que controla o toque simultâneo; (6) uma variável que determina que quando o áudio simultâneo é acionado nenhum outro pode ser disparado; e (7) uma variável que controla as ações dos áudios, ou seja, quais serão acionados. E, por fim, são definidos em quais pinos do Arduino estão os sensores referidos.

Ainda, é preciso configurar o MP3 para que ele funcione corretamente quando o sistema rodar cada objeto ao mesmo tempo (quando o sistema entrar em *loop*). Para tal, a comunicação entre o módulo e o computador deve ser iniciada, e algumas verificações são necessárias antes de o sistema entrar em *loop* (realizar os comandos infinitamente). A primeira questão verifica se o módulo está respondendo e se o cartão SD, que armazena as faixas de áudio, foi encontrado. E, a segunda questão, define as configurações de volume e equalização de som.

Quando o Arduino é alimentado pelo computador é possível verificar o valor das leituras através da visualização destes valores no “*serial monitor*” no IDE do Arduino. Para que isso ocorra, foram criadas funções que realizem a impressão dos valores das leituras em tela, dando um nome para cada uma delas. Entretanto, salienta-se que isso não ocorre quando o Arduino é alimentado pela fonte externa, pois não há tela para ele se comunicar. É válido ressaltar que isto não interrompe o funcionamento do sistema, apenas auxilia na compreensão dos valores para calibragem, bem como, para o desenvolvimento do código em si.

Quando todas as verificações e definições são feitas, se inicia o áudio com as notas introdutórias, para que o usuário compreenda o funcionamento do modelo multissensorial. Como esta função só ocorre uma vez enquanto o sistema é rodado, ela se encontra antes do início do *loop* de todos os sensores. Nesse sentido, é válido esclarecer que o sistema foi programado para que inicie sempre que o Arduino é conectado à fonte e ligado na tomada, ou então no computador. Portanto, para ser usado novamente é preciso desconectá-lo e reconectá-lo à energia. Esta questão pode ser facilmente modificada posteriormente, por exemplo, com a inserção de um botão.

No programa desenvolvido, é indicada uma pasta de áudio diferente, no módulo MP3, conforme o sensor configurado. E, será criada uma tabela verdade para determinar qual será o guia disparado dependendo dos sensores tocados, seguindo a lógica geral e de proximidade já explicada.

Ademais, salienta-se que é preciso saber quanto tempo cada faixa de áudio tem, pois é preciso adicionar suas durações como um “*delay*” no código, já que somente assim é possível ouvi-los por inteiro, sem interrupções.

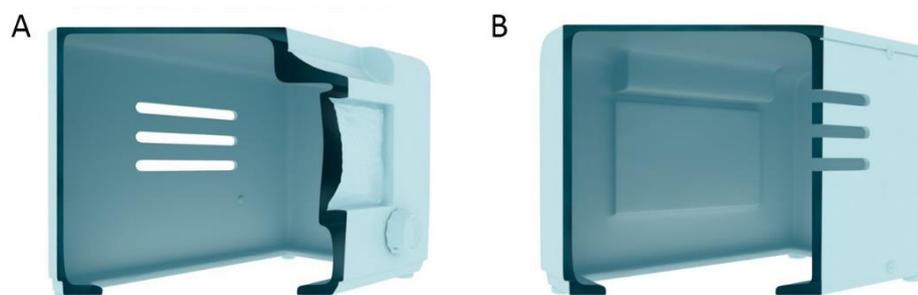
O fim do *loop* é dado por uma função que verifica se todos os sensores já foram tocados. Assim, o programa gera o comando para o disparo do áudio de finalização, seguido pelo áudio de exploração livre. E desta maneira finaliza-se a experiência. O programa completo para o sistema descrito pode ser visto no APÊNDICE C.

4.5 ADAPTAÇÃO DO MODELO VIRTUAL

Durante a modelagem 3D do rádio, as adaptações foram realizadas, principalmente, no que diz respeito à estrutura da peça, já que é necessário que o interior do modelo seja totalmente oco (vazio) para que ele possa comportar as placas controladoras internamente. Logo, as “paredes” devem ser robustas (espessas) o suficiente para estruturarem a peça, considerando o material de produção.

Diante disso, foi criado um paralelepípedo interno, com dimensões próximas a parte externa do rádio, para que a espessura entre as paredes ficasse próxima de 1 cm. Em seguida as duas modelagens foram unidas em uma única peça. Na Figura 28 é possível observar a espessura referida, onde, entre as paredes, será utilizado preenchimento. É válido salientar que se priorizou o maior aproveitamento da parte interna, deixando as “paredes” retas, e evitando-se muitos desníveis.

Figura 28 — Cortes internos da modelagem do rádio.



(A) Corte em perspectiva frontal do rádio;
 (B) Corte em perspectiva posterior do rádio;
 Fonte: Autora (2021).

Como o sensor utilizado será baseado em uma tinta condutora, aplicada somente na superfície do modelo já pronto, bem como, todos os furos serão realizados após a união das partes impressas, não foi preciso prever nenhum local de inserção de componentes no modelo virtual.

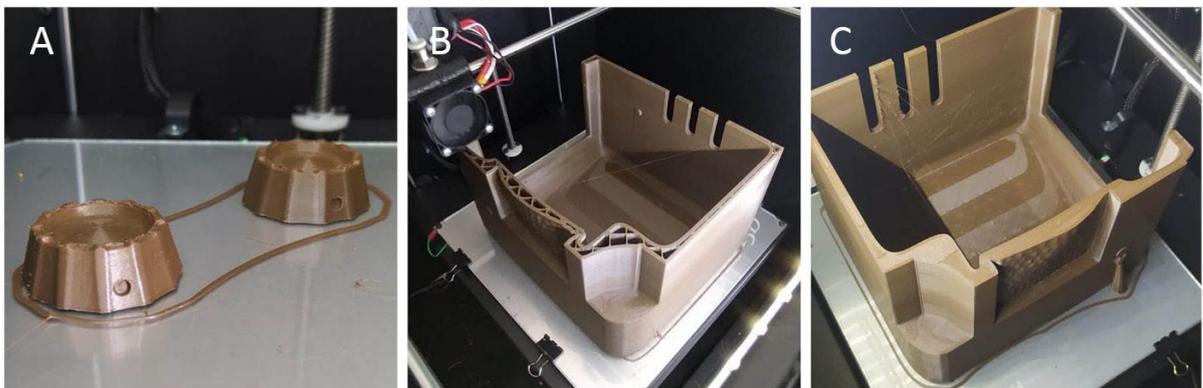
4.6 FABRICAÇÃO DIGITAL

A impressora 3D utilizada foi uma GtMax3D, modelo ProCore A2v2, com área de trabalho de 220 x 220 x 240 mm. Todo o fatiamento do modelo para adequação à área de impressão foi definido

pela empresa contratada, a My Create: Soluções criativas. O filamento utilizado foi o PLA EasyFill, da marca 3D Fila, com 1,75 mm de diâmetro.

Pelo fato de ter sido um serviço contratado não houve acompanhamento da fabricação. Logo, todos os parâmetros foram estabelecidos pela empresa. Entretanto, foram fornecidas imagens de todo o processo de impressão do modelo, assim como, foram disponibilizados os parâmetros utilizados. Na Figura 29 são mostradas algumas fotos do processo de impressão 3D e como foi realizada. Na imagem (B) é possível observar o preenchimento utilizado para dar a rigidez necessária para as paredes do rádio.

Figura 29 — Fotos durante a impressão 3D do modelo.



- (A) Impressão 3D dos botões do rádio separados;
 (B) Processo de impressão do lado direito do rádio sendo realizado;
 (C) Fim do processo de impressão de um dos lados do rádio;
 Fonte: fotos fornecidas pela empresa My Create: soluções criativas (2021).

Conforme os dados fornecidos, o preenchimento entre as paredes foi em grade, de 10% e a altura das camadas de 0,3 mm. A temperatura do bico foi de 210 °C, e a temperatura da mesa de 50 °C. No que se refere a velocidade de impressão, foi de 180 mm/s (milímetros por segundo). Na Tabela 1 são apresentados os principais parâmetros utilizados na impressão do modelo.

Tabela 1 — Principais parâmetros utilizados na impressão 3D do modelo.

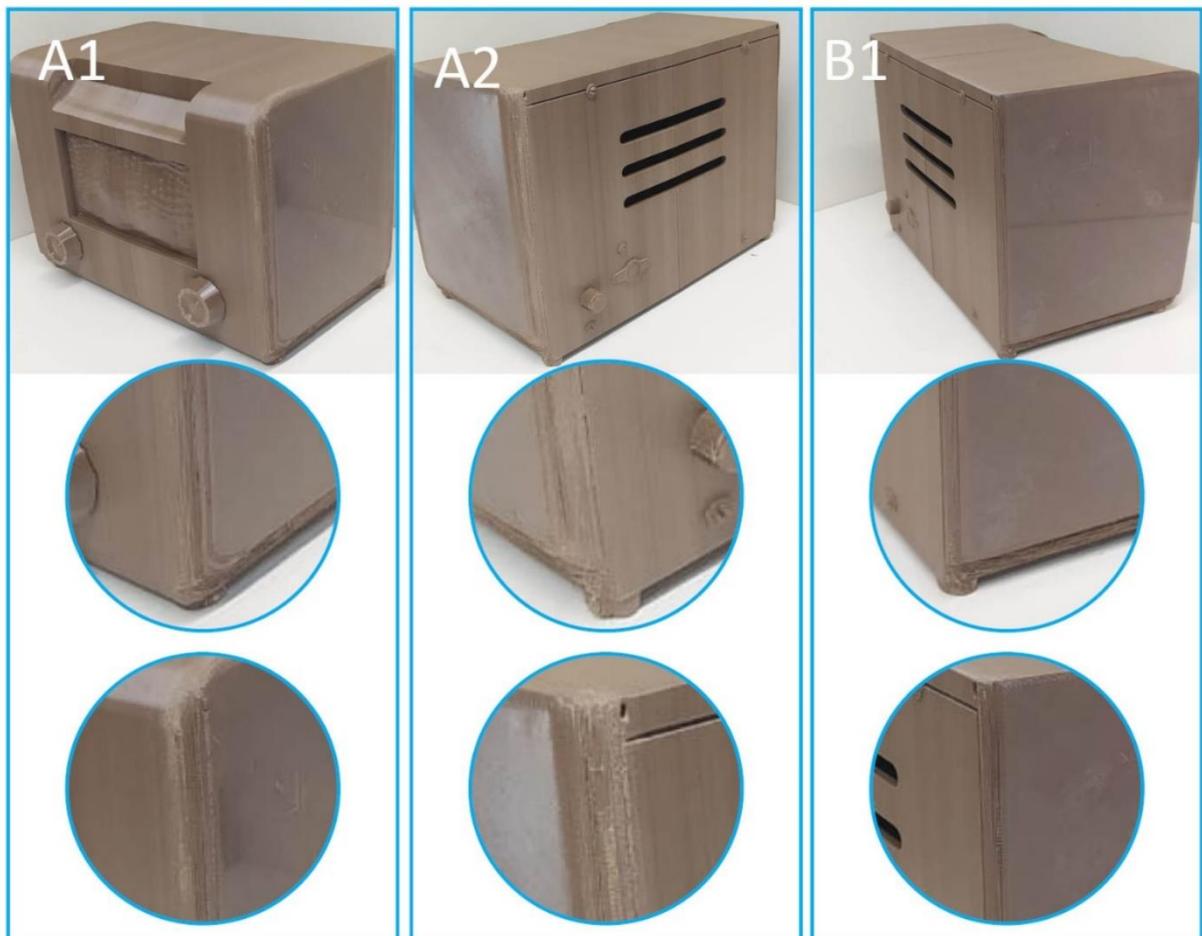
Temperatura do bico	210 °C
Temperatura da mesa	50 °C
Velocidade da impressão	180 mm/s
Preenchimento	10%
Altura de camada	0,3 mm
Bico da impressora	0,4 mm

Fonte: Autora (2021).

Para compatibilidade com a área de impressão fora realizado um corte transversal na peça, e apenas houve a separação dos botões (Figura 29). A primeira parte impressa apresentou alguns problemas durante o processo, que só foram percebidos na peça já finalizada. Os efeitos causados, segundo as considerações da empresa contratada, foram por conta da falta do uso de suportes. O resultado foi um mau acabamento nas bordas laterais. Diante disso, a segunda parte da peça recebeu alguns suportes a mais, demonstrando um melhor acabamento superficial. Entretanto, ainda apresentou defeitos. Cada um dos lados levou cerca de 25 horas para ser impresso.

Na Figura 30 são mostrados os defeitos mais críticos que ocorreram, principalmente, nas bordas laterais do modelo impresso. O lado direito (A1 e A2), tanto em vista frontal, quanto em vista posterior, demonstrou defeitos bastante consideráveis, realmente modificando a forma da peça. As bordas ficaram arredondadas, assim como os cantos, o que pode ser observado nos detalhes ampliados das imagens A1 e A2.

Figura 30 — Defeitos na superfície do modelo impresso.



(A1) Borda frontal direita com defeitos críticos pós impressão e detalhes aproximados;
(A2) Borda posterior direita com defeitos críticos pós impressão e detalhes aproximados;
(B1) Borda posterior esquerda pós impressão 3D e detalhes dos defeitos mais críticos.
Fonte: Autora (2021).

Já o lado esquerdo apresentou menos defeitos, restringindo-se, principalmente, a borda da vista posterior (B1). Entretanto, na região dos pés do rádio, em vista lateral, houve muitas camadas soltas, possivelmente ocasionadas pela falta de suportes. Da mesma forma, sucedeu-se um mau acabamento superficial, causando irregularidades no acabamento.

Posto esse cenário, é preciso salientar que o ideal, em um caso como esse, é refazer toda a impressão 3D novamente. Pois, somente assim será evitada qualquer interferência na forma da peça, que vá além das consequências dos processos de aquisição, modelagem e fabricação utilizados. Entretanto, por conta do valor pago, e do tempo decorrido, a opção mais viável se tornou a realização do preenchimento dos defeitos manualmente, utilizando massa acrílica.

Nesse sentido, é válido destacar que, para o presente estudo, não há uma discussão referente a legitimidade da forma final obtida, visto que a intenção é a validação do sistema para aplicações futuras. Mas, se ressalta que este estudo pretende preservar ao máximo todos os detalhes na réplica impressa, e os acabamentos finais são totalmente baseados na peça original, os quais serão melhor descritos no item 4.8 do capítulo de resultados e discussão deste trabalho.

4.7 PRODUÇÃO DA TINTA CONDUTORA

Conforme anteriormente descrito, o ponto de partida para o desenvolvimento da tinta condutora foi a mistura manual entre esmalte incolor e pó de grafite. Inicialmente a proporção utilizada foi próxima a 50% em massa de cada componente para ensaios de viabilidade de uso, e testando duas marcas diferentes de esmaltes. A intenção fora medir a resistência elétrica do material (em Ω) a fim de verificar o menor valor possível, o que indica uma maior condutividade.

Para tanto, da mesma forma que Pradela-Filho e colaboradores (2017), a mistura foi espalhada sobre o substrato de papel, utilizando um pincel, em diferentes camadas. Assim que secas, todas as amostras foram analisadas, utilizando um multímetro digital para medir suas resistências. Logo, verificou-se a possibilidade de aplicação como um sensor capacitivo de toque, visto que foram encontradas resistências baixas (mensuráveis com multímetro). Entretanto, foi observado uma instabilidade durante a medição. Nesse caso, havia muitas explicações deduzidas com base nos estudos revisados, como por exemplo a questão da mistura não estar homogênea, ou necessitar de outros componentes, demonstrando que seria preciso realizar outros testes.

Em seguida, também foi experimentado um verniz a base d'água como aglutinante da mistura. Porém, no teste sobre resistência elétrica o valor foi muito mais alto se comparado com as misturas anteriores, considerando que em certos pontos as ponteiros do multímetro não realizavam a medição, mesmo alterando para a escala máxima de resistência. O fato combinou com as colocações de Htwe & Mariatti (2021), em relação a necessidade de uso de surfactantes para a dispersão das partículas

quando há presença de água na mistura. Nesse sentido, os produtos à base d'água foram eliminados como possibilidades, pois a busca, aqui, era por uma composição mais simplificada.

As amostras preliminares da tinta foram testadas no sistema multissensorial desenvolvido neste estudo para analisar a promessa de uso, constatando sua viabilidade, mesmo com a pequena instabilidade encontrada. Posto esse cenário, o passo seguinte seria a realização de mais testes, com outras proporções, e a produção da tinta efetivamente em laboratório. Mas, na busca pelo esmalte de unha em maior quantidade, a pesquisadora deparou-se com um valor muito alto para a compra deste aglutinante, visto que para o uso das marcas avaliadas, a única possibilidade era a compra de vários frascos pequenos, inviabilizando seu uso.

Com base nisso, o estudo de Pradela-Filho e colaboradores (2020) acarretou outra possibilidade, o uso de vernizes. Nesse trabalho, os autores utilizaram um verniz de vidro (verniz alquídico) da marca Acrilex®, nas mesmas proporções utilizadas por eles no trabalho anterior. Todavia, ambos os estudos eram destinados para a produção de eletrodos descartáveis. Então, observou-se a necessidade de testar outras proporções para a mistura.

Os testes foram realizados combinando o verniz geral (verniz acrílico) da marca Acrilex® com pó de grafite, da marca Dipil® e Dimec®, assim como, foi testado o verniz marítimo (Poliulack), da marca Sayerlack® também. Para a realização das misturas, todos os componentes foram previamente pesados em uma balança analítica, da marca Quimis®, disponível no Laboratório de Design e Seleção de Materiais – LDSM. Todas as misturas foram realizadas em temperatura de 19 °C e umidade do ar de 60%, conforme o termo-higrômetro do laboratório.

Inicialmente as amostras de tintas foram misturadas em uma proporção de 50% em massa de cada material (50:50%), utilizando as duas versões de vernizes. Ambas demonstraram alta viscosidade, indicando uma dificuldade de espalhar o produto com o uso de um pincel, o que levou ao teste de outras proporções. Então, foram realizadas outras misturas, com as proporções de 43:57%; 33:67%; e 20:80% de pó de grafite e verniz, respectivamente (Tabela 2 e Figura 31).

Tabela 2 — Proporções (em massa) dos componentes utilizados nas amostras testadas.

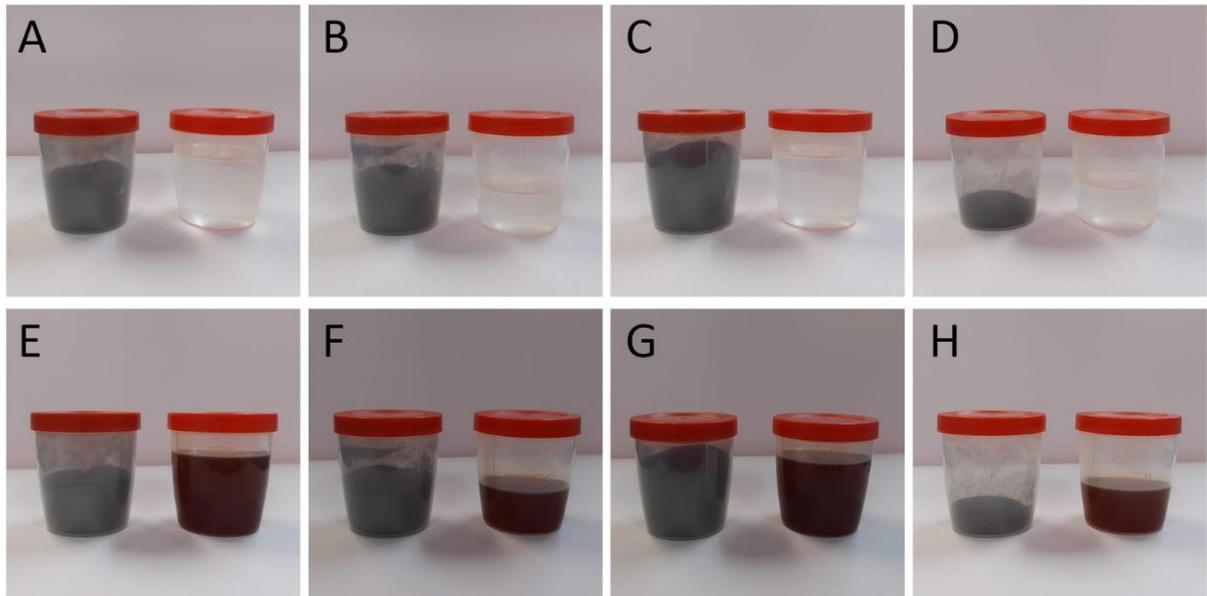
AMOSTRA	GRAFITE	VERNIZ ACRÍLICO	AMOSTRA	GRAFITE	VERNIZ MARÍTIMO
A	33%	67%	E	33%	67%
B	50%	50%	F	50%	50%
C	43%	57%	G	43%	57%
D	20%	80%	H	20%	80%

Fonte: Autora (2021).

Nos estudos de Andreotti e colaboradores (2019), a mistura possuía um pouco a mais de grafite em comparação ao esmalte, usando a proporção de 52:48%. Porém, a mistura foi realizada em uma centrífuga assimétrica dupla, por três vezes, durante 3 minutos cada, a fim de garantir a

homogeneização total, bem como, foi espalhada utilizando uma espátula no substrato. Já no caso do presente estudo, todas as misturas foram realizadas manualmente, necessitando de uma quantidade um pouco maior de verniz, além do que há a necessidade de espalhar a tinta com um pincel.

Figura 31 — Proporções (em massa) de cada componente das misturas realizadas.



- (A) Pó de grafite e verniz Acrilex na proporção 33:67%.
 (B) Pó de grafite e verniz Acrilex na proporção 50:50%.
 (C) Pó de grafite e verniz Acrilex na proporção 43:57%.
 (D) Pó de grafite e verniz Acrilex na proporção 20:80%.
 (E) Pó de grafite e verniz Sayerlack na proporção 33:67%.
 (F) Pó de grafite e verniz Sayerlack na proporção 50:50%.
 (G) Pó de grafite e verniz Sayerlack na proporção 43:57%.
 (H) Pó de grafite e verniz Sayerlack na proporção 20:80%.
 Fonte: Autora (2021).

