



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO UNIVERSIDADE VIRTUAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E MÍDIAS DIGITAIS

REBECCA DANTAS DE OLIVEIRA

**DESIGN COMPUTACIONAL E ELETRÔNICO COMO FERRAMENTAS DE
ACESSIBILIDADE E IMERSÃO EM EXPERIÊNCIAS MUSICAIS PARA PESSOAS
SURDAS**

FORTALEZA

2021

REBECCA DANTAS DE OLIVEIRA

DESIGN COMPUTACIONAL E ELETRÔNICO COMO FERRAMENTAS DE
ACESSIBILIDADE E IMERSÃO EM EXPERIÊNCIAS MUSICAIS PARA PESSOAS
SURDAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Sistemas e Mídias Digitais do Instituto Universidade Virtual da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharela em Sistemas e Mídias Digitais.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ticianne de Gois Ribeiro Darin

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O51d Oliveira, Rebecca Dantas de.
Design computacional e eletrônico como ferramentas de acessibilidade e imersão em experiências musicais para pessoas surdas / Rebecca Dantas de Oliveira. – 2021.
95 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto UFC Virtual, Curso de Sistemas e Mídias Digitais, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Ticianne de Gois Ribeiro Darin.
1. Acessibilidade. 2. Música. 3. Tecnologia assistiva. 4. Deficiência auditiva. 5. Surdo. I. Título.
CDD 302.23
-

REBECCA DANTAS DE OLIVEIRA

DESIGN COMPUTACIONAL E ELETRÔNICO COMO FERRAMENTAS DE
ACESSIBILIDADE E IMERSÃO EM EXPERIÊNCIAS MUSICAIS PARA PESSOAS
SURDAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Sistemas e Mídias Digitais do Instituto Universidade Virtual da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharela em Sistemas e Mídias Digitais.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ticianne de Gois Ribeiro Darin

Aprovada em: 03/09/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Ticianne de Gois Ribeiro Darin (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Roberto César Cavalcante Vieira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio José Melo Leite Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Clemilson Costa dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo suporte e amor que sempre recebi, mas especialmente à minha mãe, que esteve presente, sem hesitar, em todos os momentos que necessitei, e que me apoiou em todas as decisões que precisei tomar. Aquela que pôs sempre a minha educação e o meu bem-estar em primeiro lugar, lutando com todos os meios e se sacrificando para isso. A única pessoa capaz de me amar incondicionalmente, e que é a minha melhor amiga.

Além disso, aos meus avós, que estiveram sempre dispostos a fazer todo o possível para participar do meu crescimento e das minhas conquistas.

Aos meus amigos-irmãos Lucas, Myrella, Isadora e Tulio, meus companheiros da luta diária e são essenciais para trazer a descontração que a vida precisa, principalmente nos momentos delicados.

Aos meus pets, amores da minha vida: Preto, Cacau, Carlos César e Pedrita, sem os quais seria impossível passar por esse período de isolamento social.

Aos amigos maravilhosos que a universidade me presenteou: Paulo José e Mateus Pereira, que toparam todas as ideias mirabolantes que inventamos ao longo do curso e fora dele, levando a pressão acadêmica sempre com bom humor, inteligência e muita dedicação.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Ticianne de Gois Ribeiro Darin, que é a melhor profissional do meio acadêmico que já conheci, e uma das minhas maiores inspirações para trilhar o caminho que escolhi dentro do curso, desde o início da minha graduação.

Ao Prof. Dr. Roberto César Cavalcante Vieira, por toda a sua paciência, simpatia e orientação durante a minha permanência na bolsa e no desenvolvimento deste projeto.

À Thais Gouveia, por ter me acompanhado e dado força durante todo o processo de construção deste trabalho, me ajudando de formas muito além do que eu esperava, e que em tão pouco tempo se tornou uma grande amiga e mostrou ser uma pessoa incrível, pela qual tenho muito carinho.

À Bianca, minha psicóloga, que me ensinou a lidar com meus defeitos e conviver com as minhas limitações da melhor forma possível, além de ter segurado minha mão nos períodos mais difíceis e acompanhado toda a minha jornada acadêmica.

À Universidade Federal do Ceará e a todos os docentes e servidores do curso de Sistemas e Mídias Digitais, por tornarem possível afirmar que este é, sem dúvidas, o melhor curso desta universidade.

RESUMO

Este trabalho apresenta a fundamentação teórica e o desenvolvimento de uma tecnologia assistiva dedicada às pessoas com deficiência auditiva, a partir da análise de soluções já existentes. O produto consiste em um dispositivo vibrotátil que simula uma experiência musical através de estímulos vibracionais. Isso acontece por meio da combinação de práticas de computação física e design computacional, e o processo de criação desse recurso é construído sob a perspectiva de conceitos do design como a experiência do usuário e o *Design Thinking*. A experiência obtida por meio de sentidos alternativos à audição podem fornecer uma possibilidade de apreciação musical para as pessoas surdas alinhada à realidade desse público, auxiliando no objetivo de fornecer acessibilidade e inclusão por meio de soluções tecnológicas e de design.

Palavras-chave: Acessibilidade. Música. Tecnologia assistiva. Deficiência auditiva. Surdo.

ABSTRACT

This work presents the theoretical foundation and the development of an assistive technology dedicated to people with hearing impairment, based on the analysis of existing solutions. The product consists of a vibrating device that simulates a musical experience through vibrational stimuli. This happens through the combination of physical computing and computational design practices, and the process of creating this resource is built from the perspective of design concepts such as user experience and Design Thinking. The experience obtained through alternative senses to hearing can provide a possibility of musical appreciation for deaf people in line with the reality of this audience, helping in the objective of providing accessibility and inclusion through technological and design solutions.

Keywords: Accessibility. Music. Assistive technology. Hearing impairment. Deaf.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | – Intérprete da ASL em uma <i>Deaf Zone</i> do concerto “ <i>Fare Thee Well</i> ” da <i>Grateful Dead</i> em 2015 | 23 |
| Figura 2 | – Gráfico do espectro audível em sua frequência <i>versus</i> amplitude <i>versus</i> tempo | 25 |
| Figura 3 | – Escalas de divisão do espectro audível em 10 unidades | 26 |
| Figura 4 | – As 10 oitavas do espectro audível e suas particularidades | 27 |
| Figura 5 | – As três condições-chave para a concepção de um produto de acordo com a IDEO | 32 |
| Figura 6 | – Etapas do <i>Design Thinking</i> de acordo com a IDEO | 33 |
| Figura 7 | – O Arduino UNO | 35 |
| Figura 8 | – Protótipo do dispositivo <i>Felt Sound</i> | 39 |
| Figura 9 | – Modelo utilizando colete e pulseiras do <i>Music: Not Impossible</i> | 40 |
| Figura 10 | – Modelo utilizando o <i>SUBPAC M2X</i> | 41 |
| Figura 11 | – Pulseira do <i>MuSS-Bits</i> responsável pelo <i>feedback</i> vibrotátil e visual | 43 |
| Figura 12 | – Contraparte do <i>MuSS-Bits</i> responsável pela captação de áudio | 43 |
| Figura 13 | – Protótipo da solução pré-refinamento | 47 |
| Figura 14 | – Motor do tipo <i>vibracall</i> | 48 |
| Figura 15 | – Fluxo de funcionamento do protótipo utilizando a troca de informações entre código em <i>Processing</i> e o microcontrolador Arduino | 49 |
| Figura 16 | – Adaptação do processo do <i>Design Thinking</i> para o contexto do projeto | 51 |
| Figura 17 | – Representação visual da intensidade de cada oitava do espectro audível durante determinado instante da música <i>Bishop School</i> do artista Yusef Lateef | 68 |
| Figura 18 | – Representação visual da intensidade da batida e dos grupos de frequência em determinado instante da música <i>Bishop School</i> do artista Yusef Lateef ... | 70 |