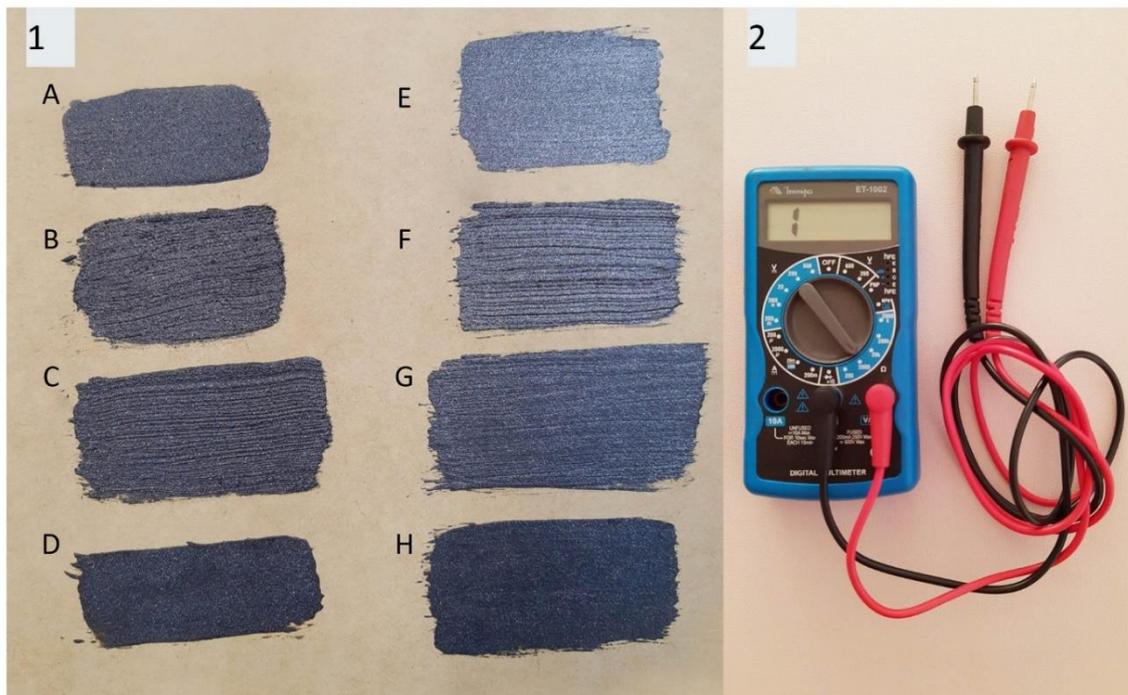
As misturas foram realizadas com o auxílio de uma espátula metálica e armazenadas individualmente em potes fechados e etiquetados. Antes do uso de cada uma, todas elas foram agitadas novamente para tornar a mistura mais homogênea. Com a realização desse procedimento, uma camada de tinta com aproximadamente 50 mm de comprimento foi passada em um substrato de compensado de madeira, com o auxílio de um pincel (Figura 32), e assim que secas, fora realizada as medições de resistência (Ω) para comparação entre elas. Para tanto, as ponteiros do multímetro foram posicionadas nas duas extremidades de cada amostra de tinta. E, a fim de facilitar a comparação entre os dados aferidos, todas as medições foram realizadas na escala de resistência 20 k Ω do multímetro, por 5 vezes em cada ponto, visto que foi percebida uma pequena variação das medidas, chegando a um valor médio da resistência elétrica para cada mistura de tinta (Tabela 3). Para a realização das medições foi utilizado um multímetro digital, modelo ET-1002, da marca Minipa do Brasil® (Figura 32).

Tabela 3 — Média das resistências medidas nas amostras iniciais.

AMOSTRA	PROPORÇÃO	RESISTÊNCIA (20 kΩ)	AMOSTRA	PROPORÇÃO	RESISTÊNCIA (20 kΩ)
A	33:67%	0,56	E	33:67%	0,95
B	50:50%	0,34	F	50:50%	0,74
C	43:57%	0,6	G	43:57%	0,79
D	20:80%	não marcou	H	20:80%	não marcou

Fonte: Autora (2021).

No que se relaciona aos dados obtidos, as amostras que demonstraram as menores resistências foram selecionadas para uma próxima etapa de testes. São elas, as amostras A e B (33:67% e 50:50% de pó de grafite e verniz, respectivamente), ficando abaixo de 1 kΩ. Ou seja, apresentaram baixa resistência e uma ótima condutividade para o que se pretende aplicar. As amostras com a mesma porcentagem dos componentes, porém utilizando o verniz da marca Sayerlack®, também foram menores que 1 kΩ, no entanto, apresentam uma resistência ligeiramente maior que aquelas com verniz da marca Acrilex® que foi, então, o escolhido para a continuidade do estudo.

Figura 32 — Amostras iniciais das tintas prontas para a realização dos testes.

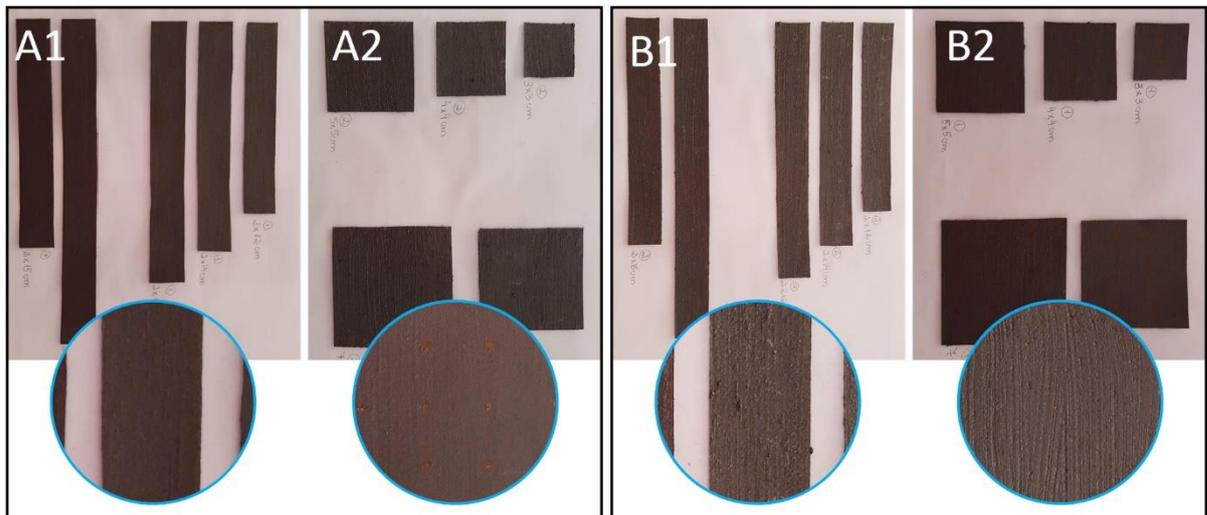
- (1A) Pó de grafite e verniz Acrilex na proporção 33:67%.
 (1B) Pó de grafite e verniz Acrilex na proporção 50:50%.
 (1C) Pó de grafite e verniz Acrilex na proporção 43:57%.
 (1D) Pó de grafite e verniz Acrilex na proporção 20:80%.
 (1E) Pó de grafite e verniz Sayerlack na proporção 33:67%.
 (1F) Pó de grafite e verniz Sayerlack na proporção 50:50%.
 (1G) Pó de grafite e verniz Sayerlack na proporção 43:57%.
 (1H) Pó de grafite e verniz Sayerlack na proporção 20:80%.
 (2) Multímetro digital utilizado.

Fonte: Autora (2021).

A etapa subsequente teve como objetivo identificar com que facilidade as tintas se espalham, como é a textura superficial delas, bem como, se há variação de resistência elétrica em função do comprimento/área de pintura. Estas considerações são importantes para a aplicação pretendida, pois, tratando-se de uma peça com detalhes pequenos, a espessura e a rugosidade superficial da tinta, quando seca, farão diferença ao toque. Além disso, a questão que envolve a variação da resistência em função da distância é crucial, pois a peça tem um tamanho considerável, visto que comporta as duas mãos juntas durante a experiência.

Para isso, foram recortadas 25 folhas de polipropileno (PP) com tamanhos variados, de espessura 0,3 mm como substrato, para que fossem pintadas com ambas as misturas pré-selecionadas. Inicialmente as folhas foram recortadas variando apenas o comprimento e, posteriormente, variando a altura e o comprimento, com áreas maiores, como se fossem linhas e quadrados, respectivamente (Figura 33).

Figura 33 — Algumas placas pintadas com as amostras de tinta A e B com duas demãos de tinta.



(A1) Algumas das placas de PP lineares pintadas com a amostra 1 (33:67%) e detalhe da textura da tinta aproximada.

(A2) Algumas das placas de PP quadradas pintadas com a amostra 1 (33:67%) e detalhe da textura da tinta aproximada, bem como a marcação pelo gabarito para medição da resistência.

(B1) Algumas das placas de PP lineares pintadas com a amostra 2 (50:50%) e detalhe da textura da tinta aproximada.

(B2) Algumas das placas de PP quadradas pintadas com a amostra 2 (50:50%) e detalhe da textura da tinta aproximada.

Fonte: Autora (2021).

É importante esclarecer que, apesar da amostra com 50% de cada material ter gerado a necessidade de outros testes (com outras proporções), ela não pode ser descartada para essa etapa, visto que se mostrou com a menor resistência quando medida. Mas, o problema relacionado à viscosidade da tinta se repetiu. Durante a pintura da amostra de tinta B (50:50%) observou-se grande dificuldade de espalhar em toda a área, pois a mistura ficou bastante viscosa, com aspecto de pasta,

muito diferente da amostra A, que se mostrou muito mais fluida e interessante para a aplicação. Esta, por sua vez, mesmo um pouco viscosa, possibilitou que o pincel deslissasse mais facilmente e cobrisse melhor a superfície do substrato. Somente este fato já é suficiente para classificar a amostra A como a escolhida, entretanto, também foi observada a textura superficial das tintas quando totalmente secas, bem como a cobertura total das áreas pintadas (Figura 33).

A amostra de tinta B demonstrou um aspecto comparável a uma lixa, com uma textura bastante rugosa e áspera ao toque. Além disso, como já esperado, a cobertura das áreas pintadas, apenas com uma camada de tinta, não foi o suficiente para preencher em totalidade. Em contrapartida, mesmo ainda um pouco grosseira, a textura da amostra A ficou muito mais suave ao toque, possibilitando que os dedos pudessem deslizar tranquilamente. No que se refere a cobertura da amostra A, logo na primeira demão de tinta, foi possível observar algumas áreas sem preenchimento. Mas, ainda assim, a amostra de tinta A, novamente, se mostrou mais interessante, quando comparada com a amostra B (Figura 33).

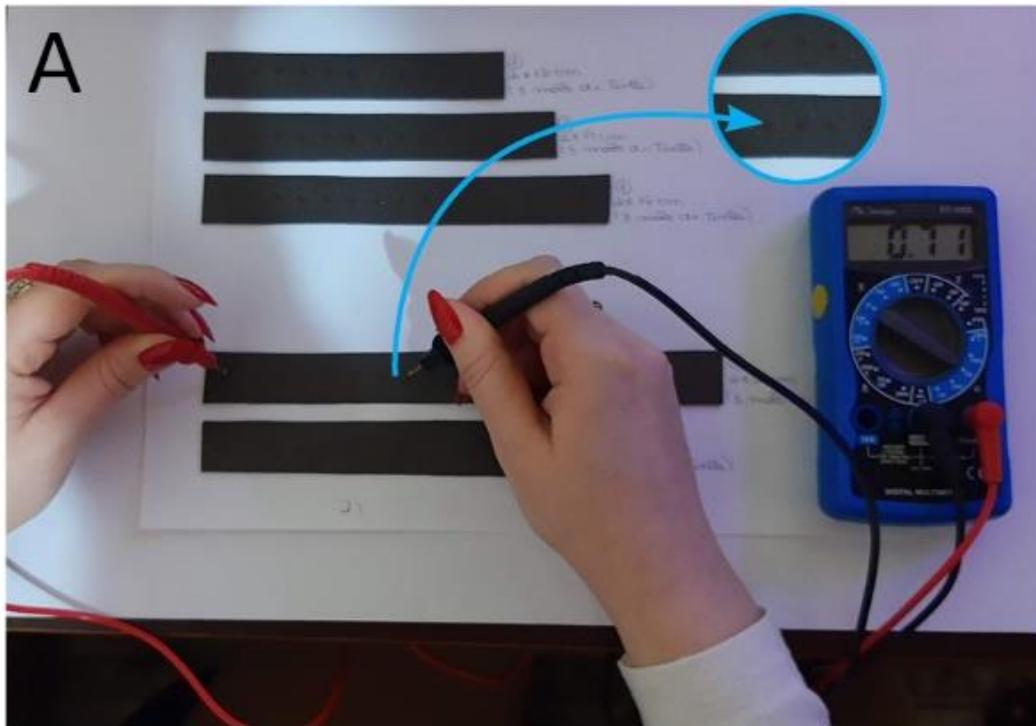
Posto esse cenário, uma segunda demão de tinta foi aplicada em ambos os casos na intenção de avaliar o comportamento superficial das mesmas. Salienta-se que a segunda demão de tinta foi realizada somente após 24 horas de secagem e seguindo o mesmo sentido de aplicação anterior (Figura 33). Adicionalmente, é indispensável esclarecer que na primeira demão de tinta não foi possível medir a resistência das áreas pintadas, pois havia pontos sem tinta e, conseqüentemente, havia falha na condutividade. Vale evidenciar que a cobertura das áreas, na segunda demão de tinta, ficou muito mais uniforme, preenchendo todos os espaços com pouca tinta.

Assim que todas as placas secaram, por pelo menos mais 24 horas, constatou-se a seleção da amostra A (33:67%) devido aos fatores supracitados, principalmente no que se refere a rugosidade superficial da tinta. O passo seguinte fora a realização da medição das resistências. Para tanto, salienta-se que foi realizada a mensuração da resistência elétrica, por 5 vezes em cada ponto, sendo que ao final foi possível encontrar uma média desses valores (Figura 34).

Todos os dados foram tabelados em uma planilha no Microsoft Excel, facilitando a comparação dos valores. A fim de garantir uma comparação confiável, foi desenvolvido um gabarito simples, que serviu para a marcação dos pontos a serem medidos nas placas pintadas. Por sua vez, este gabarito foi furado a cada 1 cm, em uma placa do mesmo substrato utilizado para a pintura das amostras, de tamanho 4x20 centímetros (Figura 35).

Com relação a medição dos pontos marcados é necessário esclarecer que uma das ponteiros do multímetro fica sempre posicionada na marca de 1 cm, enquanto que a outra ponteira vai mudando de posição, até a marca de 19 cm. Isso considerando as placas de 20 centímetros de comprimento como exemplo. E, portanto, conforme é mostrado no Gráfico 1, são considerados 18 valores de distância entre as ponteiros, variando de 1 cm até 18 cm de distância.

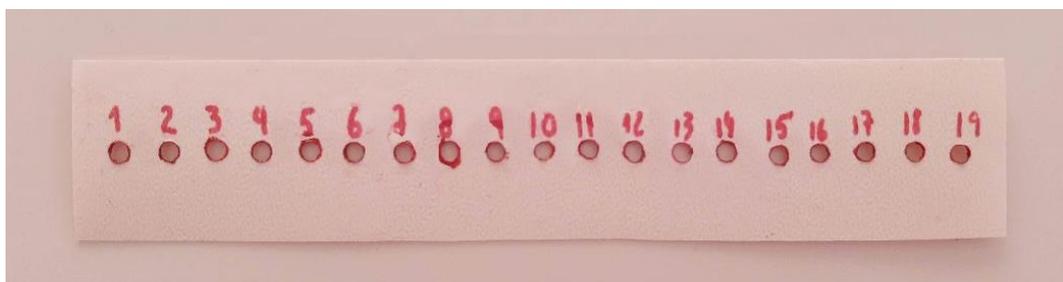
Figura 34 — Processo de medição da resistência da tinta.



Fonte: Acervo da autora (2021).

No que diz respeito aos resultados, os dados demonstraram uma maior homogeneidade dos valores de resistência em áreas maiores (Gráfico 1). Ou seja, quando medidos os valores nas placas lineares percebeu-se um aumento na resistência conforme as ponteiros do multímetro fossem se afastando. Mas, a partir do momento em que as ponteiros eram afastadas em placas quadradas, com áreas muito maiores, o valor da resistência mudou muito pouco, sendo consideravelmente menor.

Figura 35 — Gabarito utilizado para a marcação nas placas pintadas, dimensões 4x20 cm.



Fonte: Acervo da autora (2021).

Essa relação pode ser observada no Gráfico 1. A linha de cor laranja indica que a resistência da placa linear (2x20 cm) parte de aproximadamente 1,8 k Ω , variando até cerca de 3 k Ω , com apenas uma medida discrepante, em aproximadamente 4,6 k Ω . Enquanto que a linha de cor azul indica que a resistência da placa quadrada (20x20 cm), já na primeira linha medida com o gabarito, parte de valores próximos a 0,3 k Ω , variando até cerca de 0,8 k Ω . Em ambos os casos, as resistências estão dentro dos

valores pretendidos, visto que o sistema comporta uma resistência de até 5 k Ω , antes de comprometer seu funcionamento.

Gráfico 1— Relação entre resistência e distância da amostra de tinta A.



Fonte: Acervo da autora (2021).

Ambos os casos podem ser explicados conforme a segunda lei de Ohm, que estabelece que a resistência elétrica depende do material e da geometria do condutor, ou seja, o comprimento e a área. Logo, a resistência elétrica é proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área da seção transversal. Além disso, o fato de que o material misturado manualmente pode não ser homogêneo (nem as demãos de tinta) implica em uma variabilidade maior dos resultados de resistência elétrica, podendo esclarecer algumas discrepâncias maiores.

O fato de que os valores da resistência elétrica são mais estáveis em áreas maiores é bastante favorável para o uso pretendido, pois a peça utilizada neste estudo apresenta grandes áreas superficiais para o toque. Adicionalmente, é preciso enfatizar que, o que realmente importa é a funcionalidade alcançada com o uso da tinta, como um sensor capacitivo de toque, para a aplicação junto ao sistema desenvolvido. Outros ensaios são recomendados para trabalhos futuros, bem como a caracterização da tinta produzida e suas possibilidades de aplicações.

4.8 ACABAMENTO DA PEÇA

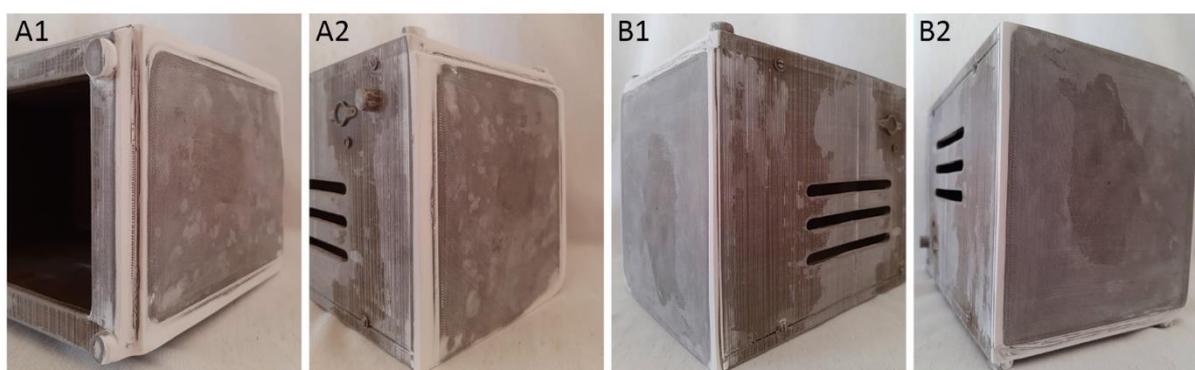
Todos os ajustes foram realizados com base nas fotografias registradas, assim como na modelagem da peça. Inicialmente, foram efetuados os acabamentos nas peças impressas separadas utilizando lixas finas — lixa d'água 220 e 320. Esse processo foi feito levemente em toda a superfície

das peças. Nas regiões que apresentaram os defeitos mais críticos, antes do uso das lixas, foi necessário utilizar o estilete para cortar os filamentos soltos.

Após esse procedimento foi aplicada a massa acrílica em pequena quantidade, somente onde era necessário. Nas bordas, que foram as áreas mais prejudicadas, esse processo precisou ser repetido por pelo menos 3 vezes, respeitando o tempo de secagem da massa. Entre as aplicações, estas regiões foram lixadas, para que fossem modeladas, bem como, para garantir a ancoragem das novas camadas.

A Figura 36 mostra o acabamento realizado com a massa acrílica nas bordas mais críticas do rádio. As bordas do lado direito foram as que receberam maior quantidade de massa acrílica e necessitaram de mais refinamentos até se aproximarem da forma original (A1 e A2).

Figura 36 — Massa acrílica aplicada nas regiões críticas da peça impressa.



- (A1) Vista da parte inferior direita do rádio;
- (A2) Vista da borda posterior direita do rádio;
- (B1) Vista da borda posterior esquerda do rádio;
- (B2) Vista da borda posterior e lateral esquerda do rádio;

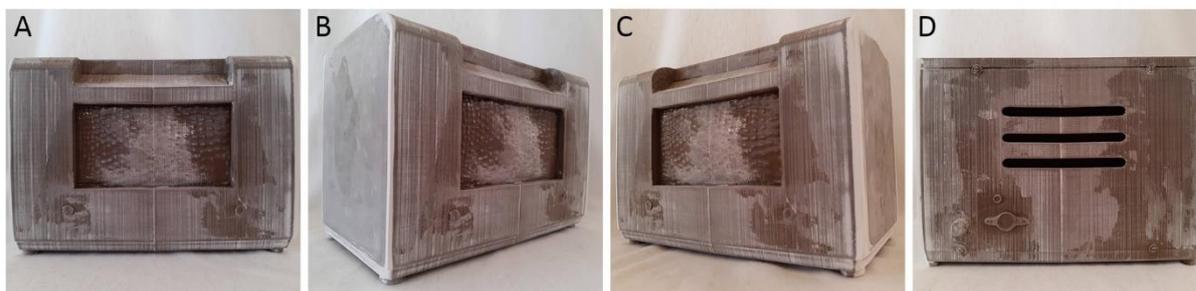
Fonte: Autora (2021).

O passo seguinte foi unir as duas metades do rádio utilizando cola epóxi, e efetuar os acabamentos finais. Por sua vez, todas as emendas também foram preenchidas com massa acrílica e posteriormente lixadas, da mesma maneira que fora realizado nas partes separadas (Figura 37).

Os botões também receberam o mesmo tipo de acabamento. Inicialmente utilizando as lixas, a fim de retirar qualquer imperfeição consequente da impressão 3D, e posteriormente passada uma fina camada de massa acrílica, a qual também foi lixada (Figura 38).

O passo seguinte foi realizar a pintura do rádio. As regiões destinadas a se tornarem os sensores foram previamente definidas durante a seleção da peça, que foram descritas no item 4.1 deste estudo. Para tal, foi necessário criar uma espécie de “máscara” para isolar as regiões que iriam receber a tinta condutora da tinta não condutora. Esta máscara foi feita utilizando fita crepe e estilete, a qual fora retirada assim que a tinta fora aplicada.

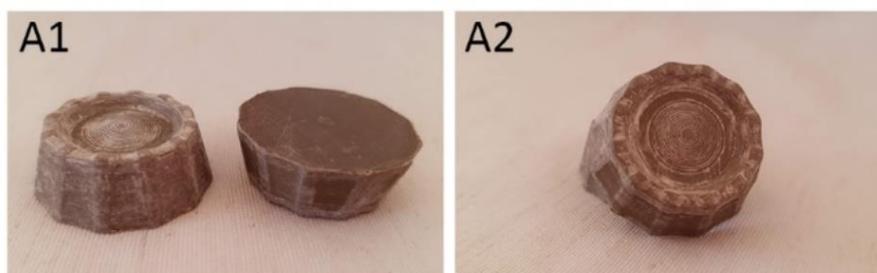
Figura 37 — Peças unidas com cola epóxi e acabamento com massa acrílica nas emendas.



- (A) Vista frontal do rádio;
 (B) Vista da borda frontal esquerda do rádio;
 (C) Vista da borda frontal direita do rádio;
 (D) Vista posterior do rádio;
 Fonte: Autora (2021).

A tinta não condutora utilizada foi a acrílica fosca, da marca Acrilex®, compatível com o verniz utilizado na tinta produzida, da mesma forma que é compatível com a massa acrílica aplicada. A cor escolhida foi um tom de cinza bem claro, a fim de gerar grande contraste com a cor da tinta condutora, que é no tom de grafite bem escuro. Fora necessária a aplicação de 3 demãos de tinta acrílica para alcançar uma boa cobertura. Para cada uma das demãos de tinta foi feita a máscara com fita crepe, e entre elas também fora passada levemente as lixas (Figura 39).

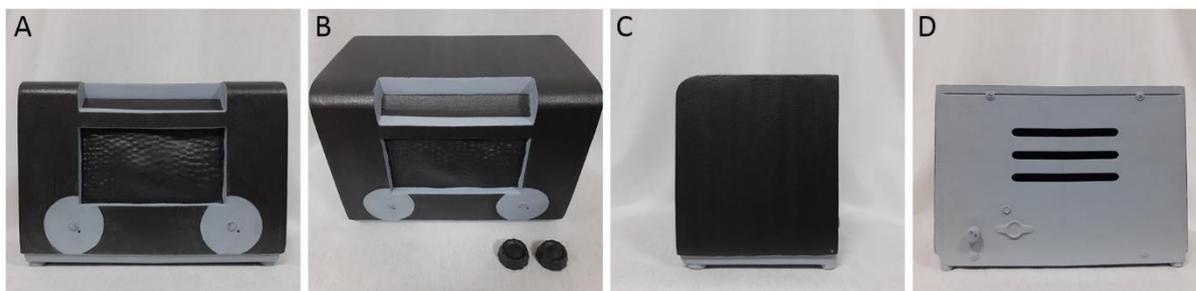
Figura 38 — Acabamento nos botões com massa acrílica e lixa.



- (A1) Botões 1 e 2 virados para cima e para baixo;
 (A2) Um dos botões visto de frente.
 Fonte: Autora (2021).

Toda a parte posterior do rádio fora descartada como um sensor, recebendo apenas a pintura com a tinta acrílica não condutora. Ao redor dos botões foi considerada uma área extra, compatível com o as considerações relativas ao manejo fino e medidas antropométricas, o qual é realizado através das pontas dos dedos (IIDA, 1971). Portanto, além do diâmetro dos botões, foi adicionado cerca de 15 mm ao redor dos mesmos, a fim de evitar o toque de outra região enquanto os botões estão sendo tocados, isolando-os das demais áreas.

Figura 39 — Modelo do rádio com a pintura final.

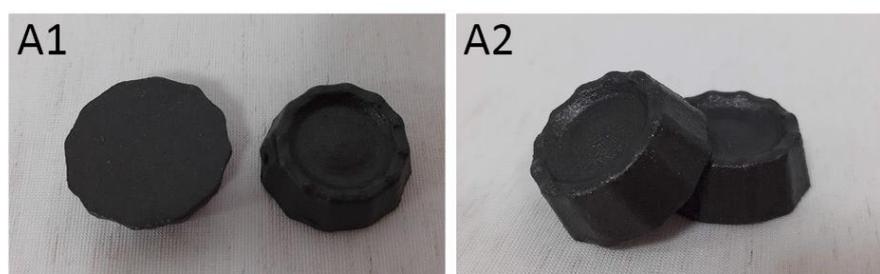


- (A) Vista frontal do rádio pintado: ênfase para as máscaras criadas para isolar os botões;
 (B) Vista em perspectiva superior do rádio e botões pintados;
 (C) Vista lateral direita do rádio pintado;
 (D) Vista posterior do rádio pintado apenas com tinta acrílica.
 Fonte: Autora (2021).

Da mesma forma que os botões, enfatiza-se que todas as regiões que se tornaram sensores foram isoladas umas das outras através da pintura com a tinta acrílica. Estas questões podem ser verificadas na Figura 39, a qual mostra a pintura final do modelo do rádio.

Continuando, assim que totalmente secas, todas as áreas pintadas com a tinta acrílica foram isoladas, também criando uma máscara com fita crepe. Logo, a tinta condutora foi aplicada nas regiões que se tornariam os sensores (Figura 39). Após a pintura, a máscara fora retirada cuidadosamente para não manchar as outras áreas. E como já estabelecido nos testes preliminares, foram aplicadas duas demãos de tinta condutora no modelo. Os botões foram pintados separadamente e por completo, da mesma maneira que o restante do rádio, como pode ser observado na Figura 40.

Figura 40 — Botões pintados com tinta condutora.



- (A1) Botões 1 e 2 virados para cima e para baixo;
 (A2) Detalhe em perspectiva dos botões pintados com tinta condutora.
 Fonte: Autora (2021).

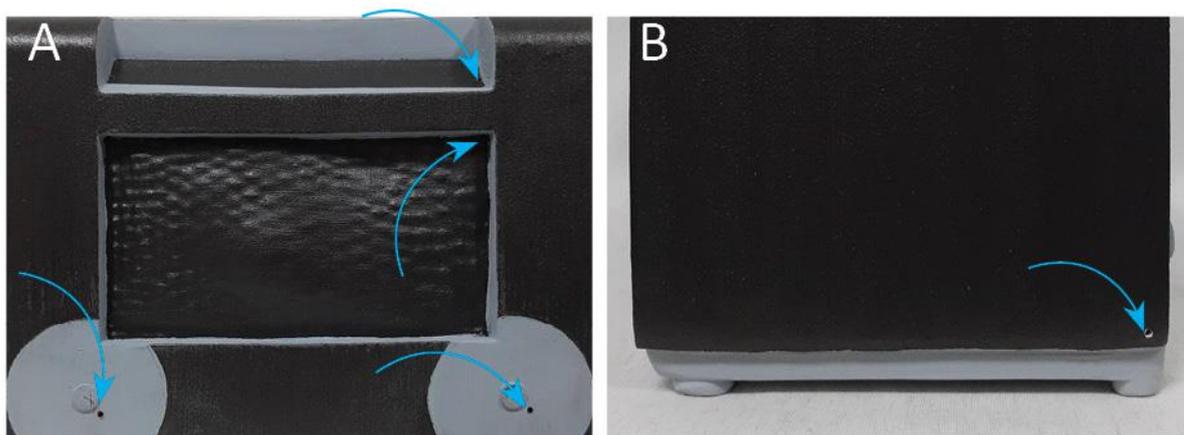
É válido salientar que após a segunda demão de tinta condutora, bem como da tinta acrílica, não fora passado as lixas em toda a superfície. Elas apenas foram utilizadas nos encontros entre as tintas para dar acabamento e tornar as transições praticamente imperceptíveis ao toque, visto que ao retirar as máscaras houve regiões com tinta acumulada. Adicionalmente, cita-se que foram realizados alguns retoques finais com o auxílio de um pincel pequeno, melhorando o acabamento final.

4.9 MONTAGEM DO SISTEMA

Para a união do modelo tátil finalizado com as placas controladoras do sistema desenvolvido, foram realizados alguns pequenos furos para passagem da fiação. Esses furos foram posicionados estrategicamente para que não fossem perceptíveis ao toque, localizando-os nos cantos das áreas pintadas com tinta condutora. A Figura 41 mostra as setas apontando a exata localização dos furos.

Foram realizados dois furos, um de cada lado das áreas pintadas, como uma estratégia para facilitar a leitura da capacitância pelo circuito proposto. Entretanto, somente um dos furos de cada sensor fora utilizado, pois não houve a necessidade de ligar dois fios no mesmo sensor, mesmo considerando uma grande área como no caso do corpo do rádio. Os furos são todos de 2 mm de diâmetro e atravessam a peça até o interior do rádio, onde foi prevista a localização das placas controladoras. Todos eles foram realizados com o auxílio de uma furadeira disponível no LDSM.

Figura 41 — Localização dos furos no modelo.



(A) Setas apontando a localização dos furos para passagem da fiação dos sensores 1, 2, 3 e 4;

(B) Seta apontando a localização do furo na lateral posterior de um dos lados do rádio.

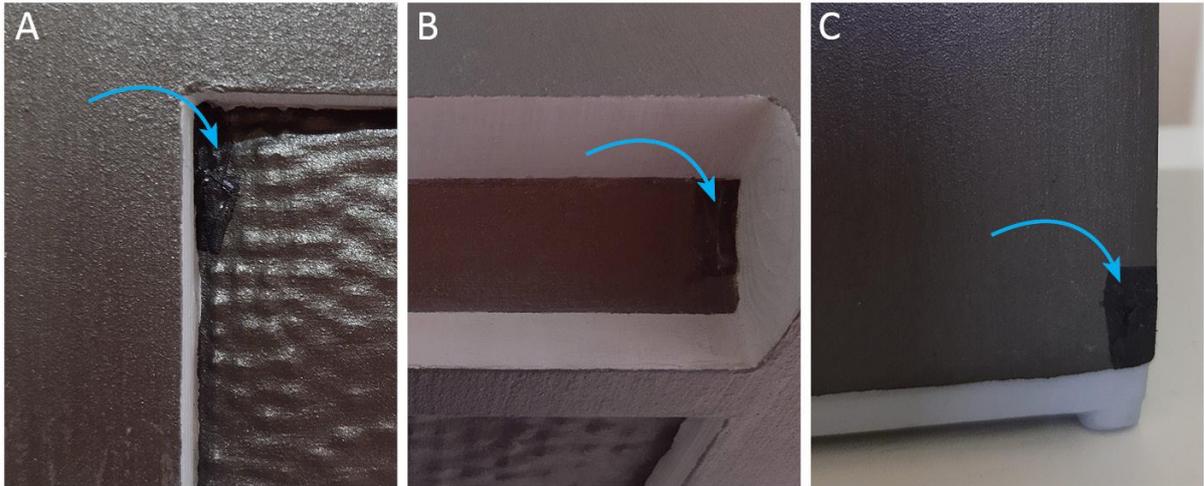
Fonte: Autora (2021).

Os fios foram desencapados nas duas extremidades (cerca de 15 mm), e uma das pontas foi colocada em contato direto com a tinta, passando pelo furo de seu respectivo sensor. Foram utilizadas diferentes cores nos fios para facilitar a identificação. Já a outra extremidade do fio foi soldada a uma das pontas de um resistor, o qual se conecta à *proto-board*. Isso se cumpriu para cada um dos sensores.

Para a fixação entre a ponta do fio desencapado e a tinta utilizou-se fita dupla-face de carbono, a qual é comumente utilizada em microscopia eletrônica de varredura (MEV) para manter a condutividade entre o stub (porta-amostra) e a amostra. No que lhe diz respeito, a fita de carbono é extremamente maleável e fina, se moldando perfeitamente na forma do local onde foi aplicada, não interferindo na percepção háptica. A Figura 42 mostra o uso deste material. O mesmo método de união entre o fio e a tinta foi utilizado nos botões, porém a conexão fica oculta por trás dos mesmos.

A fim de garantir que os fios não se movimentassem no interior da peça, todos eles foram fixados internamente utilizando cola epóxi. Esta fixação garantiu que os fios não se soltassem, ou mudassem de posição, o que poderia afetar a leitura da capacitância, ou até mesmo romper as conexões efetuadas.

Figura 42 — Fitas de carbono sendo utilizadas para unir os fios desencapados com a área pintada.



(A) Fita de carbono aplicada no sensor 3;
 (B) Fita de carbono aplicada no sensor 4;
 (C) Fita de carbono aplicada no sensor 5.
 Fonte: Autora (2021).

Além da furação supracitada, foi necessário criar um outro furo, um pouco maior, para a passagem dos cabos que se conectam ao Arduino. O furo foi realizado no local de onde saía o fio original do rádio, neste caso, para passagem do cabo da fonte de alimentação do Arduino, junto ao cabo auxiliar P3, usado para conectar a caixa de som com a *proto board*. Na Figura 43 é possível observar o furo destinado a passagem de cabos.

Figura 43 — Furo na parte posterior do rádio para passagem de cabos.



Fonte: Autora (2021).

Assim que todos os fios foram fixados e ligados na *proto-board* foi realizado um teste preliminar para verificar todo o funcionamento. Com todo o sistema conectado corretamente, o próximo passo foi fixar o Arduino e a *proto-board* no interior do rádio. Da mesma forma que os fios foram fixados, se utilizou a cola epóxi para colar as placas no interior da peça. A Figura 44 mostra a localização das placas já fixadas, assim como todas as conexões realizadas.

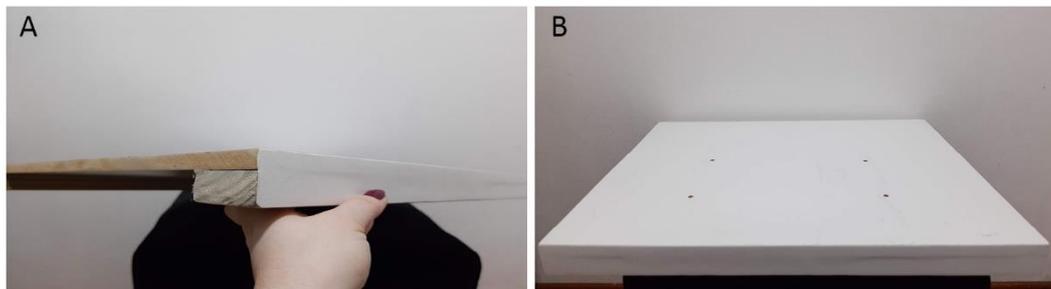
Figura 44 — Arduino e *proto-board* fixados no interior do modelo do rádio.



Fonte: Autora (2021).

Para garantir estabilidade e segurança no momento da experimentação optou-se por desenvolver uma base para fixação do rádio. Ela foi produzida com recortes de MDF e madeira tratada, que seriam descartados, e recebeu fitas de borda para melhor acabamento na parte frontal e posterior (Figura 45). As dimensões da base em MDF são de 40 cm de profundidade por 50 cm de largura. O MDF é de 15 mm de espessura, e é laminado em ambos os lados. Além da base, duas ripas de madeira, nas dimensões de 50 cm de comprimento, por 4,5 cm de largura, e 2 cm de altura, foram utilizadas para dar suporte. O intuito foi criar uma área suspensa no centro da base, para que o rádio pudesse ser fixado por baixo dela. Nesse sentido, a base recebeu 4 furos (Figura 46).

Figura 45 — Base para fixação do modelo do rádio.



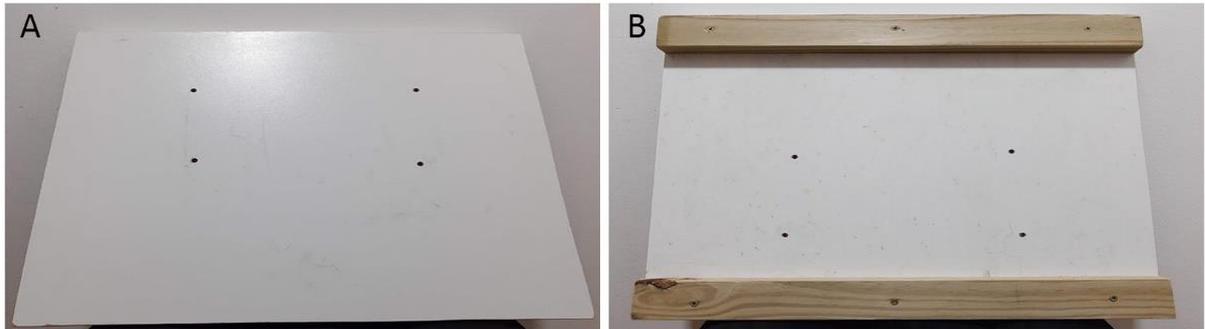
(A) Vista da lateral em perspectiva da base de fixação do modelo do rádio;

(B) Vista frontal em perspectiva da base de fixação do modelo do rádio.

Fonte: Autora (2021).

Da mesma forma, o modelo do rádio também recebeu quatro furos na parte inferior, ligeiramente ao lado dos pés. Estes foram destinados a acomodar os parafusos responsáveis pela fixação do rádio na base desenvolvida. Os parafusos foram fixados no rádio com o auxílio de porcas. E, o comprimento restante dos parafusos atravessa a base, igualmente recebendo as porcas para suas fixações na parte inferior da base (Figura 47).

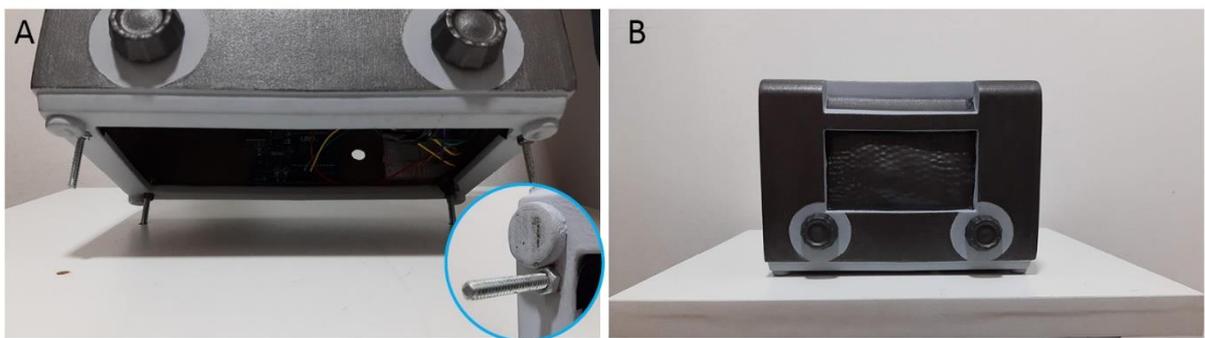
Figura 46 — Vistas superior e inferior da base de fixação do modelo do rádio.



(A) Vista da superior em perspectiva da base de fixação do modelo do rádio;
 (B) Vista inferior em perspectiva da base de fixação do modelo do rádio.
 Fonte: Autora (2021).

Na Figura 47 (A) é possível compreender o funcionamento da conexão entre os parafusos e a base. O detalhe ampliado mostra a localização dos parafusos na peça, bem como sua fixação através da rosca e porca. Já na imagem (B) é possível verificar como o rádio fica fixado na base desenvolvida, sendo esta a configuração final utilizada para a experimentação do modelo.

Figura 47 — Fixação do rádio na base.



(A) Funcionamento da fixação do modelo do rádio na base desenvolvida: detalhe da localização dos parafusos na parte inferior da peça;
 (B) Modelo do rádio fixado na base.
 Fonte: Autora (2021).

Por fim, é válido mencionar que como refinamento final é ideal realizar um retoque na pintura da tinta condutora a fim de camuflar ainda mais a fita de carbono. Da mesma forma, é interessante realizar alguns retoques na pintura da tinta acrílica também, visto que algumas regiões foram desgastadas durante a montagem.

4.10 DESENVOLVIMENTO DA AUDIODESCRIÇÃO

Conforme estabelecido previamente, a subcategoria de audiodescrição (AD) abordada é a de exploração, que segundo Neves (2011), ocorre através da exploração tátil combinada com a AD. Nesse contexto, salienta-se que essa categoria prevê uma descrição além do que se vê, já que busca orientar o usuário para que ela descubra por si próprio toda a realidade ao seu redor. Portanto, o desenvolvimento do roteiro da AD foi elaborado a partir de estratégias que direcionem a pessoa com deficiência visual por um percurso em que a informação seja cumulativa, e permita a construção da imagem mental daquilo que está sendo tocado e ouvido.

Os textos do roteiro seguiram o modelo de De Coster e Mülheis (2007), que dão base para construção de propostas de AD de obras de arte. Logo, a ordem de prioridade foi iniciada com a descrição das dimensões, estrutura espacial e sinais claros¹⁶; seguida pela narração das impressões visuais, que podem ser comparadas com impressões táteis; e por fim, descrevem os sinais ambivalentes¹⁷, os quais requerem a interpretação a partir do uso de percepções intersensoriais. Adicionalmente, destaca-se que o roteiro não é linear, pois cada informação é autônoma, mas juntas formam a história e descrevem a forma do objeto e seus respectivos detalhes.

O roteiro foi escrito pela pesquisadora, avaliado junto ao orientador e revisado por um professor formado em audiodescrição (audiodescritor), para que todo o texto fosse condizente aos requisitos pretendidos, assim como, descrevesse as áreas de interesse, já estabelecidas anteriormente. Dessa forma, foi necessário elaborar um mapeamento complexo, baseado na lógica desenvolvida na programação do sistema. Para tal, conforme o item 4.4 deste estudo, foram estabelecidos 5 áudios gerais para o completo funcionamento da programação: **(A)** áudio introdutório, ou notas introdutórias; **(B)** áudio específico de cada sensor **(C)** áudio de toque simultâneo; **(D)** áudio de finalização; e **(E)** áudio de exploração livre.

O primeiro áudio **(A)** contempla uma breve introdução do que se trata a peça, bem como uma breve orientação do funcionamento do sistema multissensorial. No que se refere a introdução sobre a peça, são descritas informações como a marca do rádio, data de fabricação, materiais e texturas. Já no que se refere as informações sobre o funcionamento do modelo multissensorial, são dadas informações pertinentes ao acionamento dos sensores, bem como é explicado a divisão da AD em duas faixas de áudio complementares, explicando como acioná-las. Ademais, conforme as indicações de Cardoso (2016) esta faixa deve durar entre 1 e 3 minutos no máximo, para que não se torne cansativa, ou ainda dificulte o entendimento do funcionamento do sistema. No caso deste estudo, a duração desta faixa foi de aproximadamente um minuto e meio.

¹⁶ Os sinais claros são informações dependentes do sentido da visão (HOLLAND, 2009)

¹⁷ Os sinais ambivalentes se referem as percepções que vão além do sentido da visão, envolvendo outros campos sensoriais como o tato e a audição (HOLLAND, 2009).

O áudio específico de cada sensor **(B)** é destinado a descrição de cada um dos sensores isoladamente. Este foi subdividido em 3 níveis, seguindo as orientações de Neves (2011) e tendo base nos estudos de Wang, Li & Li (2012); Reichinger e colaboradores (2016b); Swaminathan e colaboradores (2016); e Rossetti e colaboradores (2018). Logo, os níveis compreendem em: **(1)** uma faixa principal, que contempla uma descrição breve e direta sobre o que se encontra sob a área de toque, como por exemplo, qual é a função do botão que está sendo tocado; **(2)** uma faixa complementar, que contempla uma descrição mais específica dessa região, como por exemplo, características sobre o material, textura, cor e forma; e **(3)** uma faixa guia, que contempla uma orientação para a próxima região, ainda desconhecida até então. Como exemplo cita-se a orientação para que o usuário encontre o outro botão do rádio. Por exemplo, se esclarecendo que basta deslizar os dedos para o lado direito ou esquerdo da peça, conforme o botão tocado naquele momento.

O áudio de toque simultâneo **(C)** é destinado a explicar para o usuário que ele tocou em dois sensores ao mesmo tempo, e que para poder ouvir uma audiodescrição sobre determinada área, ele precisa escolher um dos sensores que estão sendo tocados simultaneamente. Já o áudio de finalização **(D)** é uma faixa indicando que todas as regiões principais da peça já foram exploradas e que nos próximos minutos o usuário estará livre para tocar onde desejar, enquanto ouve uma música da época. Logo, o áudio de exploração livre **(E)** trata-se da música referida.

Após uma primeira análise, foram realizadas algumas otimizações no roteiro. Como exemplo, cita-se a inclusão das dimensões do rádio e cores utilizadas na pintura da réplica, ainda nas notas introdutórias. Assim, a pessoa com deficiência visual pode ter uma noção quanto ao tamanho da peça, e, caso se tratar de uma pessoa com baixa visão, não haverá confusão referente as cores da peça original em relação a réplica. Adicionalmente, foram reduzidas todas as frases das faixas de áudio para que ficassem objetivas e diretas, e foram incluídos dois efeitos sonoros, um para cada botão: um deles trata do som de sintonização das estações, e o outro trata de um trecho da música de exploração livre, aumentando e diminuindo o volume do som, assim criando ambiência na audiodescrição. Além disso, foi decidido incluir uma música de fundo durante as notas introdutórias, tornando a experiência mais humanizada.

Na sequência, todo o roteiro foi gravado com o auxílio de dois aplicativos para smartphone nas suas versões gratuitas. O aplicativo *ASR* foi utilizado para a gravação de todas as faixas de áudio, e o aplicativo *WaveEditor* foi utilizado para editar essas faixas. As edições foram mínimas, como por exemplo, retirar algum ruído, aumentar o ganho da voz na gravação, unir faixas que tenham sido gravadas separadamente, ou incluir os referidos efeitos sonoros.

A música escolhida para a exploração livre é a “Maria Bethânia” de Nelson Gonçalves, pois na época era a música mais ouvida nas rádios brasileiras. Entretanto, é importante destacar que esta música não caiu em domínio público. Portanto, para possível implementação futura no museu, seria

necessário autorização, ou o pagamento dos direitos autorais, ou ainda a seleção de uma outra música que tenha caído em domínio público.