| | |
|---|----|
| Figura 19 – Representação ilustrativa da localização (em vermelho) da falange distal nos quatro dedos medidos | 73 |
| Figura 20 – Modelo tridimensional do dedal e sua visualização renderizada | 75 |
| Figura 21 – Modelo tridimensional da peça da palma da mão e sua visualização renderizada | 75 |
| Figura 22 – Peças (em laranja) obtidas pela impressão 3D, já com os motores e acessórios encaixados | 76 |
| Figura 23 – Visão frontal dos motores de vibração posicionados embaixo da ponta dos dedos por meio de peças que se encaixam nos mesmos | 81 |
| Figura 24 – Visão traseira dos motores de vibração posicionados embaixo da ponta dos dedos por meio de peças que se encaixam nos mesmos | 82 |
| Figura 25 – Visão lateral dos motores de vibração posicionados embaixo da ponta dos dedos por meio de peças que se encaixam nos mesmos | 83 |
| Figura 26 – Experiência de música acessível por meio de estímulos vibrotáteis e visualização musical | 84 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 1 | – Relação entre a fonte de informação geradora do pulso elétrico e os dedos da mão | 48 |
| Tabela 2 | – Distribuição dos textos analisados na planilha de revisão bibliográfica | 54 |
| Tabela 3 | – Relação de elementos relevantes encontrados nos trabalhos relacionados | 55 |
| Tabela 4 | – Motivações para a classificação dos elementos aproveitáveis | 56 |
| Tabela 5 | – Motivações para a classificação dos elementos não aproveitáveis | 57 |
| Tabela 6 | – Significado dos níveis das premissas desejabilidade, factibilidade e viabilidade | 58 |
| Tabela 7 | – Classificação dos atributos aproveitáveis encontrados nos trabalhos por nível das três condições | 59 |
| Tabela 8 | – Especificações da relação entre as informações interpretadas do áudio e os motores de vibração | 69 |
| Tabela 9 | – Elementos compreendidos na parte vestível do protótipo e suas dimensões .. | 73 |
| Tabela 10 | – Dimensões finais dos dedais e da peça da palma da mão | 74 |
| Tabela 11 | – Planejamento da avaliação de experiência do usuário com base no <i>framework</i> DECIDE | 77 |
| Tabela 12 | – Textos compreendidos na pesquisa bibliográfica separados por área de estudo e tipo | 91 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|---|
| ASL | <i>American Sign Language</i> (Língua de Sinais Americana) |
| COVID | <i>Coronavirus disease</i> (Doença causada pelo <i>Coronavirus</i>) |
| dB | deciBel |
| DC | Design Computacional |
| DT | <i>Design Thinking</i> |
| FFT | <i>Fast Fourier Transform</i> (Transformada Rápida de Fourier) |
| Hz | Hertz |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IHC | Interação Humano-Computador |
| IoT | <i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas) |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização) |
| MAMI | Matemática Aplicada à Multimídia |
| PcD | Pessoa com Deficiência |
| PWM | <i>Pulse Width Modulation</i> (Modulação por Largura de Pulso) |
| SECULT | Secretaria de Cultura |
| SMD | Sistemas e Mídias Digitais |
| TA | Tecnologia Assistiva |
| UFC | Universidade Federal do Ceará |

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | Objetivos | 13 |
| <i>1.1.1</i> | <i>Objetivo geral</i> | 13 |
| <i>1.1.2</i> | <i>Objetivos específicos</i> | 13 |
| 1.2 | O produto | 14 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 | Tecnologias Assistivas | 15 |
| 2.2 | Cultura surda | 16 |
| 2.3 | Exclusão, segregação, integração e inclusão | 17 |
| <i>2.3.1</i> | <i>Exclusão</i> | 18 |
| <i>2.3.2</i> | <i>Segregação</i> | 19 |
| <i>2.3.3</i> | <i>Integração</i> | 30 |
| <i>2.3.4</i> | <i>Inclusão</i> | 21 |
| 2.4 | Música, pessoas surdas e acessibilidade | 21 |
| 2.5 | Aspectos físicos da música | 24 |
| <i>2.5.1</i> | <i>Onda sonora</i> | 24 |
| <i>2.5.2</i> | <i>O espectro audível e subgrupos de frequências</i> | 25 |
| <i>2.5.3</i> | <i>Ritmo e batidas</i> | 28 |
| 2.6 | Usabilidade e experiência do usuário em tecnologias interativas | 28 |
| <i>2.6.1</i> | <i>Definições de usabilidade e experiência do usuário</i> | 29 |
| <i>2.6.2</i> | <i>A interação entre experiência do usuário e design de som</i> | 29 |
| <i>2.6.3</i> | <i>Avaliação da experiência do usuário</i> | 30 |
| 2.7 | Design Thinking | 31 |
| 2.8 | Computação Física e Design Computacional | 33 |
| <i>2.8.1</i> | <i>Computação Física</i> | 33 |
| <i>2.8.1.1</i> | <i>O Arduino</i> | 34 |
| <i>2.8.2</i> | <i>Design Computacional</i> | 35 |
| <i>2.8.2.1</i> | <i>Processing</i> | 36 |
| 3 | TRABALHOS RELACIONADOS | 38 |
| 3.1 | Felt sound: A shared musical experience for the deaf and hard of hearing | 38 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.2 | Music: Not Impossible e SUBPAC | 39 |
| 3.3 | Ad-Hoc Access to Musical Sound for Deaf Individuals | 42 |
| 4 | DESENVOLVIMENTO | 45 |
| 4.1 | Contextualização | 45 |
| 4.1.1 | <i>A solução pré-refinamento</i> | 46 |
| 4.2 | Metodologia | 50 |
| 4.2.1 | <i>Pesquisa bibliográfica</i> | 52 |
| 4.2.2 | <i>Análise da solução pré-refinamento</i> | 55 |
| 4.2.2.1 | <i>Compilação de características relevantes encontradas nos outros trabalhos</i> | 55 |
| 4.2.2.2 | <i>Fase de ideação</i> | 60 |
| 4.2.2.2.1 | Ideia 1 - Luvas | 60 |
| 4.2.2.2.2 | Ideias 2 e 3 - Totem e barra | 61 |
| 4.2.2.2.3 | Ideia 4 - Dedais de plástico adaptados | 62 |
| 4.2.3 | <i>Refinamento da solução</i> | 64 |
| 4.2.3.1 | <i>Definição de perfil do usuário, contexto de uso e interações</i> | 64 |
| 4.2.3.2 | <i>Objetivos do refinamento</i> | 65 |
| 4.2.3.2.1 | Objetivo 1 | 66 |
| 4.2.3.2.2 | Objetivo 2 | 67 |
| 4.2.3.2.3 | Objetivo 3 | 70 |
| 4.2.3.2.4 | Objetivo 4 | 71 |
| 4.2.4 | <i>Testagem da solução refinada</i> | 76 |
| 4.2.4.1 | <i>Aplicação do framework DECIDE</i> | 77 |
| 5 | RESULTADOS | 80 |
| 6 | CONCLUSÃO | 85 |
| | REFERÊNCIAS | 87 |
| | APÊNDICE A - TEXTOS COMPREENDIDOS NA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA | 91 |