Por fim, todas as faixas foram adicionadas em suas respectivas pastas dentro do cartão SD que é conectado ao módulo MP3, para que assim fosse possível iniciar o teste piloto, o qual será descrito no tópico seguinte. O roteiro escrito para cada um dos áudios, após a revisão, é mencionado e mostrado no APÊNDICE A deste estudo, o qual também já contém as otimizações realizadas após o teste piloto que será descrito a seguir.

4.11 TESTE PILOTO

O intuito de realizar um teste piloto é averiguar as condições finais em que se encontra o modelo multissensorial antes de ser colocado à prova pelo consultor. Para tanto, foram testadas todas as possibilidades de manejo mapeadas, assim como, foram verificados todos os sensores e suas respectivas sensibilidades de acionamento. Ainda, foram analisados os tempos entre as reproduções dos áudios e avaliados todas as gravações, com o propósito de otimizar o sistema.

Os testes foram realizados junto a colegas de laboratório que detêm maior domínio referente a linguagem de programação, auxiliando na execução das otimizações desejadas com mais agilidade. Ademais, tudo foi testado nas dependências do LDSM durante um dia inteiro.

Antes de entrar na questão do mapeamento previsto, o primeiro ponto observado fora a sensibilidade de acionamento dos sensores, visto que eles necessitavam da calibração sempre que o sistema era iniciado novamente. Nesse sentido, investigou-se quais seriam os fatores que poderiam influenciar na variação do tempo, para que os capacitores estivessem completamente carregados. Algumas hipóteses foram aventadas, tais como: influência de temperatura e umidade do ar; possibilidade de que os sensores não consigam se descarregar totalmente quando desligados; ou ainda a ocorrência de capacitância parasita. Entretanto, isto demandaria maiores estudos, bem como, a realização de outros testes para comprovar o que realmente ocorria com a tinta.

O segundo ponto observado também diz respeito a sensibilidade de acionamento, mas, agora a questão envolve a existência de uma diferença entre a leitura de cada um dos sensores, impedindo que fosse estabelecido um único valor para calibragem do sistema como um todo. A explicação para este fato é a diferença entre as dimensões das áreas pintadas, assim como, a espessura irregular da tinta condutora em alguns locais da superfície.

Portanto, os dois pontos observados em relação ao acionamento dos sensores correspondem ao fato de que, todas as vezes em que o sistema era reiniciado, todos os sensores precisavam ser calibrados individualmente e manualmente, conforme a variação das leituras dos tempos de carregamento. E, isto não era viável, visto que a proposta era implementar o sistema para uso contínuo em um museu. Posto esse cenário, foi desenvolvida uma auto calibragem para o sistema. Dessa

maneira, definiu-se uma variável individual, para cada um dos sensores, a qual realiza a leitura do tempo que cada um leva para alcançar os 5 V, sem que tenham sido tocados, e armazene esta informação. Em seguida, uma outra variável estabelece o parâmetro de acionamento de cada um, realizando a soma de um valor predefinido diferente para cada sensor.

Este valor pode ser modificado, caso seja necessário. Mas, salienta-se que foram realizados vários testes comparativos, entre possíveis valores de acionamento, buscando um tempo final semelhante entre todos os sensores. Ou seja, como o tempo de acionamento dos sensores é referente ao aumento da capacitância, e uma conseqüentemente mudança no tempo de carregamento do sensor capacitivo; juntamente com o tempo que o programa leva para passar por todo o código e realizar o comando, buscou-se um fator comum que equiparasse os tempos de acionamentos entre os sensores da peça. Esta mudança fora muito importante para o refinamento do código e facilidade de uso, já que não será mais preciso modificar manualmente cada valor de acionamento, pois o sistema pode se auto calibrar.

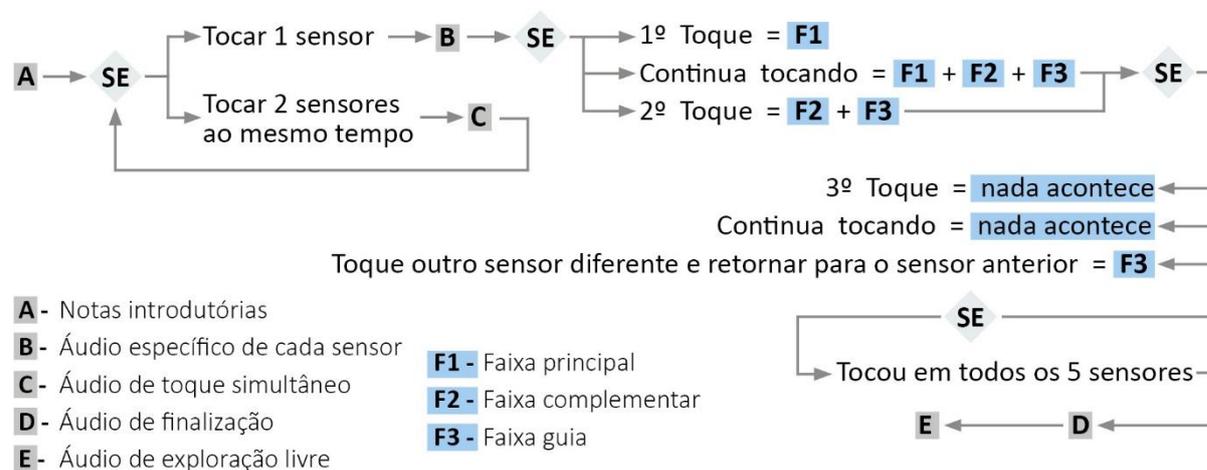
Da mesma maneira, foi preciso ajustar a sensibilidade de acionamento para a variável que controla o toque simultâneo. Nesse caso, não foi preciso modificar o código, apenas alterar o parâmetro de calibração desta variável através de vários testes preliminares. Isso se fez necessário, pois, o toque em um segundo sensor poderia ser acidental e muito rápido, e não seria interessante contabilizar isto como um toque duplo. Então, considerou-se um período de tempo um pouco mais longo, para ambos os sensores que fossem tocados juntos, para que isso efetivamente contabilizasse um toque duplo. Salienta-se que essa mudança alterou sutilmente o valor de acionamento de todos os sensores que já haviam sido calibrados. Porém, ainda assim, foi possível manter o tempo entre o acionamento e o disparo dos áudios em cerca de 1 segundo para todos os sensores.

O passo seguinte foi verificar o mapeamento criado para as possibilidades de manejo, mais especificamente, no que se refere aos guias que indicam um próximo sensor para a pessoa com deficiência visual. Até então, o guia somente era acionado caso o usuário retornasse em um sensor, o qual já tivesse ouvido as faixas 1 e 2 do áudio específico, tendo um sensor de intervalo. Entretanto, ao realizar um teste referente ao fluxo de funcionamento, observou-se que essa condição, em que o usuário deve seguir adiante por conta própria, poderia influenciar na possibilidade de que ele não realizasse a experiência completa, não passando por todos os sensores da peça.

Isso posto, realizou-se uma nova modificação no código, para que a faixa 2 sempre viesse acompanhada da faixa guia 3. E, caso o usuário siga adiante, ouça outros áudios, e retorne para um sensor em que ela já ouviu todas as três faixas anteriormente, uma outra faixa guia será disparada, ponderando os sensores já conhecidos. Salienta-se que, caso o usuário permaneça tocando no mesmo sensor, após ter ouvido as 3 faixas, nenhum áudio será disparado. Da mesma forma, um terceiro toque

no mesmo sensor, sem ter havido um outro sensor como intervalo, nenhum áudio será reproduzido. A Figura 48 mostra a nova lógica da programação do sistema após estes refinamentos.

Figura 48 — Lógica da programação do sistema após otimizações do teste piloto.



Fonte: Autora (2021).

Posteriormente, todas as possibilidades de manejos e seus respectivos áudios foram verificados novamente por conta do novo ajuste. Nesse momento, todas as narrações foram analisadas, ocorrendo a questão da dependência existente entre a faixa 1 e 2 de cada sensor. Em esclarecimento desta questão, se explica que, apenas na faixa 1 era feita a identificação do que se referia tal região. Como exemplo, cita-se a faixa com a descrição objetiva do botão 1: “Este botão sintonizava as estações do rádio”. Enquanto que a faixa 2 tratava diretamente das características daquela área, não retomando sua identificação.

Nesse caso, optou-se por modificar o início de todas as faixas complementares de cada um dos sensores, incluindo sua identificação. Pois, a pessoa com deficiência visual poderia ouvir apenas a faixa 1, seguir para outros sensores e demorar para realizar um segundo toque naquele mesmo sensor, e isto poderia gerar uma certa confusão quanto a descrição de tal área da peça. Para tanto, cita-se como exemplo a primeira frase da faixa complementar do botão 1, a qual fora ajustada: “O botão de sintonia foi fabricado com um material plástico liso e marrom.”. Por consequência, todas as faixas complementares dos sensores tiveram suas frases iniciais reescritas, e necessitaram de uma nova gravação para inclusão no sistema. Pois, como cada parte do roteiro não depende do restante, a ordem em que as partes são contadas não deve ser importante, levando o usuário a buscar por todas as informações e construir sua própria narrativa. As audiodescrições completas e otimizadas podem ser observadas no APÊNDICE A desde estudo.

Adicionalmente, cita-se que durante a análise supracitada, também fora averiguada a fluidez com que o sistema funciona. Neste caso, observando que em alguns momentos o sistema demonstrava

uma pausa longa, parecendo que houve um erro, foram feitos alguns ajustes. Porém, a alteração foi muito mais simples, pois apenas os valores de alguns *delays* foram modificados, tornando a experiência mais ágil e fluida.

Assim sendo, um novo teste fora realizado a fim de compatibilizar todos os refinamentos efetuados. Entretanto, uma nova questão fora levantada. Sempre que o sistema não estava reproduzindo um áudio, a caixa de som que emite as faixas produzia um leve ruído. Esse caso em específico não foi resolvido, já que a hipótese mais provável era de que isto ocorria devido a instalação do sistema ter sido feita em uma *protoboard*. Mesmo que isto não tenha sido comprovado, diante desta situação, a solução adequada seria a fabricação de uma placa de circuito própria para esse sistema. Porém isto envolveria custos que não haviam sido planejados, inviabilizando esta solução. Nesse sentido, o protótipo seguiu com o referido ruído para a realização da consultoria.

4.12 CONSULTORIA

A consultoria da AD foi feita junto a um profissional especialista da área, com deficiência visual, contratado¹⁸, para que fosse possível avaliar as audiodescrições e a interação com o modelo. Neste sentido, o modelo multissensorial foi colocado à prova, sob o ponto de vista de um profissional da área, que também é um usuário, permitindo observar o desempenho do sistema desenvolvido e, posteriormente, receber um laudo verbal de seus pontos positivos e negativos. A consultoria foi realizada na residência deste profissional, que é um dos locais que ele realiza os atendimentos, participando também, além da pesquisadora, um aluno colaborador com domínio do código criado. É válido salientar que o consultor permitiu gravar e fotografar toda a consultoria, bem como realizar anotações. Toda a experimentação teve duração de cerca de uma hora.

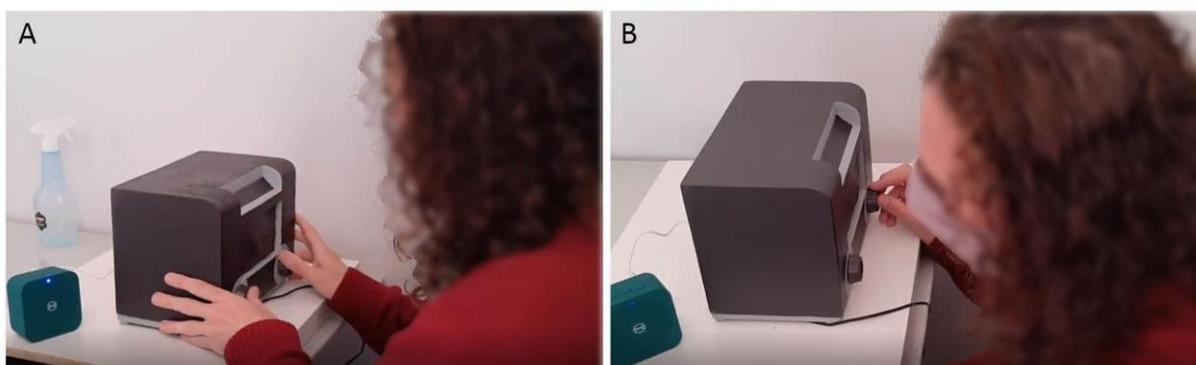
A consultoria teve início após uma descrição superficial sobre do que se tratava a peça, para que não houvesse influência na proposta do modelo multissensorial de ser independente. Nesse sentido, a instrução foi relacionada, principalmente, sobre o trabalho realizado, como ele funciona, bem como, referente ao posicionamento do profissional em frente ao dispositivo montado. Isso posto, destaca-se que o modelo foi fixado na base desenvolvida, ligado diretamente na tomada, e apoiado em uma mesa. O usuário foi posicionado sentado em frente ao modelo multissensorial, de forma que ele tivesse acesso livre em todos os lados da peça.

¹⁸ O profissional contratado foi Rafael Braz, psicólogo clínico, e audiodescritor consultor. Psicoterapeuta de orientação psicanalítica. Em sua trajetória como audiodescritor consultor, já acessibilizou mais de cem produções, compondo equipes com diferentes profissionais de todo o Brasil. Atua na área de acessibilidade desde 2016, produzindo audiodescrição para filmes, séries, vídeos institucionais e comerciais, espetáculos de teatro, dança e shows musicais, dentre outras modalidades artísticas e culturais. Ministra cursos, palestras e oficinas sobre audiodescrição e acessibilidade cultural, comunicacional e atitudinal para empresas, instituições e universidades.

A experimentação teve início com a reprodução das notas introdutórias, que conforme supracitado, descreve do que se trata a peça e dá as instruções de uso. O disparo deste áudio ocorreu alguns segundos após o sistema ter sido ligado na tomada. Durante a reprodução desta faixa, o consultor ouviu atentamente e não tocou em nenhuma parte do modelo. Antes de partir efetivamente para o toque, o consultor confirmou as informações ouvidas com a pesquisadora, e então, seguiu para a exploração.

O primeiro contato com a peça foi para familiarização da composição global e disposição dos detalhes, o que ocorreu tão rapidamente que nenhum sensor chegou a ser acionado (Figura 49 - A). Em seguida, observou-se um toque mais detalhado, com apenas as pontas dos dedos de uma das mãos, chegando até um dos botões do modelo. Esta etapa, por sua vez, levou um pouco mais de tempo e, conseqüentemente, acionou um dos sensores (Figura 49 - B). Este cenário já era previsto, conforme descrito no item 2.2.1 deste estudo, em que a exploração por uma pessoa com deficiência visual, geralmente, ocorre em duas fases.

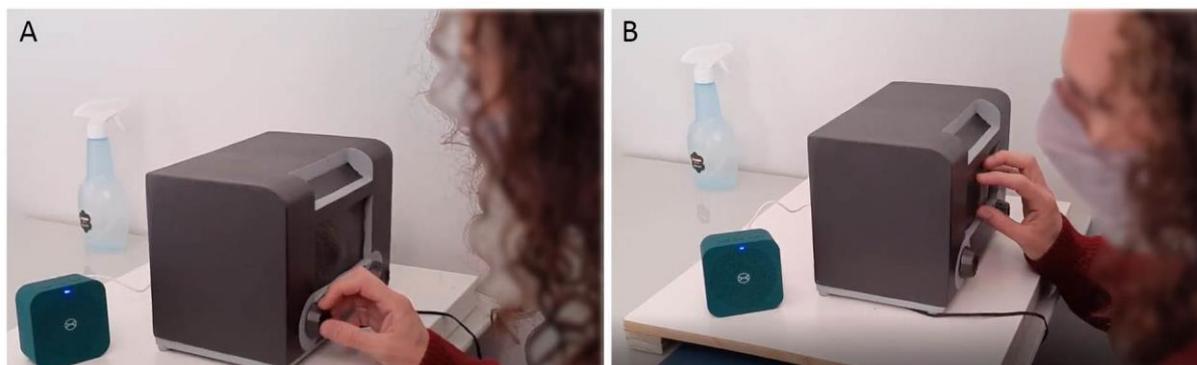
Figura 49 — Consultor realizando a experimentação do modelo multissensorial.



(A) Exploração geral na peça;
(B) Toque em um dos botões do rádio — sensor 2.
Fonte: Autora (2021).

O primeiro sensor a ser acionado fora o botão 2, o qual regulava o volume do rádio (Figura 49 - B). Como um reflexo, o consultor deixa de tocar a área assim que ouve o início da primeira faixa sendo reproduzida. Assim que ela é finalizada, ele questiona sobre poder continuar tocando na peça enquanto ouve a AD. Diante disso, a pesquisadora esclarece que todas as audiodescrições serão reproduzidas por inteiro, independentemente de os sensores continuarem ou não sendo acionados (Figura 50).

Figura 50 — Toque nos sensores 2 e 3 durante a experimentação.



(A) Toque em um dos botões do rádio — sensor 1;

(B) Toque na caixa de som do rádio — sensor 3.

Fonte: Autora (2021).

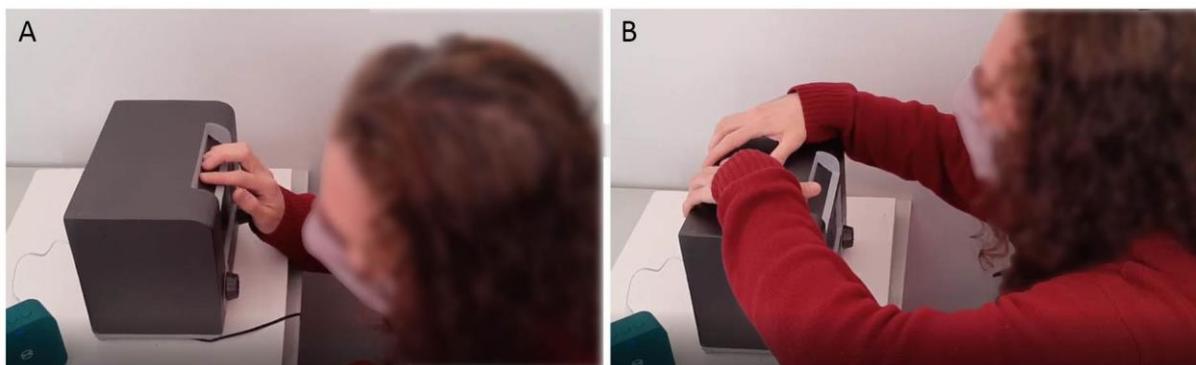
Assim sendo, o consultor volta a tocar no mesmo sensor e a segunda e a terceira faixa de áudio são disparadas na sequência. Por efeito disso, ele segue tocando por mais alguns segundos antes de soltar, prestando atenção dos detalhes que são mencionados na AD da faixa 2, bem como, examinado o local na busca por eles. Quando a terceira faixa é iniciada, o consultor se mostra surpreso e logo volta a explorar a peça por inteiro no intuito de encontrar uma nova área com AD.

Pelo fato de tocar em vários locais ao mesmo tempo, o áudio de toque simultâneo foi acionado e o consultor parou para fazer alguns comentários sobre o que estava achando do processo. Logo, o usuário falou que lhe agradou muito a proposta do guia ao final da explicação e refletiu sobre a ideia de explicar sua existência nas notas introdutórias. Ainda, ressaltou que este fato é inédito em uma exploração tátil, e que facilitou muito a experiência, contribuindo para que nenhuma região seja deixada para trás. Além disso, menciona que achou importante o áudio que explica que mais de uma região está sendo tocada ao mesmo tempo, pois permite escolher qual deseja ouvir em seguida.

Isso posto, a exploração segue o guia sugerido e o próximo sensor a ser conhecido é o botão 1, o qual regulava as estações do rádio (Figura 50 - A). A exploração continua do mesmo modo: assim que o áudio é iniciado o consultor presta muita atenção, segue buscando pelos detalhes que são mencionados na AD e procura pela próxima região (Figura 50 – B; Figura 51). O fato de saber que pode continuar explorando enquanto ouve os áudios também foi importante, visto que, agora ele toca com a ponta dos dedos, de ambas as mãos, em algumas regiões, já que entende que nesse momento o sistema não irá contabilizar o toque simultâneo.

A experiência segue neste formato até o sensor 4, o qual trata do visor das estações do rádio, pois ao tentar acionar o sensor 5, ocorre um erro de leitura e o sistema compreende um toque duplo (Figura 51). Nesse momento a experiência é pausada, o sistema é conectado a IDE do Arduino e são verificadas as calibrações novamente. Aditivamente, o fato é esclarecido ao consultor, que entende a falha na leitura do sensor por conta da necessidade de recalibrar o sistema.

Figura 51 — Toque nos sensores 4 e 5 durante a experimentação.



(A) Toque no visor das estações do rádio — sensor 4;

(B) Toque no corpo do rádio — sensor 5.

Fonte: Autora (2021).

Ao abrir o monitor serial no IDE do Arduino, verifica-se que realmente o problema estava relacionado a calibragem. Um dos sensores seguia enviando informações de leitura mesmo não sendo tocado. Portanto, embora tenham sido realizados diversos testes para estabelecer os valores de referência, uma das hipóteses que podem explicar o ocorrido é a questão de o capacitor não conseguir se descarregar completamente. Como mencionado anteriormente, essas possíveis explicações não puderam ser comprovadas, já que necessitam de um estudo mais aprofundado sobre a tinta. Mas, a vista de resolver a questão e seguir com a experimentação do modelo, foi realizada a calibragem manual, estabelecendo um valor um pouco maior para o acionamento de sensor 5, resolvendo a falha ocorrida.

Após os ajustes realizados, o consultor reinicia a exploração, agora partindo dos sensores que ainda eram desconhecidos por ele. Sendo assim, ele iniciou pelo corpo do rádio, e os próximos sensores foram tocados aleatoriamente, não seguindo as sugestões dos guias em certas vezes. Mas, todos os sensores foram tocados para que a experiência pudesse ser completada.

Assim sendo, quando o consultor tocou novamente no botão 1, percebeu o efeito sonoro de um rádio antigo buscando pelas estações, que era bastante sutil, e ele não havia reparado anteriormente. Na sequência, buscou verificar o efeito que o outro botão fazia, para lembrar e comparar ambos os botões. Em tal caso, o efeito era muito mais evidente, já que se tratava de uma música aumentando e diminuindo o volume. Diga-se de passagem, que era a mesma música utilizada como fundo sonoro nas notas introdutórias, do mesmo modo que, utilizada para exploração livre ao final da experiência.

Ao refletir sobre o ocorrido, o consultor tentou ouvir a mesma faixa novamente, porém somente outro guia foi reproduzido, visto que ele já havia ouvido todas as três faixas de ambos os botões. Diante disso, ele mencionou que seria um fator interessante o sistema permitir a repetição da informação, caso o usuário tocar novamente, e não somente reproduzir o guia. Pois, ele entende que

já ouviu aquela informação, mas quando toca em outros locais e decide retornar em outro sensor é porque gostaria de analisar a informação descrita na AD por outra perspectiva. E por consequência, levantou uma questão muito importante.

Nessa situação a pesquisadora expôs os fatores que levaram a opção de fazer com que o sistema sempre siga adiante, e que o objetivo era informar uma finalização da experiência. Ademais, a pesquisadora explica que havia refletido sobre o assunto, pois não tinha a intenção de impor uma ordem de exploração do usuário para com a peça, e que acreditou tornar a experiência cansativa, caso houvesse muitas repetições. À vista disso, o consultor explicou que, ao impedir a escolha da pessoa com deficiência visual de ouvir novamente uma AD de certa região, seria este um fator imposto realmente, mas que se houvesse a possibilidade de escolha, tornaria a experiência brilhante. Ademais, salientou que gostaria de realizar a experimentação novamente para analisar os botões e seus respectivos efeitos sonoros.

Para tal, o sistema fora reiniciado e o consultor pode verificar a questão pretendida. Por conseguinte, explica que o fato do primeiro efeito sonoro ser tão sutil ele possivelmente iria passar despercebido, mas que seria importante enfatizá-lo. Nesse sentido, a proposta feita por ele fora de buscar por um efeito mais marcante, e que realmente chamasse atenção, da mesma forma que o botão do volume.

Novamente, todos os sensores foram acionados, chegando ao áudio de finalização e de exploração livre. Em seguida, foram levantadas outras questões pelo consultor, bem como, foram realizadas algumas perguntas sobre a experimentação. O primeiro comentário do consultor fora para a inclusão do número de áreas que são disponibilizadas na peça, ainda nas notas introdutórias, no caso 5. Pois mesmo com o áudio de finalização, isso possibilitaria a pessoa com deficiência visual saber o que esperar e pelo o que procurar, mesmo com os guias de navegação inclusos. Adicionalmente, ele enfatizou a questão da inclusão do terceiro nível de informação (guia) nas notas introdutórias, pois, segundo ele, este é um dos diferenciais deste modelo multissensorial.

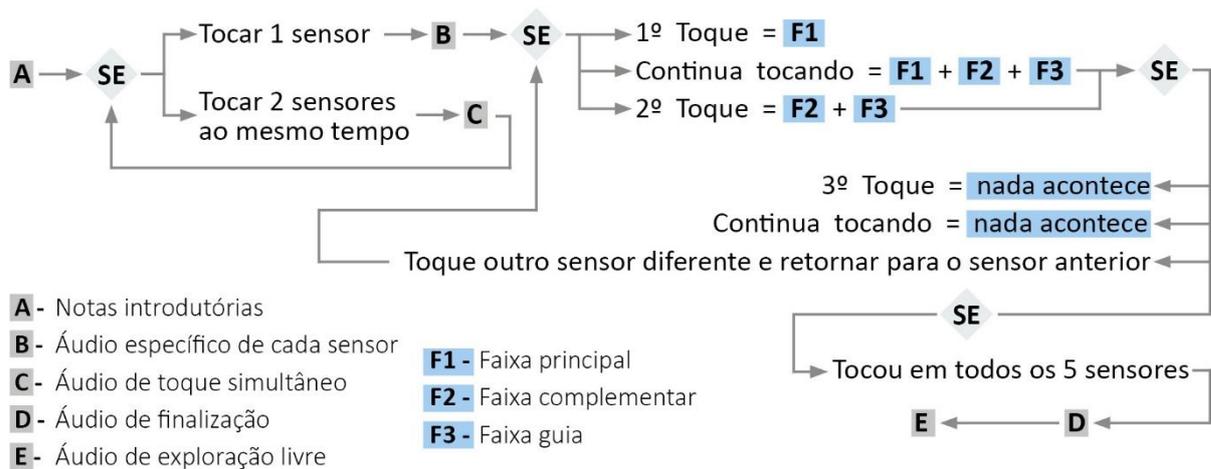
Posteriormente, o consultor destacou que achou muito interessante toda a experiência e que nunca havia testado nenhuma proposta semelhante. Um dos pontos de destaque abordados por ele fora o guia com as sugestões de navegação, bem como, a presença do áudio de finalização, pois deixa claro que não faltou nenhuma informação a ser dada à pessoa com deficiência visual. Além disso, ele expôs que se sentiu à vontade quanto as sugestões, mas reforçou a questão da inclusão da possibilidade de repetição das informações.

Por fim, ele evidenciou a proposta multissensorial manifestando que gostou muito de continuar explorando a peça enquanto ouvia a explicação de tal região. E comentou sobre a boa entonação utilizada na AD, sendo que as regiões foram muito bem explicadas, ajudando para

compreensão de todos os detalhes da peça. Adicionalmente, lembrou do fato de alguns usuários serem impacientes e sugeriu uma sutil diminuição no tempo de retorno entre o toque e a reprodução da AD.

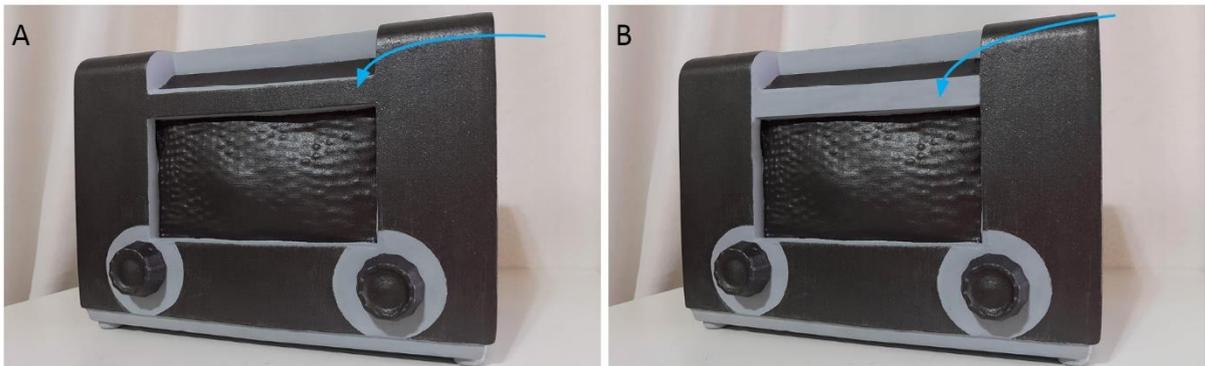
Posto esse cenário, ressalta-se que o feedback dado pelo consultor foi discutido e se decidiu que todas as sugestões seriam atendidas, visto que todas elas otimizariam o sistema e o deixariam mais fluido. Para tal, fora realizado o ajuste na programação, modificando o mapeamento criado e todos os *delays* foram diminuídos ao máximo. Além disso, foi realizada uma nova calibragem do sistema, aumentando o valor para o parâmetro de acionamento dos sensores, e consequentemente impedindo que houvesse novos erros de leitura devido a calibragem (APÊNDICE E). Em seguida, o texto das notas introdutórias foi ajustado, incluindo a quantidade de sensores e a quantidade dos níveis de informações (APÊNDICE B). E fora ajustado o efeito sonoro do botão de sintonia, para que chamasse atenção da mesma forma que o outro. A Figura 52 mostra a lógica da programação ajustada conforme o mapeamento atualizado após a consultoria.

Figura 52 — Lógica final da programação do sistema após as otimizações sugeridas pelo consultor de AD.



Aditivamente, destaca-se outro fator observado durante a experimentação, o qual se refere às áreas de isolamento entre os sensores. Pois, um dos motivos que geraram alguns toques simultâneos na peça fora a área entre a caixa de som (sensor 3) e o visor das estações do rádio (sensor 4), que é uma região pequena, estreita, e faz parte do sensor do corpo do rádio (sensor 5). Portanto, definiu-se que também seria realizado esse ajuste nos limites entre os sensores mencionados (Figura 53).

Figura 53 — Ajuste realizado com tinta para isolar os sensores.



(A) Seta apontando para o local a ser ajustado entre os sensores;

(B) Seta mostrando o local pintado com a tinta não condutora para isolar os sensores 3 e 4.

Fonte: Autora (2021).

A Figura 53 mostra o local pintado para isolar os sensores referidos. A pintura foi realizada utilizando-se uma máscara com fita crepe, a fim de não danificar as outras áreas pintadas. Foram necessárias três demãos de tinta acrílica para cobrir a tinta condutora. A cada demão uma nova máscara foi criada, pois, assim que a tinta é passada a máscara precisa ser retirada para não deixar as bordas marcadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo verificou as estratégias relacionadas a interação entre as pessoas com deficiência visual e as peças museológicas em um contexto multissensorial, identificando uma escassez de iniciativas que abordassem o uso da combinação entre a percepção tátil e auditiva. Para tanto, foram buscadas pesquisas existentes sobre a percepção das pessoas com deficiência visual no tocante à compreensão da forma, para que fosse possível entender que não há uma compensação direta dos outros sentidos quando o da visão não está presente, mas existe uma reinvenção cognitiva e um redirecionamento da atenção para os demais sentidos. Também, averiguou-se que a combinação da percepção auditiva e tátil é mais enriquecedora para a formulação de imagens mentais, compensando a perda da visão.

Nesse contexto, verificou-se que, das estratégias utilizadas, a audiodescrição por mediadores é a mais comum, seguida pelo toque de algumas obras originais do acervo. Em alguns casos, um modelo tátil é disponibilizado e, praticamente, não há modelos multissensoriais oferecidos para as pessoas com deficiência visual. Entre os trabalhos revisados, são mais comuns estudos em que as pinturas são convertidas em diagramas táteis e baixos-relevos, e poucos tratam de réplicas tridimensionais. Dentre os trabalhos que utilizaram sistemas multissensoriais, seja de peças tridimensionais, obras arquitetônicas escaladas ou pinturas convertidas em baixo-relevo, observou-se o uso de diferentes tipos de sensores para detectar o toque, não existindo um senso comum.

Isso posto, foi percebida uma lacuna relacionada aos sistemas multissensoriais, e a seleção de uma forma de detecção de toque que fosse efetiva para réplicas de peças tridimensionais. Diante disso, a partir das tecnologias 3D disponibilizadas no LDSM, foi desenvolvido um sistema multissensorial, que combina o tato e a audição, e fora avaliada sua viabilidade para implementação futura em um museu. Para tal, optou-se por colocá-lo à prova por meio de uma consultoria com uma pessoa com deficiência visual, que é profissional da área de audiodescrição.

Para a concepção do sistema fora criada uma metodologia baseada em estudos anteriores, iniciando-se na seleção de uma peça do Museu de Porto Alegre Joaquim José Felizardo, seguida pela sua digitalização tridimensional. Para que fosse possível desenvolver o sistema multissensorial e a adaptá-lo ao modelo virtual, foi preciso selecionar um tipo de sensor. Com isso, a réplica foi produzida através da fabricação digital, por meio da impressão 3D. Na sequência, foi estudada e produzida uma tinta condutora, destinada a fazer o papel de sensor capacitivo de toque, e em paralelo, fora realizado o acabamento e a montagem da peça. Por fim, os textos das audiodescrições foram escritos, revisados e gravados, para que assim a peça pudesse ser testada e posteriormente avaliada.

Durante a realização desses processos algumas adaptações precisaram ser realizadas. Como exemplo cita-se a modelagem da peça, visto que houve erros na digitalização e geração de malha, bem como, cita-se o processo de fabricação, que resultou em falhas na impressão 3D que precisaram ser

corrigidas manualmente. Em ambos os casos, a forma ideal de corrigi-los seria repetir os procedimentos. Entretanto, o tempo envolvido para a realização, bem como, os custos relacionados, tornaram as soluções utilizadas desejáveis.

No que se relaciona a digitalização tridimensional, destaca-se que a peça selecionada para o uso neste estudo fora de geometria simples, fazendo com que o foco principal estivesse no sistema desenvolvido. Mas, é preciso salientar que, muitas vezes, as peças de museus são compostas por um maior número de detalhes. Além disso, conforme revisado, é mais interessante para a pessoa com deficiência visual tocar em peças mais detalhadas. Então, considerando uma futura aplicação do sistema em outras réplicas, é aconselhável seguir o planejamento metodológico inicial para obtenção de um melhor resultado e acabamento.

Se tratando da impressão 3D realizada, é importante ressaltar que a única questão que inviabilizou sua nova produção foram os custos de serviço envolvidos, que podem ser observados no Apêndice F. Pois, o maior orçamento deste estudo foi destinado para a compra dos componentes do circuito montado para o sistema. Portanto, a necessidade de realizar os acabamentos na peça, principalmente no que concerne refazer algumas bordas, foram oportunos diante do ocorrido. Ainda, a depender do orçamento de cada projeto, outras tecnologias de impressão 3D podem ser utilizadas para produção de peças mais detalhadas.

A respeito da tinta condutora produzida, é preciso salientar que o uso e aplicação da mesma como um sensor capacitivo de toque fora eficiente para o presente caso. Entretanto, para aplicações futuras, é aconselhável aprofundar os testes na busca por uma tinta menos viscosa que resulte em uma textura ainda menos áspera, e que possa manter as mesmas características condutivas. Já que, assim, ao se tratar de uma peça com detalhes pequenos sua espessura não iria influenciar na percepção tátil. Ainda, sugere-se para estudos futuros a verificação da possibilidade de diluição da tinta para aplicação através de pistola e compressor de ar, a fim de melhorar o acabamento superficial ao toque e evitar as marcas do pincel.

Ainda, é recomendável realizar a caracterização deste material para a compreensão e explicação de algumas hipóteses levantadas. A exemplo, cita-se a questão da calibração do sistema, a qual fora contornada através do programa desenvolvido, mas poderia ser melhor solucionada compreendendo as características elétricas da tinta, visto que necessitou de um reajuste durante a experimentação na consultoria. Assim sendo, se acredita que entendendo melhor ao que se baseiam os fatores variáveis da tinta, que influenciam na calibragem do sistema, será possível tornar o sistema mais eficaz.

No que versa sobre a fluidez no sistema, os ajustes nos *delays* melhoram a questão levantada pelo consultor, pois, o tempo relativo ao intervalo entre o acionamento e a efetiva reprodução do áudio está ligado ao tempo em que o programa leva para percorrer todo o código escrito. Nesse

sentido, todos os refinamentos possíveis foram realizados. Salienta-se que para reduzir mais o tempo, são necessárias modificações mais aprofundadas no programa, ou talvez a mudança de componentes como a placa controladora. Portanto, é aconselhável realizar testes com alguma destas modificações para analisar qual opção teria maior efeito. Mas, destaca-se que o pedido feito pelo consultor referente a este ajuste era mínimo e foi atendido para o presente caso.

Outro ponto que poderia ser refinado para obter melhor desempenho do sistema seria a modificação do circuito montado na *protoboard* para uma placa de circuito próprio. Pois, segundo analogias aos trabalhos já realizados no LDSM, esta mudança pode influenciar no ruído residual que ficou presente no sistema. Entretanto, influenciaria em maiores custos de aplicação. Ainda, poderia ser desenvolvida uma placa de circuito versátil, com um número maior de entradas para sensores, a qual poderia ser aplicada a diferentes casos de modelos multissensoriais similares ao aqui proposto.

Contudo, apesar dos refinamentos que poderiam deixar o sistema ainda melhor, é válido mencionar que ele já poderia ser implementado desta maneira em um museu. A intenção é deixar o código em acesso aberto, para que qualquer museu possa utilizá-lo e implementá-lo em suas réplicas táteis, tornando-as multissensoriais. O fato de utilizar uma tinta como sensor de toque torna a montagem do sistema muito simples. Além disso, como o circuito é montado em uma *protoboard*, com poucos componentes, e ligado ao Arduino, o custo-benefício se torna viável.

Diante disso, todos os testes realizados comprovam que o sistema desenvolvido é eficiente e inédito quanto ao auxílio na percepção da forma para uma pessoa com deficiência visual. Visto que, com as otimizações realizadas após a consultoria, o sistema multissensorial tornou-se autossuficiente. Nesse sentido, a pessoa com deficiência visual tem a liberdade de utilizar o sistema de múltiplas formas, seja seguindo a orientação sugerida, seja explorando conforme desejado, bem como, retomando alguma informação que gostaria de ouvir novamente. O fato de incluir o número de sensores nas notas introdutórias, da mesma forma, à torna independente, já que ela sabe exatamente pelo o que buscar. Além disso, assim como ressaltou o consultor de AD, o uso do áudio de finalização da experiência afirma para a pessoa com deficiência visual que ela não deixou passar nenhuma informação. Acredita-se que modelos multissensoriais interativos e tecnológicos, como o aqui proposto, podem beneficiar a todos os visitantes e, ainda, podem aproximar diferentes públicos aos museus, inclusive jovens, por exemplo.

Por conseguinte, destaca-se como uma das sugestões para trabalhos futuros o desenvolvimento de um manual de implementação do sistema para qualquer peça tridimensional, ou semi-tridimensional de um museu. A ideia principal é organizar as informações do sistema para a configuração de novos sensores, com a possibilidade de inclusão de mais regiões e facilitar a compreensão do programa criado, guiando, também, o desenvolvimento das audiodescrições,

destacando dicas e orientações para seu desenvolvimento e aplicação. Assim, a modificação das variáveis tornará o sistema multissensorial criado aplicável para qualquer peça.

Ainda, conforme a necessidade de isolamento de uma das regiões da peça, observada durante a experimentação pelo consultor, fica a cargo de estudos futuros analisar uma margem de segurança entre os sensores, para evitar a repetição do toque simultâneo, podendo ser similar àquela criada no contorno dos botões neste estudo. Além disso, sugere-se também, que para trabalhos futuros, há possibilidade de explorar a inclusão de peças móveis, como exemplo, cita-se os botões do rádio, a fim de aprofundar a experiência sensorial. Por fim, é válido mencionar que toda e qualquer iniciativa desenvolvida com foco nas interações sensoriais e acessibilidade, dentro do museu como um todo, também é uma maneira de promoção, favorecendo a educação patrimonial, a valorização e, conseqüentemente, a preservação do patrimônio cultural.

REFERÊNCIAS

ABD, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISLEXIA. **O que é dislexia?** Disponível em: <<http://www.dislexia.org.br/o-que-e-dislexia/>>. Acesso em: 19 de agosto de 2019.

AD, Blog da Audiodescrição. **Audiodescrição.** Disponível em: <<http://www.blogdaaudiodescricao.com.br/audiodescricao>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2019.

ALMEIDA, José Júlio Gavião; OLIVEIRA FILHO, Ciro Winckler. A Iniciação e o Acompanhamento do Atleta Deficiente Visual. In: **Sociedade Brasileira de Atividade Motora Adaptada – Temas em Educação Física Adaptada**. Curitiba: SOBAMA, 2001, p.81-85.

ANAGNOSTAKIS, Giorgos et al. Accessible museum collections for the visually impaired: combining tactile exploration, audio descriptions and mobile gestures. In: **Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct**. ACM, 2016. p. 1021-1025.

ANDREOTTI, Isabela Aparecida de Araujo et al. Disposable and flexible electrochemical sensor made by recyclable material and low cost conductive ink. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 840, p. 109-116, 2019.

ANSALDI, Barbara. Perspective and the Blind: Towards a communication of painted spaces to the visually impaired. In: Cocchiarella, Luigi (Ed.). **ICGG 2018 - Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics**. Milão: Springer, 2019, p. 541-552. ISBN 978-3-319-95588-9.

ARBAB, Alvira Ayoub et al. Fabrication of conductive and printable nano carbon ink for wearable electronic and heating fabrics. **Journal of colloid and interface science**, v. 539, p. 95-106, 2019.

ARDUINO. **Funções: analog read.** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/analog-io/analogread/>>. Acesso em: 23 de setembro de 2021a.

ARGYROPOULOS, Vassilios S.; KANARI, Charikleia. Re-imagining the museum through “touch”: Reflections of individuals with visual disability on their experience of museum-visiting in Greece. **Alter**, 2015, v. 9, n. 2, p. 130-143.

ARTEC GROUP. **ARTEC 3D** - Professional 3D Scanning Solutions. Luxemburgo. Disponível em: <<https://www.artec3d.com/>>. Acesso em: 22 de agosto de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16452**: Acessibilidade na comunicação — Audiodescrição. Rio de Janeiro, 2016.

AUTODESK. **Suporte e aprendizado: operações booleanas**. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/powershape/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/PWRS-ReferenceHelp/files/GUID-F83FDD1E-2DFA-496A-8168-A3CE69761F24-htm.html>>. Acesso em: 17 de setembro de 2021.

ÁVILA, Marcos; ALVES, Milton Ruiz Alves; NISHI, Mauro. **As condições de saúde ocular no Brasil**. São Paulo: Conselho Brasileiro de Oftalmologia, 2015. 147 p.

AZIM, S. Syed et al. Studies on graphite based conductive paint coatings. **Progress in Organic Coatings**, v. 55, n. 1, p. 1-4, 2006.

BALLARIN, Martina; BALLETTI, C.; VERNIER, P. REPLICAS IN CULTURAL HERITAGE: 3D PRINTING AND THE MUSEUM EXPERIENCE. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences**, v. 42, n. 2, 2018.

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

BAMBERG, Márcia Beatriz dos Santos. EXPERIÊNCIAS DE ACESSIBILIDADE NO MUSEU DE PORTO ALEGRE JOAQUIM FELIZARDO. **Expressa Extensão**, 2014, v. 19, n. 2, p. 77-89.

BARDOT, Sandra et al. Quick-glance and in-depth exploration of a tabletop map for visually impaired people. In: **Proceedings of the 26th Conference on l'Interaction Homme-Machine**. ACM, 2014. p. 165-170.

BEARMAN, David. 3D Representations in museums. **Curator: The Museum Journal**, v. 54, n. 1, p. 55-61, 2011.

BRASIL, Nações Unidas. **A ONU e as pessoas com deficiência**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/pessoas-com-deficiencia/>>. Acesso em: 01 de Agosto de 2019.

BRASIL. **Decreto nº 5.296, de 02 de dezembro de 2004**. Regulamenta as Leis nos 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras

providências. Brasília, 2004. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5296.htm>.

BRASIL. **Decreto nº 6.949, de 25 de Agosto de 2009.** Promulga a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo, assinados em Nova York, em 30 de março de 2007. Brasília, 2009. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6949.htm>.

BRASIL. **Decreto nº 7.612, de 17 de Novembro de 2011.** Institui o Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência - Plano Viver sem Limite. Brasília, 2011. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7612.htm>.

BRASIL. **Lei nº 10.048, de 08 de novembro de 2000.** Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e dá outras providências. Brasília, 2000. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10048.htm>.

BRASIL. **Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000.** Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. Brasília, 2000. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10098.htm>.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de Julho de 2015.** Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Brasília, 2015. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm>.

BRASIL. Ministério das Comunicações. **Portaria 310** – de 27 de junho de 2006. Aprova a Norma Complementar nº 01/2006 - Recursos de acessibilidade, para pessoas com deficiência, na programação veiculada nos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão. Diário Oficial da União. Brasília, 2006. Disponível em: < <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=34&data=28/06/2006>>.

BRASIL. Ministério das Comunicações. **Portaria 188** — de 24 de Março de 2010. Altera o subitem 3.3 e o item 7 da Norma Complementar no 01/2006 - Recursos de acessibilidade, para pessoas com deficiência, na programação veiculada nos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão, aprovada pela Portaria no 310, de 27 de junho de 2006. Diário Oficial da União. Brasília, 2010. Disponível em: <

<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=153&data=25/03/2010>
>.

BRITO, Caio et al. Multimodal augmentation of surfaces using conductive 3D printing. In: **ACM SIGGRAPH 2016 Posters**. ACM, 2016. p. 15.

BUONAMICI, Francesco et al. Making blind people autonomous in the exploration of tactile models: A feasibility study. In: **International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction**. Springer, Cham, 2015. p. 82-93.

BUONAMICI, Francesco et al. Are We Ready to Build a System for Assisting Blind People in Tactile Exploration of Bas-Reliefs?. **Sensors**, v. 16, n. 9, p. 1361, 2016.

CAMARGO, Jessica Rocha et al. Development of conductive inks for electrochemical sensors and biosensors. **Microchemical Journal**, p. 105998, 2021.

CANDLIN, Fiona. Blindness, Art and Exclusion in Museums and Galleries. **International Journal of Art Design Education**, v. 22(1), p. 100 –110, 2003.

CANDLIN, Fiona. Don't Touch! Hands Off! Art, Blindness and the Conservation of Expertise. **Body & Society**, v. 10(1), p. 71- 90, 2004.

CANDLIN, Fiona. The dubious inheritance of touch: Art history and museum access. **Journal of Visual Culture**, v. 5, n. 2, p. 137-154, 2006.

CANTONI, Virginio et al. Art Masterpieces Accessibility for Blind and Visually Impaired People. In: **International Conference on Computers Helping People with Special Needs**. Springer, Cham, 2018. p. 267-274.

CAPURRO, Carlotta; NOLLET, Dries; PLETINCKX, Daniel. Tangible interfaces for digital museum applications. In: **2015 Digital Heritage**. IEEE, 2015. p. 271-276.

CARDOSO, Eduardo et al. Tecnologias Tridimensionais para Acessibilidade em Museus. **Blucher Design Proceedings**, v. 1, n. 7, p. 444-448, 2013.

CARDOSO, Eduardo. **Design para Experiência Multissensorial em Museus**: fruição de objetos culturais por pessoas com deficiência visual. Orientador: Tânia Luisa Koltermann da Silva. 2016. 590 f. Tese (Doutorado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2016. Versões impressa e eletrônica.

CARDOSO, Eduardo; SILVA, Tânia Luisa Koltermann da; ZARDO, Kemi Oshiro. Design para experiência multissensorial em museus. **Revista da FAEEBA-Educação e Contemporaneidade**, v. 26, n. 50, p. 135-158, 2017.

CARFAGNI, Monica et al. Tactile representation of paintings: an early assessment of possible computer based strategies. In: **Euro-Mediterranean Conference**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 261-270.

CARROZZINO, Marcello; BERGAMASCO, Massimo. Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums. **Journal of Cultural Heritage**, v. 11, n. 4, p. 452-458, 2010.

CATTANEO, Zaira et al. Imagery and spatial processes in blindness and visual impairment. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 32, n. 8, p. 1346-1360, 2008.

CBO, Conselho Brasileiro de Oftalmologia. **Catarata: Definição e Classificação**. Disponível em: <<https://www.cbo.net.br/novo/publico-geral/catarata.php>>. Acesso em: 08 de Setembro de 2019a.

CBO, Conselho Brasileiro de Oftalmologia. **Retinopatia Diabética**. Disponível em: <https://www.cbo.net.br/novo/publico-geral/retinopatia_diabetica.php>. Acesso em: 08 de Setembro de 2019b.

CBO, Conselho Brasileiro de Oftalmologia. **Tudo sobre DMRI**. Disponível em: <<http://www.cbo.net.br/novo/publico-geral/tudo-sobre-dmri.php>>. Acesso em: 08 de Setembro de 2019c.

ICF, Classificação Internacional de funcionalidade, incapacidade e saúde. Lisboa: Organização Mundial da Saúde, 2004.

D'AGNANO, F. et al. Tooteko: A case study of augmented reality for an accessible cultural heritage. Digitization, 3D printing and sensors for an audio-tactile experience. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40, n. 5, p. 207, 2015.

DE COSTER, Karin; MÜHLEIS, Volkmar. Intersensorial translation: visual art made up by words. In: **Media for all**. Brill Rodopi, 2007. p. 189-200.

DISABILITY AND DEVELOPMENT REPORT. New York: United Nations, 2018. ISBN: 9789211303797

DUDLEY, Sandra H. What, or Where, Is the (Museum) Object?: Colonial Encounters in Displayed Worlds of Things. **The International Handbooks of Museum Studies**, p. 41-62, 2013.

DURSIN, Arzu Gurdal. Information design and education for visually impaired and blind people. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 46, p. 5568-5572, 2012.

EARDLEY, Alison F. et al. Redefining Access: Embracing multimodality, memorability and shared experience in Museums. **Curator: The Museum Journal**, v. 59, n. 3, p. 263-286, 2016.

FILIFELOP. **Sensor Touch capacitivo TTP223B**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-touch-capacitivo-ttp223b/>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021a.

FILIFELOP. **Substituindo delay por millis no Arduino**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/substituindo-delay-por-millis-no-arduino/>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021b.

FRANCO, Maria Ignez Mantovani. Planejamento e Realização de Exposições – Brasília, DF: Ibram, 2018. 230 p. **Coleção Cadernos Museológicos - 3**, ISBN 978-85-63078-65-0.

FRISOLI, Antonio et al. Evaluation of the pure-form haptic displays used for exploration of works of art at museums. In: **World haptics conference, Pisa, March**. 2005. p. 18-20.

FRITZING. **Download**. Disponível em: <<https://fritzing.org/download/>>. Acesso em: 23 de setembro de 2021.

FUNDAÇÃO DORINA NOWILL PARA CEGOS. **O que é visão subnormal ou baixa visão?** Disponível em: <<https://www.fundacaodorina.org.br/a-fundacao/deficiencia-visual/o-que-e-visao-subnormal-ou-baixa-visao/>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

FURFERI, Rocco et al. From 2D to 2.5 D ie from painting to tactile model. **Graphical Models**, v. 76, n. 6, p. 706-723, 2014.

GARRIDO, Pilar Castro; RUIZ, Irene Luque; GÓMEZ-NIETO, Miguel Ángel. Support for visually impaired through mobile and NFC technology. In: **International Conference on IT Revolutions**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 116-126.

GERONAZZO, Michele et al. Interactive spatial sonification for non-visual exploration of virtual maps. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 85, p. 4-15, 2016.

GIBSON, James J. Observations on active touch. **Psychological review**, v. 69, n. 6, p. 477, 1962.

GIL, Antonio Carlos et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Marta (Org.). **Cadernos da Tv Escola: deficiência visual**. Brasília: Mec: Ministério da Educação Secretaria de Educação a Distância, 2000. 80 p.

GÖTZELMANN, Timo; PAVKOVIC, Aleksander. Towards automatically generated tactile detail maps by 3D printers for blind persons. In: **International Conference on Computers for Handicapped Persons**. Springer, Cham, 2014. p. 1-7.

GOVERNI, Lapo et al. Tactile exploration of paintings: an interactive procedure for the reconstruction of 2.5 D models. In: **22nd Mediterranean Conference on Control and Automation**. IEEE, 2014. p. 14-19.

GUAL, Jaume; PUYUELO CAZORLA, Marina; LLOVERAS MACIÀ, Joaquim. Analysis of volumetric tactile symbols produced with 3D printing. **ACHI 2012 : The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions**, 2012.

GUAL, Jaume; PUYUELO, Marina; LLOVERAS, Joaquim. Three-dimensional tactile symbols produced by 3D Printing: Improving the process of memorizing a tactile map key. **British Journal of Visual Impairment**, v. 32, n. 3, p. 263-278, 2014.

GUAL, Jaume; PUYUELO, Marina; LLOVERAS, Joaquim. The effect of volumetric (3D) tactile symbols within inclusive tactile maps. **Applied ergonomics**, v. 48, p. 1-10, 2015a.

GUAL, Jaume; PUYUELO, Marina; LLOVERAS, Joaquim. Improving tactile map usability through 3D printing techniques: an experiment with new tactile symbols. **The Cartographic Journal**, v. 52, n. 1, p. 51-57, 2015b.

HANDA, Kozue; DAIROKU, Hitoshi; TORIYAMA, Yoshiko. Investigation of priority needs in terms of museum service accessibility for visually impaired visitors. **British journal of visual impairment**, v. 28, n. 3, p. 221-234, 2010.

HELLER, M. e GENTAZ, E. **Psychology of Touch and Blindness**. New York-London: **Psychology Presse**, 2013.

HELERBROCK, Rafael. **Brasil Escola: O que é capacitor?** Disponível em:

<<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-capacitor.htm>>. Acesso em 16 de setembro de 2021.

HETHERINGTON, Kevin. The Unsightly. **Theory, culture & society**, v. 19, n. 5-6, p. 187-205, 2002.

HILLIS, Catherine. Talking Images: Museums, galleries and heritage sites. In: **International Congress Series**. Elsevier, 2005. p. 855-859.

HOF, Ferdinand et al. Conductive inks of graphitic nanoparticles from a sustainable carbon feedstock. **Carbon**, v. 111, p. 142-149, 2017.

HOLLAND, Andrew. Audio description in the theatre and the visual arts: images into words. In: **Audiovisual Translation**. Palgrave Macmillan, London, 2009. p. 170-185.

HÖTTING, Kirsten; RÖDER, Brigitte. Auditory and auditory-tactile processing in congenitally blind humans. **Hearing research**, v. 258, n. 1-2, p. 165-174, 2009.

HTWE, Y. Z. N.; MARIATTI, M. Surfactant-assisted water-based graphene conductive inks for flexible electronic applications. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**: características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf>. Acesso em: 26 de Abril de 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Nota Técnica 01/2018**: Releitura dos dados de pessoas com deficiência no Censo Demográfico 2010 à luz das recomendações do Grupo de Washington. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/metodologia/notas_tecnicas/nota_tecnica_2018_01_censo2010.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2020.

IIDA, Itiro; CORRÊA, Max Barcellos. **Ergonomia do manejo**. 1971. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1971.

ISTITUTO DEI CIECHI FRANCESCO CAVAZZA. Origens do Museu. Disponível em: <<https://www.cavazza.it/drupal/it/node/332>>. Acesso em: 8 de Agosto de 2019.

ISLAM, Rashedul et al. Fabrication of low cost and scalable carbon-based conductive ink for E-textile applications. **Materials Today Communications**, v. 19, p. 32-38, 2019.

INSTITUTO PORTUGUÊS DE MUSEUS. **Museus e Acessibilidade**. Lisboa: Ministério da Cultura: Instituto Português de Museus (Temas de Museologia), 2004.

JANSSON, Gunnar; BERGAMASCO, Massimo; FRISOLI, Antonio. A new option for the visually impaired to experience 3D art at museums: manual exploration of virtual copies. **Visual Impairment Research**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2003.

JEAMWATTHANACHAI, Watthanasak; WALD, Michael; WILLS, Gary. Spatial representation framework for better indoor navigation by people with visual impairment. **Journal of Enabling Technologies**, 2018.

JEAMWATTHANACHAI, Watthanasak; WALD, Mike; WILLS, Gary. Indoor navigation by blind people: Behaviors and challenges in unfamiliar spaces and buildings. **British Journal of Visual Impairment**, v. 37, n. 2, p. 140-153, 2019.

KAKLANIS, Nikolaos; VOTIS, Konstantinos; TZOVARAS, Dimitrios. Open Touch/Sound Maps: A system to convey street data through haptic and auditory feedback. **Computers & Geosciences**, v. 57, p. 59-67, 2013.

KASTRUP, Virgínia. A invenção na ponta dos dedos: a reversão da atenção em pessoas com deficiência visual. **Psicologia em Revista**, v. 13, n. 1, p. 69-89, 2007.

KASTRUP, Virgínia. O tátil e o háptico na experiência estética: considerações sobre arte e cegueira. **Revista Trágica: estudos de filosofia da imanência**, 3º quadrimestre, v. 8, n. 3, p. 69-85, 2015.

KLATZKY, Roberta L.; LEDERMAN, Susan J.; REED, Catherine. There's more to touch than meets the eye: The salience of object attributes for haptics with and without vision. **Journal of experimental psychology: general**, v. 116, n. 4, p. 356, 1987.

KLEEGER, Georgina. **More Than Meets the Eye**: What blindness brings to art. New York: Oxford University Press, 2018.

KLEEGER, Georgina; WALLIN, Scott. Audio Description as a pedagogical tool. **Disability Studies Quarterly**, v. 35, n. 2, 2015.

KONGKAEW, Supatinee et al. Studying the preparation, electrochemical performance testing, comparison and application of a cost-effective flexible graphene working electrode. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 583, p. 487-498, 2021.

KOSMAS, Panagiotis et al. Enhancing accessibility in cultural heritage environments: considerations for social computing. **Universal Access in the Information Society**, p. 1-12, 2019.

KUSAYAMA, Kozue. Access to museums for visually challenged people in Japan. In: **International Congress Series**. Elsevier, 2005. p. 877-880.

LAHAV, Orly; MIODUSER, David. Haptic-feedback support for cognitive mapping of unknown spaces by people who are blind. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 66, n. 1, p. 23-35, 2008.

LANDAU, Steven; GOURGEY, Karen. Development of a talking tactile tablet. **Information Technology and Disabilities**, v. 7, n. 2, 2001.

LEE, Cheng-Lung. An evaluation of tactile symbols in public environment for the visually impaired. **Applied ergonomics**, v. 75, p. 193-200, 2019.

LEDERMAN, Susan J.; KLATZKY, Roberta L. Extracting object properties through haptic exploration. **Acta psychologica**, v. 84, n. 1, p. 29-40, 1993.

LEDERMAN, Susan J.; KLATZKY, Roberta L. Relative availability of surface and object properties during early haptic processing. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 23(6), 1680-1707, 1997.

LORA, Tomázia Dirce Peres. Descobrimo o real papel das outras percepções, além da visão, para a orientação e mobilidade. In: MOTA, Maria Glória Batista da. **Orientação e Mobilidade: Conhecimentos básicos para a inclusão da pessoa com deficiência visual**. Brasília: Mec, Seesp, 2003. Cap. 3. p. 58-67.

MAJEWSKI, Janice; BUNCH, Lonnie. The expanding definition of diversity: accessibility and disability culture issues in museum exhibitions. **Curator: The Museum Journal**, v. 41, n. 3, p. 153-160, 1998.

MAGALHÃES, Célia M.; ARAÚJO, Vera Lúcia Santiago. Metodologia para elaboração de audiodescrições para museus baseada na semiótica social e multimodalidade: introdução teórica e prática. **Revista latinoamericana de estudios del discurso**, v. 12, n. 1, p. 31-55, 2016.

MESQUITA, Susana; CARNEIRO, Maria João. Accessibility of European museums to visitors with visual impairments. **Disability & Society**, v. 31, n. 3, p. 373-388, 2016.

MONTUSIEWICZ, Jerzy; MIŁOSZ, Marek; KĘSIK, Jacek. Technical aspects of museum exposition for visually impaired preparation using modern 3D technologies. In: **2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**. IEEE, 2018. p. 768-773.

MOTTA, LMV. Audiodescrição na escola: abrindo caminhos para leitura de mundo. 2016. **Pontes Editora**. Campinas, 2015.

MUNDO DA ELÉTRICA. **Como funcionam os capacitores?** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funcionam-os-capacitores/>>. Acesso em: 23 de setembro de 2021.

MUSEO TATTILE STATALE OMERO. **Trabalho**. Disponível em: <<https://www.museoomero.it/>>. Acesso em: 24 de agosto de 2021.

MUSEO TIFOLÓGICO DA ONCE. **A coleção**. Disponível em: <<https://museo.once.es/>>. Acesso em: 24 de agosto de 2021.

MUSEU DE PORTO ALEGRE JOAQUIM FELIZARDO. **História**. Disponível em: <<http://www.museudeportoalegre.com/historia/>>. Acesso em: 23 de Maio de 2019.

MUSEUM IN A BOX. **The Box**. Disponível em: <<https://museuminabox.org/>>. Acesso em 18 de junho de 2020.

MY CREATE: SOLUÇÕES CRIATIVAS. **Impressão 3D**. Disponível em: <<https://www.mycreate.com.br/impresao3d>>. Acesso em: 18 de setembro de 2021.

NEUMÜLLER, Moritz et al. 3D printing for cultural heritage: Preservation, accessibility, research and education. In: **3D Research Challenges in Cultural Heritage**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. p. 119-134.

NEVES, Josélia. **Guia da Audiodescrição**: imagens que se ouvem. Instituto Nacional para Reabilitação/Instituto Politécnico de Leiria, 2011.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Office of the High Commissioner for Human Rights**. Disponível em: <<https://www.ohchr.org/EN/Issues/Disability/Pages/DisabilityIndex.aspx>> Acesso em: 26 de Abril de 2019.

OIKONOMIDIS, Iason; KYRIAZIS, Nikolaos; ARGYROS, Antonis A. Efficient model-based 3D tracking of hand articulations using Kinect. In: **BmVC**. 2011. p. 3.

OMS, Organização Mundial da Saúde. **Relatório Mundial Sobre a Deficiência, 2011**. Disponível em:<http://www.pessoacomdeficiencia.sp.gov.br/usr/share/documents/RELATORIO_MUNDIAL_COMPLETO.pdf>. Acesso em: 26 de Abril de 2019.

ONCE. **O Museu Tiflológico**. Disponível em: < <https://www.once.es/>>. Acesso em 01 de Maio de 2019.

OOUCHI, Susumu; YAMAZAWA, Kenji; SECCHI, Lorreta. Reproduction of tactile paintings for visual impairments utilized three-dimensional modeling system and the effect of difference in the painting size on tactile perception. In: **International Conference on Computers for Handicapped Persons**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. p. 527-533.

OTT, Michela; POZZI, Francesca. Towards a new era for Cultural Heritage Education: Discussing the role of ICT. **Computers in Human Behavior**, v. 27, n. 4, p. 1365-1371, 2011.

PARK, Chung Hyuk; RYU, Eun-Seok; HOWARD, Ayanna M. Telerobotic haptic exploration in art galleries and museums for individuals with visual impairments. **IEEE transactions on Haptics**, v. 8, n. 3, p. 327-338, 2015.

PAZ, Fábio Josende; BASTIANI, Ederson; CARDOSO, Eduardo. Audiodescrição para exploração tátil em museu: um estudo de caso com o aplicativo QR DomDiogo. **Perry, Gabriela Trindade; Cardoso, Eduardo; Kulpa, Cíntia Costa (Orgs.). Informática na educação: recursos de acessibilidade da comunicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2019. p. 35-59, 2019.**

PETRIDIS, Panagiotis et al. The EPOCH multimodal interface for interacting with digital heritage artefacts. In: **International Conference on Virtual Systems and Multimedia**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. p. 408-417.

PEREIRA, Luiza Percevallis; VEIGA, Maria da Luz Costa Milan. **Deficiência visual e surdocegueira: encontro pelas mãos**. 1 ed. São Paulo: Mais Diferenças, 2009.

PITANO, Sandro de Castro; NOAL, Rosa Elena. Cegueira e representação mental do conhecimento por conceitos: comparação entre cegos congênitos e adquiridos. **Educação Unisinos**, v. 22, n. 2, p. 128-137, 2018.

PLETINCKX, Daniel. Virtex: a multisensory approach for exhibiting valuable objects. Know how books museums: EPOCH, 2007.

PORTELLA, Isabel Sanson. Acessibilidade Plena. In: BRASÍLIA. INSTITUTO BRASILEIRO DE MUSEUS. (Comp.). **Caderno da Política Nacional de Educação Museal**. Brasília: Ibram, 2018. p. 58-61

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smc/default.php?p_secao=278> Acesso em: 23 de Maio de 2019.

PRADELA-FILHO, L. A. et al. Nail polish and carbon powder: An attractive mixture to prepare paper-based electrodes. **Electrochimica Acta**, v. 258, p. 786-792, 2017.

PRADELA-FILHO, Lauro A. et al. Glass varnish-based carbon conductive ink: A new way to produce disposable electrochemical sensors. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 305, p. 127433, 2020.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

RAMOS, MARIANA. Museum in a Box: um projeto de design inclusivo na acessibilidade museológica. **Croma** 14, v. 7, n. 14, p. 58, 2019.

RCA, Radio Corporation of America. **Brand History**. Disponível em: <<https://www.rcaaudiovideo.com/history/>>. Acesso em: 27 de janeiro de 2021.

REICHINGER, Andreas; MAIERHOFER, Stefan; PURGATHOFER, Werner. High-quality tactile paintings. **Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)**, v. 4, n. 2, p. 5, 2011.

REICHINGER, Andreas et al. Computer-aided design of tactile models. In: **International Conference on Computers for Handicapped Persons**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 497-504.

REICHINGER, Andreas et al. A Concept for Re-Useable Interactive Tactile Reliefs. In: **International Conference on Computers Helping People with Special Needs**. Springer, Cham, 2016a. p. 108-115.

REICHINGER, Andreas et al. Gesture-based interactive audio guide on tactile reliefs. In: **Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility**. ACM, 2016b. p. 91-100.

REICHINGER, Andreas et al. Spaghetti, Sink and Sarcophagus: Design Explorations of Tactile Artworks for Visually Impaired People. In: **Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction**. ACM, 2016c. p. 82.

REICHINGER, Andreas; CARRIZOSA, Helena Garcia; TRAVNICEK, Cornelia. Designing an Interactive Tactile Relief of the Meissen Table Fountain. In: **International Conference on Computers Helping People with Special Needs**. Springer, Cham, 2018. p. 209-216.

REICHINGER, Andreas et al. Pictures in your mind: using interactive gesture-controlled reliefs to explore art. **ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)**, v. 11, n. 1, p. 2, 2018.

RENER, Roman. The 3D Printing of Tactile Maps for Persons with Visual Impairment. In: **International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction**. Springer, Cham, 2017. p. 335-350.

RESNIKOFF, S et al. Global magnitude of visual impairment caused by uncorrected refractive errors in 2004. **Bulletin of the World Health Organization**, 2008, 86:63-70.

RÖDER, Brigitte; RÖSLER, Frank. Memory for environmental sounds in sighted, congenitally blind and late blind adults: evidence for cross-modal compensation. **International Journal of Psychophysiology**, v. 50, n. 1-2, p. 27-39, 2003.

ROMEO, Katerine et al. Access to Artworks and Its Mediation by and for Visually Impaired Persons. In: **International Conference on Computers Helping People with Special Needs**. Springer, Cham, 2018. p. 233-236.

ROSSETTI, V. et al. Enabling Access to Cultural Heritage for the visually impaired: an Interactive 3D model of a Cultural Site. **Procedia computer science**, v. 130, p. 383-391, 2018.

ROSSI, Wagner Soares; SILVA, Fábio Pinto da; KINDLEIN JÚNIOR, Wilson. A utilização de modelos 3D para a preservação e divulgação de peças do patrimônio histórico e cultural: estudo de caso com escarradeira e urinol. **Arcos Design**, v. 7, n. 2, p. 69-79, 2013.

SÁEZ, Teresa Dezcallar. **Relación entre procesos mentales y sentido háptico: emociones y recuerdos mediante el análisis empírico de texturas**. Universitat Autònoma de Barcelona, 2012.

SARRAF, Viviane Panelli. Acessibilidade cultural para pessoas com deficiência – benefícios para todos. **Revista do Centro de Pesquisa e Formação**, n. 6, 2018.

SCOPIGNO, Roberto et al. Digital fabrication techniques for cultural heritage: A survey. In: **Computer Graphics Forum**. 2017. p. 6-21.

SHEN, Huiying et al. CamIO: a 3D computer vision system enabling audio/haptic interaction with physical objects by blind users. In: **Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility**. ACM, 2013. p. 41.

SHIOSE, Takayuki et al. Toward touching a landscape in a picture: Investigation of groping strategy about tactile images and image simplification method. In: **International Conference on Computers for Handicapped Persons**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. p. 859-864.

SILVA, Fabio Pinto da; CALDOVINO, Greice C. Produção de réplicas acessíveis de peças museológicas via impressão 3D por filamento termoplástico. **Fourth International Conference On Integration Of Design, Engineering And Management For Inovation**. Florianópolis, SC, Brasil, outubro, 2015. p. 1726-1738.

SPENCE, Charles; DRIVER, Jon. Cross-modal links in attention between audition, vision, and touch: Implications for interface design. **International Journal of Cognitive Ergonomics**, 1997.

SWAMINATHAN, Saiganesh et al. Linespace: A sensemaking platform for the blind. In: **Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM, 2016. p. 2175-2185.

USINA INFO. **Sensor de toque capacitivo Httm com Led Azul**. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-toque-arduino/sensor-de-toque-capacitivo-httm-com-led-azul-5837.html>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

VAZ, Roberto Ivo Fernandes; FERNANDES, Paula Odete; VEIGA, Ana Cecília Rocha. Proposal of a tangible user interface to enhance accessibility in geological exhibitions and the experience of museum visitors. **Procedia Computer Science**, v. 100, p. 832-839, 2016.

VAZ, Roberto; FERNANDES, Paula Odete; VEIGA, Ana Cecília Rocha. Designing an Interactive Exhibitor for Assisting Blind and Visually Impaired Visitors in Tactile Exploration of Original Museum Pieces. **Procedia computer science**, v. 138, p. 561-570, 2018.

VOLPE, Yary et al. Computer-based methodologies for semi-automatic 3D model generation from paintings. **International Journal of Computer Aided Engineering and Technology**, v. 6, n. 1, p. 88-112, 2014.

WAN, Catherine Y. et al. Early but not late-blindness leads to enhanced auditory perception. **Neuropsychologia**, v. 48, n. 1, p. 344-348, 2010.

WANG, Zheshen; LI, Nan; LI, Baoxin. Fast and independent access to map directions for people who are blind. **Interacting with computers**, v. 24, n. 2, p. 91-106, 2012.

WILSON, Paul F. et al. Evaluation of Touchable 3D-Printed Replicas in Museums. **Curator: The Museum Journal**, v. 60, n. 4, p. 445-465, 2017.

WILSON, Paul F. et al. Museum visitor preference for the physical properties of 3D printed replicas. **Journal of Cultural Heritage**, v. 32, p. 176-185, 2018.

ZHANG, Xiaolong. Adaptive haptic exploration of geometrical structures in map navigation for people with visual impairment. In: **2010 IEEE International Symposium on Haptic Audio Visual Environments and Games**. IEEE, 2010. p. 1-6.

APÊNDICE A

AUDIODESCRIÇÃO PRÉ CONSULTORIA, APÓS A REVISÃO REALIZADA

Áudios gerais para funcionamento do sistema:

- (a) Notas Introdutórias;
- (b) Áudio específico de cada sensor: 3 níveis: 6 faixas de áudio para cada sensor
- (c) Áudio de toque simultâneo;
- (d) Áudio de repetição;
- (e) Áudio de finalização;
- (f) Áudio de exploração livre;

a) Notas Introdutórias

Olá!

Seja bem-vindo a exploração multissensorial de uma réplica tátil!

Hoje, você conhecerá um rádio datado entre os anos de 1945 e 1946, da marca RCA, que na época era conhecido como Radiola. Esta peça pertence ao acervo reserva do Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo.

A peça original mede 27 centímetros de largura por 20 de altura e 16 de profundidade, com estrutura fabricada em madeira, com textura lisa, no tom escuro amadeirado, como mogno e em acabamento brilhante. O rádio é composto por um visor em vidro, saída de som do autofalante em tecido e dois botões em plástico.

A réplica que você irá tocar foi fabricada utilizando a impressão tridimensional com material plástico e pintada com tinta condutora cinza escuro.

Para ouvir a audiodescrição das principais partes do rádio basta tocar em qualquer local da peça que o áudio iniciará automaticamente. Explore a peça livremente! Caso permaneça tocando no mesmo local, você terá acesso a áudios complementares com mais informações sobre cada parte do rádio.

Vamos começar?

b) Áudio específico de cada sensor:		
Sensor 1 (botão 1: sintonia das estações)	Nível 1	Faixa principal
	Este botão sintonizava as estações do rádio. USAR SOM DE BUSCAR SINTONIA	
	Nível 2	Faixa complementar
	O botão de sintonia foi fabricado com um material plástico liso e marrom. É possível sentir algumas nervuras por toda sua volta, para facilitar o manuseio. No centro há um acabamento decorativo, metálico, na cor prata, com leve saliência no meio.	
Nível 3	Faixa guia	Variação 1
		Para encontrar o outro botão do rádio, basta deslizar seus dedos para o lado direito.
		Variação 2
		Para encontrar a saída de som do rádio, basta deslizar os dedos levemente para cima e para o centro da parte frontal da peça.
Variação 3		
		Para encontrar o visor das estações do rádio, basta deslizar os dedos para cima e para o centro, na parte superior da peça.

			Varição 4
			Para explorar a estrutura do rádio, basta deslizar seus dedos ao redor da peça.
Sensor 2 (botão 2: volume do rádio)	Nível 1	Faixa principal	
		Este era o botão responsável por aumentar ou diminuir o volume do som. USAR SOM AUMENTANDO E DIMINUINDO O VOLUME DE UM TRECHO DA MÚSICA	
	Nível 2	Faixa complementar	
		O botão de volume foi fabricado com um material plástico liso e marrom. É possível sentir algumas nervuras por toda sua volta, para facilitar o manuseio. No centro há um acabamento decorativo, metálico, na cor prata, com leve saliência no meio.	
	Nível 3	Faixa guia	Varição 1
			Para encontrar a saída de som do rádio, basta deslizar os dedos levemente para cima e para o centro da parte frontal da peça.
			Varição 2
			Para encontrar o visor das estações do rádio, basta deslizar os dedos para cima e para o centro, na parte superior da peça.
			Varição 3

			<p>Para explorar a estrutura do rádio, basta deslizar seus dedos ao redor da peça.</p>
			Varição 4
			<p>Para encontrar o outro botão do rádio, basta deslizar seus dedos para o lado esquerdo.</p>
Sensor 3 (saída de som)	Nível 1	Faixa principal	
		<p>Esta era a saída do som do rádio, revestida em tecido.</p>	
	Nível 2	Faixa complementar	
		<p>Na saída de som, você pode sentir a textura de uma trama que remete ao tecido original e algumas depressões, por conta dessa região ter cedido com o tempo.</p>	
	Nível 3	Faixa guia	Varição 1
			<p>Para encontrar o visor das estações do rádio, basta deslizar os dedos para cima, na parte superior da peça.</p>
			Varição 2
			<p>Para explorar a estrutura do rádio, basta deslizar seus dedos ao redor da peça.</p>
			Varição 3

			Para encontrar o botão que regula as estações do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua esquerda.
			Varição 4
			Para encontrar o botão que regula o volume do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua direita.
Sensor 4 (visor das estações do rádio)	Nível 1	Faixa principal	
		Este era o visor das estações do rádio. Uma área horizontal e inclinada, bem no centro do rádio, onde ficava um vidro liso sobre a marcação das estações.	
	Nível 2	Faixa complementar	
		Atrás do vidro do visor das estações ficava um ponteiro móvel, vertical e fino, que deslizava para os lados conforme a orientação do botão de sintonia. As estações são divididas por uma linha horizontal, de fora a fora. Acima dela grandes números vermelhos, indo do 55 ao 170. E, abaixo, com números vermelhos bem menores, indo do 6 ao 18. Ambos de forma aleatória, conforme as estações da época.	
	Nível 3	Faixa guia	Varição 1
			Para explorar a estrutura do rádio, basta deslizar seus dedos ao redor da peça.
			Varição 2

			Para encontrar o botão que regula as estações do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua esquerda.
			Variação 3
			Para encontrar o botão que regula o volume do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua direita.
			Variação 4
			Para encontrar a saída de som do rádio, basta deslizar os dedos levemente para baixo e para o centro da parte frontal da peça.
Sensor 5 (corpo do rádio)	Nível 1	Faixa principal	
	A estrutura do rádio foi fabricada em madeira, com textura lisa, no tom escuro amadeirado como mogno. Esta réplica tem cor cinza escuro.		
	Nível 2	Faixa complementar	
	O acabamento da estrutura do rádio era originalmente brilhante, mas com o passar dos anos e o manuseio, hoje apresenta um aspecto levemente fosco com algumas marcas e arranhões. Na parte frontal superior, pode-se sentir os cantos arredondados, demarcando o visor de sintonia ao centro.		
	Nível 3	Faixa guia	Variação 1
			Para encontrar o botão que regula as estações do rádio, basta deslizar seus dedos

			para baixo e levemente para sua esquerda, na parte frontal da peça.
			Varição 2
			Para encontrar o botão que regula o volume do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua direita, na parte frontal da peça.
			Varição 3
			Para encontrar a saída de som do rádio, basta deslizar seus dedos para o centro da parte frontal da peça.
			Varição 4
			Para encontrar o visor das estações do rádio, basta deslizar os dedos para o centro, no topo da parte frontal da peça.

c) Áudio de toque simultâneo:

Você está tocando em duas regiões do rádio. Para conseguir ouvir a audiodescrição de uma delas, basta você tocar uma por vez.

d) Áudio de repetição:

Você está tocando em uma região já conhecida. Se quiser ouvir a audiodescrição novamente, basta permanecer tocando esta área.

e) Áudio de finalização:

Término da exploração tátil. Fique à vontade para continuar tocando esta radiola ao som da canção mais ouvida em 1945, Maria Bethânia: de Nelson Gonçalves.

f) Áudio de exploração livre:

Música: Maria Bethânia: de Nelson Gonçalves

APÊNDICE B

AUDIODESCRIÇÃO PÓS CONSULTORIA

Áudios gerais para funcionamento do sistema:

- (a) Notas Introdutórias;
- (b) Áudio específico de cada sensor: 3 níveis: 6 faixas de áudio para cada sensor
- (c) Áudio de toque simultâneo;
- (d) Áudio de repetição;
- (e) Áudio de finalização;
- (f) Áudio de exploração livre;

a) Notas Introdutórias

Olá!

Seja bem-vindo a exploração multissensorial de uma réplica tátil!

Hoje, você conhecerá um rádio datado entre os anos de 1945 e 1946, da marca RCA, que na época era conhecido como Radiola. Esta peça pertence ao acervo reserva do Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo.

A peça original mede 27 centímetros de largura por 20 de altura e 16 de profundidade, com estrutura fabricada em madeira, com textura lisa, no tom escuro amadeirado, como mogno e em acabamento brilhante. O rádio é composto por um visor em vidro, saída de som do autofalante em tecido e dois botões em plástico.

A réplica que você irá tocar foi fabricada utilizando a impressão tridimensional com material plástico e pintada com tinta condutora cinza escuro.

Para ouvir a audiodescrição das principais partes do rádio basta tocar em qualquer local da peça que o áudio iniciará automaticamente. São disponibilizadas 5 regiões com audiodescrições.

Explore a peça livremente! Caso permaneça tocando no mesmo local, você terá acesso a áudios complementares com mais informações sobre cada parte do rádio. Além disso, você receberá sugestões de navegação pela peça ao final do detalhamento de cada região.

Vamos começar?

b) Áudio específico de cada sensor:

Sensor 1	Nível 1	Faixa principal	
(botão 1: sintonia das estações)	<p>Este botão sintonizava as estações do rádio.</p> <p>USAR SOM DE BUSCAR SINTONIA</p>		
	Nível 2	Faixa complementar	
	<p>O botão de sintonia foi fabricado com um material plástico liso e marrom. É possível sentir algumas nervuras por toda sua volta, para facilitar o manuseio. No centro há um acabamento decorativo, metálico, na cor prata, com leve saliência no meio.</p>		
	Nível 3	Faixa guia	Variação 1
			<p>Para encontrar o outro botão do rádio, basta deslizar seus dedos para o lado direito.</p>
			Variação 2
			<p>Para encontrar a saída de som do rádio, basta deslizar os dedos levemente para</p>

			cima e para o centro da parte frontal da peça.
			Variação 3
			Para encontrar o visor das estações do rádio, basta deslizar os dedos para cima e para o centro, na parte superior da peça.
			Variação 4
			Para explorar a estrutura do rádio, basta deslizar seus dedos ao redor da peça.
Sensor 2 (botão 2: volume do rádio)	Nível 1	Faixa principal	
		Este era o botão responsável por aumentar ou diminuir o volume do som. USAR SOM AUMENTANDO E DIMINUINDO O VOLUME DE UM TRECHO DA MÚSICA	
	Nível 2	Faixa complementar	
		O botão de volume foi fabricado com um material plástico liso e marrom. É possível sentir algumas nervuras por toda sua volta, para facilitar o manuseio. No centro há um acabamento decorativo, metálico, na cor prata, com leve saliência no meio.	
	Nível 3	Faixa guia	Variação 1
			Para encontrar a saída de som do rádio, basta deslizar os dedos levemente para cima e para o centro da parte frontal da peça.

			Variação 2
			Para encontrar o visor das estações do rádio, basta deslizar os dedos para cima e para o centro, na parte superior da peça.
			Variação 3
			Para explorar a estrutura do rádio, basta deslizar seus dedos ao redor da peça.
			Variação 4
			Para encontrar o outro botão do rádio, basta deslizar seus dedos para o lado esquerdo.
Sensor 3 (saída de som)	Nível 1	Faixa principal	
	Esta era a saída do som do rádio, revestida em tecido.		
	Nível 2	Faixa complementar	
	Na saída de som, você pode sentir a textura de uma trama que remete ao tecido original e algumas depressões, por conta dessa região ter cedido com o tempo.		
	Nível 3	Faixa guia	Variação 1
			Para encontrar o visor das estações do rádio, basta deslizar os dedos para cima, na parte superior da peça.

			Variação 2
			Para explorar a estrutura do rádio, basta deslizar seus dedos ao redor da peça.
			Variação 3
			Para encontrar o botão que regula as estações do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua esquerda.
			Variação 4
			Para encontrar o botão que regula o volume do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua direita.
Sensor 4 (visor das estações do rádio)	Nível 1	Faixa principal	
		Este era o visor das estações do rádio. Uma área horizontal e inclinada, bem no centro do rádio, onde ficava um vidro liso sobre a marcação das estações.	
	Nível 2	Faixa complementar	
		Atrás do vidro do visor das estações ficava um ponteiro móvel, vertical e fino, que deslizava para os lados conforme a orientação do botão de sintonia. As estações são divididas por uma linha horizontal, de fora a fora. Acima dela grandes números vermelhos, indo do 55 ao 170. E, abaixo, com números vermelhos bem menores, indo do 6 ao 18. Ambos de forma aleatória, conforme as estações da época.	
	Nível 3	Faixa guia	Variação 1

			Para explorar a estrutura do rádio, basta deslizar seus dedos ao redor da peça.
			Varição 2
			Para encontrar o botão que regula as estações do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua esquerda.
			Varição 3
			Para encontrar o botão que regula o volume do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua direita.
			Varição 4
			Para encontrar a saída de som do rádio, basta deslizar os dedos levemente para baixo e para o centro da parte frontal da peça.
Sensor 5 (corpo do rádio)	Nível 1	Faixa principal	
		A estrutura do rádio foi fabricada em madeira, com textura lisa, no tom escuro amadeirado como mogno. Esta réplica tem cor cinza escuro.	
	Nível 2	Faixa complementar	
		O acabamento da estrutura do rádio era originalmente brilhante, mas com o passar dos anos e o manuseio, hoje apresenta um aspecto levemente fosco com algumas marcas e arranhões. Na parte frontal superior, pode-se sentir os cantos arredondados, demarcando o visor de sintonia ao centro.	

	Nível 3	Faixa guia	Varição 1
			Para encontrar o botão que regula as estações do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua esquerda, na parte frontal da peça.
			Varição 2
			Para encontrar o botão que regula o volume do rádio, basta deslizar seus dedos para baixo e levemente para sua direita, na parte frontal da peça.
			Varição 3
			Para encontrar a saída de som do rádio, basta deslizar seus dedos para o centro da parte frontal da peça.
			Varição 4
			Para encontrar o visor das estações do rádio, basta deslizar os dedos para o centro, no topo da parte frontal da peça.

c) Áudio de toque simultâneo:

Você está tocando em duas regiões do rádio. Para conseguir ouvir a audiodescrição de uma delas, basta você tocar uma por vez.

--

d) Áudio de repetição:

Você está tocando em uma região já conhecida. Se quiser ouvir a audiodescrição novamente, basta permanecer tocando esta área.

e) Áudio de finalização:

Término da exploração tátil. Fique à vontade para continuar tocando esta radiola ao som da canção mais ouvida em 1945, Maria Bethânia: de Nelson Gonçalves.

f) Áudio de exploração livre:

Música: Maria Bethânia: de Nelson Gonçalves

APÊNDICE C

PROGRAMAÇÃO INICIAL

```
//bibliotecas
```

```
#include <CapacitiveSensor.h> //biblioteca para fazer a leitura do sensor
```

```
#include "Arduino.h" // biblioteca para as funções do Arduino
```

```
#include <SoftwareSerial.h> // biblioteca para manipular as portas seriais do Arduino
```

```
#include <DFRobotDFPlayerMini.h> //biblioteca para utilizar o MP3
```

```
#define CS(Y) CapacitiveSensor(2, Y) // Cria um objeto para cada chave/sensor utilizado
```

```
#define COMMON_PIN 2 // O pino de 'envio' comum para todas as chaves
```

```
#define NUM_OF_SAMPLES 30 // Número mais alto quando mais atrasos, mas leituras mais consistentes
```

```
#define NUM_OF_KEYS 5 // número de chaves/sensores utilizados no projeto, é possível
```

```
//VARIÁVEIS
```

```
bool controle[NUM_OF_KEYS]; // variável que controla quais os sensores que já foram acionados
```

```
int continuidade_audios[NUM_OF_KEYS]; // controla a transição do áudio curto para o áudio longo, se permanecer tocando o áudio longo também é acionado
```

```
int RANGO[NUM_OF_KEYS]; // Leitura capacitiva que aciona uma nota (ajuste para atender às suas necessidades)
```

```
int SOMA_RANGO[10] = {200, 200, 200, 200, 200, 200, 100, 100, 100}; // ajuste da sensibilidade de cada sensor
```

```
int toqueduplo = 0; // variável para controle de toque duplo
```

```
int keyacionada = -1; // se toque duplo acionado, os outros áudios não são acionados
```

```
int transicao_audios = -1; //controle das ações de áudiosd
```

```
// Define os pinos que as chaves estão conectadas
```

```
CapacitiveSensor keys[] = {CS(3), CS(4), CS(5),CS(6), CS(7), CS(8), CS(9), CS(12), CS(13)}; // possíveis chaves a serem utilizadas
```

```
//Inicia a serial por software nos pinos 10 e 11
```

```
SoftwareSerial mySoftwareSerial(10, 11); // RX, TX do Arduino
```

```
DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer; // Criando um objeto na biblioteca do MP3
```

```

void setup(){

//PARTE DO SENSOR DE TOQUE

Serial.begin(9600);

for(int i=0; i<NUM_OF_KEYS; ++i) {
  keys[i].set_CS_Autocal_Millis(0xFFFFFFFF); // Calibração
  controle[i] = false;
  continuidade_audios[i] = 0;
  RANGO[i] = keys[i].capacitiveSensor(NUM_OF_SAMPLES);
  Serial.print(RANGO[i]);
}

// PARTE DO DF PLAYER
//Comunicacao serial com o modulo
mySoftwareSerial.begin(9600);
//Inicializa a serial do Arduino
Serial.begin(115200);

//Verifica se o modulo esta respondendo e se o
//cartao SD foi encontrado
Serial.println();
Serial.println(F("DFRobot DFPlayer Mini"));
Serial.println(F("Inicializando modulo DFPlayer... (3~5 segundos)"));
if (!myDFPlayer.begin(mySoftwareSerial))
{
  Serial.println(F("Nao inicializado:"));
  Serial.println(F("1.Cheque as conexoes do DFPlayer Mini"));
  Serial.println(F("2.Insira um cartao SD"));
}

```

```
    while (true);
}
Serial.println();
Serial.println(F("Modulo DFPlayer Mini inicializado!"));

//Definicoes iniciais
myDFPlayer.setTimeout(500); //Timeout serial 500ms
myDFPlayer.volume(25); //Volume 5
myDFPlayer.EQ(0); //Equalizacao normal

//Mostra o menu de comandos
Serial.println();
Serial.print("Numero de arquivos no cartao SD: ");
Serial.println(myDFPlayer.readFileCounts(DFPLAYER_DEVICE_SD));

delay(3000);

myDFPlayer.playFolder(10,1);
delay(1000);

} //setup

void loop() {

    long start = millis(); //printa a leitura das portas
    long leitura1 = keys[0].capacitiveSensor(30);
    long leitura2 = keys[1].capacitiveSensor(30);
    long leitura3 = keys[2].capacitiveSensor(30);
    long leitura4 = keys[3].capacitiveSensor(30);
    long leitura5 = keys[4].capacitiveSensor(30);
    long leitura6 = keys[5].capacitiveSensor(30);
```

```

Serial.print(" S1:"); Serial.print(leitura1);
Serial.print(" S2:"); Serial.print(leitura2);
Serial.print(" S3:"); Serial.print(leitura3);
Serial.print(" S4:"); Serial.print(leitura4);
Serial.print(" S5:"); Serial.print(leitura5);
Serial.print(" S6:"); Serial.println(leitura6);

// printa quais o sensores foram acionados e recalibra a cada loop

// verifica se mais de um sensor foi tocado simultaneamente e alerta //
for(int i = 0; i < NUM_OF_KEYS; ++i){

    if(keys[i].capacitiveSensor(NUM_OF_SAMPLES) > (RANGO[i] + SOMA_RANGO[i])){
        ++toqueduplo;
        keyacionada = i;
        delay(1500);
        Serial.print("acionado:");
        Serial.print(i);
        Serial.print(controle[i]);
        keys[i].set_CS_Autocal_Millis(0xFFFFFFFF);
    }
    if(toqueduplo > 1){
        Serial.print("TOQUE DUPLO ACIONADO");
        keyacionada = -1;
        myDFPlayer.playFolder(12, 1);
        delay(10000);
        myDFPlayer.stop();
        toqueduplo = 0;
    }

}
toqueduplo = 0;
////////////////////////////////////

```

```

// Depois de um tempo verifica novamente, se continua acionada e não houve toque duplo ela é ligada
//
// Para cada case no switch temos um sensor

for(int i = 0; i < NUM_OF_KEYS; ++i){
    if(keys[i].capacitiveSensor(NUM_OF_SAMPLES) > (RANGO[i] + SOMA_RANGO[i]) and keyacionada ==
i){
        switch(i)
        {
            case 0:
                if(continuidade_audios[i] == 0){
                    myDFPlayer.playFolder(i+1, 1); // áudio principal
                    delay(5000);
                    continuidade_audios[i] = 1;
                    transicao_audios = -1;

                }else if(continuidade_audios[i] == 1){
                    myDFPlayer.playFolder(i+1, 2); // áudio complementar
                    delay(21000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
                    controle[i] = true;
                    continuidade_audios[i] = 2;
                    transicao_audios = -1;
                    // Áudios de transição, lógica de 5 sensores usando tabela verdade
                }else if((not controle[1] and controle[0] and transicao_audios != 0) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(8000); transicao_audios = 0;
                }else if(((not controle[2] and controle[1] and controle[0]) == true) and transicao_audios
!= 0){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(12000); transicao_audios = 0;
                }else if(((not controle[3] and controle[2] and controle[1] and controle[0]) == true) and
transicao_audios != 0){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(11000); transicao_audios = 0;
                }else if(((not controle[4] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and
controle[0]) == true) and transicao_audios != 0){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(8000);
transicao_audios = 0;
                }

            break;

```

case 1:

```

if(continuidade_audios[i] == 0){
  myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
  delay(7000);
  continuidade_audios[i] = 1;
  transicao_audios = -2;

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
  myDFPlayer.playFolder(i+1,2);
  delay(21000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
  controle[i] = true;
  continuidade_audios[i] = 2;
  transicao_audios = -2;
  }else if((not controle[2] and controle[1] and transicao_audios != 1) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(11000); transicao_audios = 1;
  }else if((not controle[3] and controle[2] and controle[1] and transicao_audios != 1) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(11000); transicao_audios = 1;
  }else if((not controle[4] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and
transicao_audios != 1) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(7000); transicao_audios = 1;
  }else if((not controle[0] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and
controle[4] and transicao_audios != 1) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(8000);
transicao_audios = 1;
  }

  break;

```

case 2:

```

if(continuidade_audios[i] == 0){
  myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
  delay(7000);
  continuidade_audios[i] = 1;
  transicao_audios = -3;

```

```

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder(i+1,2);
    delay(12000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
    controle[i] = true;
    continuidade_audios[i] = 2;
    transicao_audios = -3;
        }else if((not controle[3] and controle[2] and transicao_audios != 2 ==
true)){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(10000); transicao_audios = 2;
        }else if((not controle[4] and controle[3] and controle[2] and transicao_audios != 2) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(7000); transicao_audios = 2;
        }else if((not controle[0] and controle[4] and controle[3] and controle[2] and
transicao_audios != 2) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(11000); transicao_audios = 2;
        }else if((not controle[1] and controle[4] and controle[3] and controle[2] and
controle[0] and transicao_audios != 2) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(12000);
transicao_audios = 2;
        }

```

```
break;
```

```
case 3:
```

```

if(continuidade_audios[i] == 0){
    myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
    delay(13000);
    continuidade_audios[i] = 1;
    transicao_audios = -4;

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder(i+1,2);
    delay(34000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
    controle[i] = true;
    continuidade_audios[i] = 2;
    transicao_audios = -4;

```

```

    }else if((not controle[4] and controle[3] and transicao_audios != 3) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(7000); transicao_audios = 3;
    }else if((not controle[0] and controle[4] and controle[3] and transicao_audios != 3) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(11000); transicao_audios = 3;
    }else if((not controle[1] and controle[4] and controle[3] and controle[0] and
transicao_audios != 3) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(12000); transicao_audios = 3;
    }else if((not controle[2] and controle[4] and controle[3] and controle[1] and
controle[0] and transicao_audios != 3) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(10000);
transicao_audios = 3;
    }

```

```
break;
```

```
case 4:
```

```

if(continuidade_audios[i] == 0){
    myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
    delay(12000);
    continuidade_audios[i] = 1;
    transicao_audios = -5;

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder( i+1,2);
    delay(22000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
    controle[i] = true;
    continuidade_audios[i] = 2;
    transicao_audios = -5;
    }else if((not controle[0] and controle[4] and transicao_audios != 4) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(13000); transicao_audios = 4;
    }else if((not controle[2] and controle[4] and controle[0] and transicao_audios != 4) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(13000); transicao_audios = 4;
    }else if((not controle[2] and controle[4] and controle[1] and controle[0] and
transicao_audios != 4) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(10000); transicao_audios = 4;

```

```

        }else if((not controle[3] and controle[4] and controle[2] and controle[1] and
controle[0] and transicao_audios != 4) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(10000);
transicao_audios = 4;
        }

```

```

        break;

```

```

    }

```

```

}

```

```

}

```

```

if((controle[4] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and controle[0]) == true){
    myDFPlayer.playFolder(13,1);
    delay(15000);
    myDFPlayer.playFolder(13, 2);
    delay(202000);

```

```

}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

////

```

```

}

```

APÊNDICE D

PROGRAMAÇÃO PRÉ-CONSULTORIA

```
//bibliotecas
```

```
#include <CapacitiveSensor.h> //biblioteca para fazer a leitura do sensor
```

```
#include "Arduino.h"
```

```
#include <SoftwareSerial.h> // biblioteca para manipular as portas seriais do Arduino
```

```
#include <DFRobotDFPlayerMini.h> //biblioteca para utilizar o MP3
```

```
#define CS(Y) CapacitiveSensor(2, Y) // Cria um objeto para cada chave/sensor utilizado
```

```
#define COMMON_PIN 2 // O pino de 'envio' comum para todas as chaves
```

```
#define NUM_OF_KEYS 5 // número de chaves/sensores utilizados no projeto, é possível
```

```
//VARIÁVEIS
```

```
bool controle[NUM_OF_KEYS]; // variável que controla quais os sensores que já foram acionados
```

```
int continuidade_audios[NUM_OF_KEYS]; // controla a transição do áudio curto para o áudio longo, se permanecer tocando o áudio longo também é acionado
```

```
int RANGO[NUM_OF_KEYS]; // Leitura capacitiva que aciona uma nota (ajuste para atender às suas necessidades)
```

```
int SOMA_RANGO[10] = {200, 200, 200, 200, 400, 400, 200, 200, 200}; // ajuste da sensibilidade de cada sensor
```

```
int toqueduplo = 0; // variável para controle de toque duplo
```

```
int keyacionada = -1; // se toque duplo acionado, os outros áudios não são acionados
```

```
int transicao_audios = -1; //controle das ações de áudiosd
```

```
// Define os pinos que as chaves estão conectadas
```

```
CapacitiveSensor keys[] = {CS(3), CS(4), CS(5),CS(6), CS(7), CS(8), CS(9), CS(12), CS(13)}; // possíveis chaves a serem utilizadas
```

```
//Inicia a serial por software nos pinos 10 e 11
```

```
SoftwareSerial mySoftwareSerial(10, 11); // RX, TX do Arduino
```

```
DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer; // Criando um objeto na biblioteca do MP3
```

```

void setup(){

//PARTE DO SENSOR DE TOQUE

Serial.begin(9600);

for(int i=0; i<NUM_OF_KEYS; ++i) {
  keys[i].set_CS_Autocal_Millis(0xFFFFFFFF); // Calibração
  controle[i] = false;
  continuidade_audios[i] = 0;
  RANGO[i] = keys[i].capacitiveSensor(NUM_OF_SAMPLES);
  Serial.print(RANGO[i]);
}

// PARTE DO DF PLAYER
//Comunicacao serial com o modulo
mySoftwareSerial.begin(9600);
//Inicializa a serial do Arduino
Serial.begin(115200);

//Verifica se o modulo esta respondendo e se o
//cartao SD foi encontrado
Serial.println();
Serial.println(F("DFRobot DFPlayer Mini"));
Serial.println(F("Inicializando modulo DFPlayer... (3~5 segundos)"));
if (!myDFPlayer.begin(mySoftwareSerial))
{
  Serial.println(F("Nao inicializado:"));
  Serial.println(F("1.Cheque as conexoes do DFPlayer Mini"));
  Serial.println(F("2.Insira um cartao SD"));
  while (true);
}

```

```

Serial.println();
Serial.println(F("Modulo DFPlayer Mini inicializado!"));

//Definicoes iniciais
myDFPlayer.setTimeout(500); //Timeout serial 500ms
myDFPlayer.volume(25); //Volume 5
myDFPlayer.EQ(0); //Equalizacao normal

//Mostra o menu de comandos
Serial.println();
Serial.print("Numero de arquivos no cartao SD: ");
Serial.println(myDFPlayer.readFileCounts(DFPLAYER_DEVICE_SD));

delay(3000);

myDFPlayer.playFolder(10,1);
delay(84000);

} //setup

void loop() {

    long start = millis(); //printa a leitura das portas
    long leitura1 = keys[0].capacitiveSensor(30);
    long leitura2 = keys[1].capacitiveSensor(30);
    long leitura3 = keys[2].capacitiveSensor(30);
    long leitura4 = keys[3].capacitiveSensor(30);
    long leitura5 = keys[4].capacitiveSensor(30);
    long leitura6 = keys[5].capacitiveSensor(30);

    Serial.print(" S1:"); Serial.print(leitura1);
    Serial.print(" S2:"); Serial.print(leitura2);

```

```

Serial.print(" S3:"); Serial.print(leitura3);
Serial.print(" S4:"); Serial.print(leitura4);
Serial.print(" S5:"); Serial.print(leitura5);
Serial.print(" S6:"); Serial.println(leitura6);

// printa quais o sensores foram acionados e recalibra a cada loop

// verifica se mais de um sensor foi tocado simultaneamente e alerta //
for(int i = 0; i < NUM_OF_KEYS; ++i){

    if(keys[i].capacitiveSensor(NUM_OF_SAMPLES) > (RANGO[i] + SOMA_RANGO[i])){
        ++toqueduplo;
        keyacionada = i;
        delay(1000);
        Serial.print("acionado:");
        Serial.print(i);
        Serial.print(controle[i]);
        keys[i].set_CS_Autocal_Millis(0xFFFFFFFF);
    }
    if(toqueduplo > 1){
        Serial.print("TOQUE DUPLO ACIONADO");
        keyacionada = -1;
        myDFPlayer.playFolder(12, 1);
        delay(11000);
        myDFPlayer.stop();
        toqueduplo = 0;
    }

}

toqueduplo = 0;
////////////////////////////////////

// Depois de um tempo verifica novamente, se continua acionada e não houve toque duplo ela é ligada
//

```

```

// Para cada case no switch temos um sensor

for(int i = 0; i < NUM_OF_KEYS; ++i){
    if(keys[i].capacitiveSensor(NUM_OF_SAMPLES) > (RANGO[i] + SOMA_RANGO[i]) and keyacionada ==
i){
        switch(i)
        {
            case 0:
                if(continuidade_audios[i] == 0){
                    myDFPlayer.playFolder(i+1, 1); // áudio principal
                    delay(7000);
                    continuidade_audios[i] = 1;
                    transicao_audios = -1;

                }else if(continuidade_audios[i] == 1){
                    myDFPlayer.playFolder(i+1, 2); // áudio complementar
                    delay(19000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
                    controle[i] = true;
                    continuidade_audios[i] = 2;
                    transicao_audios = -1;

                    // Áudios de transição, lógica de 5 sensores usando tabela verdade
                }else if((not controle[1] and controle[0] and transicao_audios != 0) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(8000); transicao_audios = 0;
                }else if(((not controle[2] and controle[1] and controle[0]) == true) and transicao_audios
!= 0){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(12000); transicao_audios = 0;
                }else if(((not controle[3] and controle[2] and controle[1] and controle[0]) == true) and
transicao_audios != 0){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(11000); transicao_audios = 0;
                }else if(((not controle[4] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and
controle[0]) == true) and transicao_audios != 0){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(8000);
transicao_audios = 0;
                }

            break;

            case 1:

```

```

if(continuidade_audios[i] == 0){
    myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
    delay(10000);
    continuidade_audios[i] = 1;
    transicao_audios = -2;

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder(i+1,2);
    delay(19000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
    controle[i] = true;
    continuidade_audios[i] = 2;
    transicao_audios = -2;
        }else if((not controle[2] and controle[1] and transicao_audios != 1) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(11000); transicao_audios = 1;
        }else if((not controle[3] and controle[2] and controle[1] and transicao_audios != 1) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(11000); transicao_audios = 1;
        }else if((not controle[4] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and
transicao_audios != 1) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(7000); transicao_audios = 1;
        }else if((not controle[0] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and
controle[4] and transicao_audios != 1) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(8000);
transicao_audios = 1;
        }

    break;

case 2:

if(continuidade_audios[i] == 0){
    myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
    delay(7000);
    continuidade_audios[i] = 1;
    transicao_audios = -3;
}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder(i+1,2);

```

```

delay(11000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
controle[i] = true;
continuidade_audios[i] = 2;
transicao_audios = -3;
    }else if((not controle[3] and controle[2] and transicao_audios != 2 ==
true)){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(10000); transicao_audios = 2;
    }else if((not controle[4] and controle[3] and controle[2] and transicao_audios != 2) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(7000); transicao_audios = 2;
    }else if((not controle[0] and controle[4] and controle[3] and controle[2] and
transicao_audios != 2) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(11000); transicao_audios = 2;
    }else if((not controle[1] and controle[4] and controle[3] and controle[2] and
controle[0] and transicao_audios != 2) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(12000);
transicao_audios = 2;
    }

break;

case 3:

if(continuidade_audios[i] == 0){
myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
delay(13000);
continuidade_audios[i] = 1;
transicao_audios = -4;

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
myDFPlayer.playFolder(i+1,2);
delay(33000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
controle[i] = true;
continuidade_audios[i] = 2;
transicao_audios = -4;
    }else if((not controle[4] and controle[3] and transicao_audios != 3) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(7000); transicao_audios = 3;

```

```

    }else if((not controle[0] and controle[4] and controle[3] and transicao_audios != 3) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(11000); transicao_audios = 3;
        }else if((not controle[1] and controle[4] and controle[3] and controle[0] and
transicao_audios != 3) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(12000); transicao_audios = 3;
            }else if((not controle[2] and controle[4] and controle[3] and controle[1] and
controle[0] and transicao_audios != 3) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(10000);
transicao_audios = 3;
                }

```

```
break;
```

```
case 4:
```

```

if(continuidade_audios[i] == 0){
    myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
    delay(12000);
    continuidade_audios[i] = 1;
    transicao_audios = -5;

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder( i+1,2);
    delay(21000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
    controle[i] = true;
    continuidade_audios[i] = 2;
    transicao_audios = -5;
        }else if((not controle[0] and controle[4] and transicao_audios != 4) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(13000); transicao_audios = 4;
            }else if((not controle[2] and controle[4] and controle[0] and transicao_audios != 4) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(13000); transicao_audios = 4;
                }else if((not controle[2] and controle[4] and controle[1] and controle[0] and
transicao_audios != 4) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(10000); transicao_audios = 4;

```

```

        }else if((not controle[3] and controle[4] and controle[2] and controle[1] and
controle[0] and transicao_audios != 4) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(10000);
transicao_audios = 4;
        }

```

```

        break;

```

```

    }

```

```

}

```

```

}

```

```

if((controle[4] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and controle[0]) == true){
    myDFPlayer.playFolder(13,1);
    delay(15000);
    myDFPlayer.playFolder(13, 2);
    delay(202000);

```

```

}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

////

```

```

}

```

APÊNDICE E

PROGRAMAÇÃO PÓS CONSULTORIA

```
//bibliotecas
```

```
#include <CapacitiveSensor.h> //biblioteca para fazer a leitura do sensor
```

```
#include "Arduino.h"
```

```
#include <SoftwareSerial.h> // biblioteca para manipular as portas seriais do Arduino
```

```
#include <DFRobotDFPlayerMini.h> //biblioteca para utilizar o MP3
```

```
#define CS(Y) CapacitiveSensor(2, Y) // Cria um objeto para cada chave/sensor utilizado
```

```
#define COMMON_PIN 2 // O pino de 'envio' comum para todas as chaves
```

```
#define NUM_OF_KEYS 5 // número de chaves/sensores utilizados no projeto, é possível
```

```
#define NUM_OF_SAMPLES 30 // frequencia leitura dos capacitores
```

```
//VARIÁVEIS
```

```
bool controle[NUM_OF_KEYS]; // variável que controla quais os sensores que já foram acionados
```

```
int continuidade_audios[NUM_OF_KEYS]; // controla a transição do áudio curto para o áudio longo, se permanecer tocando o áudio longo também é acionado
```

```
int RANGO[NUM_OF_KEYS]; // Leitura capacitiva que aciona uma nota (ajuste para atender às suas necessidades)
```

```
int SOMA_RANGO[10] = {200, 200, 200, 200, 400, 400, 200, 200, 200}; // ajuste da sensibilidade de cada sensor
```

```
int toqueduplo = 0; // variável para controle de toque duplo
```

```
int keyacionada = -1; // se toque duplo acionado, os outros áudios não são acionados
```

```
int transicao_audios = -1; //mapeamento das ações
```

```
// Define os pinos que as chaves estão conectadas
```

```
CapacitiveSensor keys[] = {CS(3), CS(4), CS(5),CS(6), CS(7), CS(8), CS(9), CS(12), CS(13)}; // possíveis chaves a serem utilizadas
```

```
//Inicia a serial por software nos pinos 10 e 11
```

```
SoftwareSerial mySoftwareSerial(10, 11); // RX, TX do Arduino
```

```
DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer; // Criando um objeto na biblioteca do MP3
```

```

void setup(){

//PARTE DO SENSOR DE TOQUE

Serial.begin(9600);

for(int i=0; i<NUM_OF_KEYS; ++i) {
  keys[i].set_CS_Autocal_Millis(0xFFFFFFFF); // Calibração
  controle[i] = false;
  continuidade_audios[i] = 0;
  RANGO[i] = keys[i].capacitiveSensor(NUM_OF_SAMPLES);
  Serial.print(RANGO[i]);
}

// PARTE DO DF PLAYER
//Comunicacao serial com o modulo
mySoftwareSerial.begin(9600);
//Inicializa a serial do Arduino
Serial.begin(115200);

//Verifica se o modulo esta respondendo e se o
//cartao SD foi encontrado
Serial.println();
Serial.println(F("DFRobot DFPlayer Mini"));
Serial.println(F("Inicializando modulo DFPlayer... (3~5 segundos)"));
if (!myDFPlayer.begin(mySoftwareSerial))
{
  Serial.println(F("Nao inicializado:"));
  Serial.println(F("1.Cheque as conexoes do DFPlayer Mini"));
  Serial.println(F("2.Insira um cartao SD"));
}

```

```
    while (true);
}
Serial.println();
Serial.println(F("Modulo DFPlayer Mini inicializado!"));

//Definicoes iniciais
myDFPlayer.setTimeout(500); //Timeout serial 500ms
myDFPlayer.volume(25); //Volume 5
myDFPlayer.EQ(0); //Equalizacao normal

//Mostra o menu de comandos
Serial.println();
Serial.print("Numero de arquivos no cartao SD: ");
Serial.println(myDFPlayer.readFileCounts(DFPLAYER_DEVICE_SD));

delay(3000);

//myDFPlayer.playFolder(10,1);
//delay(84000);

} //setup

void loop() {

    long start = millis();
    long leitura1 = keys[0].capacitiveSensor(30);
    long leitura2 = keys[1].capacitiveSensor(30);
    long leitura3 = keys[2].capacitiveSensor(30);
    long leitura4 = keys[3].capacitiveSensor(30);
    long leitura5 = keys[4].capacitiveSensor(30);
    long leitura6 = keys[5].capacitiveSensor(30);
```



```

// Depois de um tempo verifica novamente, se continua acionada e não houve toque duplo ela é ligada
//
// Para cada case no switch temos um sensor

for(int i = 0; i < NUM_OF_KEYS; ++i){
    if(keys[i].capacitiveSensor(NUM_OF_SAMPLES) > (RANGO[i] + SOMA_RANGO[i]) and keyacionada ==
i){
        switch(i)
        {
            case 0:
                if(continuidade_audios[i] == 0){
                    myDFPlayer.playFolder(i+1, 1); // áudio principal
                    delay(7000);
                    continuidade_audios[i] = 1; // depois de áudio principal utilizado, faz com que somente o
áudio complementar seja acionado
                    transicao_audios = -1;

                    }else if(continuidade_audios[i] == 1){
                        myDFPlayer.playFolder(i+1, 2); // áudio complementar
                        delay(19000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
                        controle[i] = true; // marca que esse áudio foi acionado para o sistema entender quais deve
guiar o usuário
                        transicao_audios = -1;
                    }
                // Áudios de transição, lógica de 5 sensores usando tabela verdade
                if(((not controle[1] and controle[0] and transicao_audios != 0) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(8000); transicao_audios = 0;
                    }else if(((not controle[2] and controle[1] and controle[0]) == true) and transicao_audios
!= 0){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(12000); transicao_audios = 0;
                        }else if(((not controle[3] and controle[2] and controle[1] and controle[0]) == true) and
transicao_audios != 0){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(11000); transicao_audios = 0;
                            }else if(((not controle[4] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and
controle[0]) == true) and transicao_audios != 0){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(8000);
transicao_audios = 0;

```

```

    }

    break;

// para cada Case temos as mesmas lógicas comentadas em case 0
case 1:

if(continuidade_audios[i] == 0){
    myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
    delay(10000);
    continuidade_audios[i] = 1;
    transicao_audios = -2;

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder(i+1,2);
    delay(19000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
    controle[i] = true;
    transicao_audios = -2; }
        if((not controle[2] and controle[1] and transicao_audios != 1) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(11000); transicao_audios = 1;
        }else if((not controle[3] and controle[2] and controle[1] and transicao_audios != 1) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(11000); transicao_audios = 1;
        }else if((not controle[4] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and
transicao_audios != 1) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(7000); transicao_audios = 1;
        }else if((not controle[0] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and
controle[4] and transicao_audios != 1) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(8000);
transicao_audios = 1;
        }

    break;

case 2:

if(continuidade_audios[i] == 0){
    myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
    delay(7000);

```

```

    continuidade_audios[i] = 1;
    transicao_audios = -3;
}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder(i+1,2);
    delay(11000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
    controle[i] = true;
    transicao_audios = -3;
        if((not controle[3] and controle[2] and transicao_audios != 2 ==
true)){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(10000); transicao_audios = 2;
        }else if((not controle[4] and controle[3] and controle[2] and transicao_audios != 2) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(7000); transicao_audios = 2;
        }else if((not controle[0] and controle[4] and controle[3] and controle[2] and
transicao_audios != 2) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(11000); transicao_audios = 2;
        }else if((not controle[1] and controle[4] and controle[3] and controle[2] and
controle[0] and transicao_audios != 2) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(12000);
transicao_audios = 2;
        }

    break;

case 3:

if(continuidade_audios[i] == 0){
    myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
    delay(13000);
    continuidade_audios[i] = 1;
    transicao_audios = -4;

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder(i+1,2);
    delay(33000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
    controle[i] = true;
    transicao_audios = -4;}

```

```

        if((not controle[4] and controle[3] and transicao_audios != 3) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(7000); transicao_audios = 3;
        }else if((not controle[0] and controle[4] and controle[3] and transicao_audios != 3) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(11000); transicao_audios = 3;
        }else if((not controle[1] and controle[4] and controle[3] and controle[0] and
transicao_audios != 3) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(12000); transicao_audios = 3;
        }else if((not controle[2] and controle[4] and controle[3] and controle[1] and
controle[0] and transicao_audios != 3) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(10000);
transicao_audios = 3;
        }

```

```
break;
```

```
case 4:
```

```

if(continuidade_audios[i] == 0){
    myDFPlayer.playFolder(i+1,1);
    delay(12000);
    continuidade_audios[i] = 1;
    transicao_audios = -5;

}

}else if(continuidade_audios[i] == 1) {
    myDFPlayer.playFolder( i+1,2);
    delay(21000); // ter um tempo para poder trocar os áudios
    controle[i] = true;
    transicao_audios = -5; }

        if((not controle[0] and controle[4] and transicao_audios != 4) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 3); delay(13000); transicao_audios = 4;
        }else if((not controle[2] and controle[4] and controle[0] and transicao_audios != 4) ==
true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 4); delay(13000); transicao_audios = 4;
        }else if((not controle[2] and controle[4] and controle[1] and controle[0] and
transicao_audios != 4) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 5); delay(10000); transicao_audios = 4;

```

```

        }else if((not controle[3] and controle[4] and controle[2] and controle[1] and
controle[0] and transicao_audios != 4) == true){myDFPlayer.playFolder(i+1, 6); delay(10000);
transicao_audios = 4;
        }

        break;

    }

}

}

//identifica quando todos os áudios foram tocados
if((controle[4] and controle[3] and controle[2] and controle[1] and controle[0]) == true){
    myDFPlayer.playFolder(13,1); //dispara música final
    delay(15000);
    myDFPlayer.playFolder(13, 2);
    delay(202000);

}

////////////////////////////////////
////
}}

```

APÊNDICE F

COMPONENTE	QUANTIDADE	ESTIMATIVA DE PREÇO (R\$)
Tinta condutora: sensor capacitivo de toque	300 gramas	80,00
Tinta acrílica: não condutora	1 unid.	6,50
Arduino Uno: é o microcontrolador no sistema.	1 unid.	92,90
Resistor (1 K e 100 K Ω): reduz o fluxo de cargas enviadas para o circuito.	6 unid.	2,90
Capacitor cerâmico (100pF) e Capacitor poliéster (1nF): armazena cargas elétricas.	6 unid.	1,00
Módulo MP3 DFPlayer Mini: armazena as faixas de áudios.	1 unid.	27,90
Cabo P3 e Caixa de som: reproduz as faixas de áudios.	1 unid.	130,00
Conector P3: para conectar a caixa de som no sistema.	1 unid.	18,90
Jumpers: ou fios elétricos para realizar a instalação elétrica.	2 unid.	55,80
Protoboard: para realizar as conexões entre todos os componentes do sistema.	1 unid.	33,90
Fonte(12 V): para ligar o sistema.	1 unid.	29,90
PLA (material para impressão 3D)	1 kg	100,00
Fabricação digital	-	550,00
Fita dupla face de carbono	15 cm	5,00
Materiais para acabamento (massa acrílica, lixas, cola epóxi, parafusos, porcas, fita crepe, pincel)	-	90,00
Base para fixação da peça em compensado de madeira	-	80,00
TOTAL	-	1304,70