1 INTRODUÇÃO

Ludwig van Beethoven, um gênio da música clássica e um dos maiores nomes da história da música, perdeu a sua audição completamente aos 44 anos de idade. O que antes fazia parte do seu dia-a-dia se tornou total silêncio. Contudo, longe de desistir da sua carreira, o compositor teve uma ideia brilhante: sentir a música através da vibração. Sabe-se que ele utilizava a técnica da condução óssea para esse fim, e alguns pesquisadores investigam a possibilidade do músico ter acoplado uma haste ao seu piano e segurado-a com os dentes, conseguindo sentir cada nota que vibrava ao percorrer a haste (PERCIACCANTE & CORALLI, 2020). Foi assim que Beethoven compôs grande parte das suas obras mais famosas, sendo uma delas a célebre 9ª sinfonia.

Muito antes do renomado artista, desde as primeiras civilizações, as pessoas compunham melodias para diversos fins, como contar uma história épica ou falar sobre a pessoa amada. A música é uma das formas de expressão humana mais antigas que existem. Hoje ela permeia o nosso cotidiano em quase todos os lugares e situações, e mantém o seu posto de manifestação cultural e artística com grande firmeza. Uma produção musical pode gerar respostas cognitivas como emoções e sensações únicas, capazes de afetar o indivíduo receptor profundamente (CHASIN apud FELS & FOURNEY, 2009). Além disso, quando combinada com outros recursos como os visuais, pode fazer toda a diferença para a mensagem que se tenta passar ao espectador.

Para as pessoas surdas ou com audição reduzida, essa experiência - projetada para a população ouvinte - é mais limitada. Muitos utilizam técnicas "improvisadas" que facilitam, ainda que pouco, a ouvir ou reconhecer os sons, como ficar de pés descalços ou segurar um balão de borracha para conseguir sentir as vibrações (AVNET, 2018). Apesar disso, é fato que a música, da forma como é apresentada pelos indivíduos ouvintes, proporciona uma experiência insatisfatória a este outro grupo de pessoas.

De acordo com Chasin (2003), até mesmo os aparelhos auditivos não são tão eficientes, pois distorcem a música ouvida. De toda forma, a experiência vai muito mais além da capacidade de ouvir. Os estímulos do ambiente, o estado emocional do indivíduo e o contexto em que a música é reproduzida são fatores de grande importância para conduzir o momento, por exemplo (CHASIN apud FELS & FOURNEY, 2009).

Na busca de auxiliar essas pessoas a terem experiências ainda mais vividas, diante dos seus contextos culturais e pessoais, isto é, sem a tentativa de aproximá-las da experiência

ouvinte, mas sim proporcioná-las uma vivência única às suas identidades e referências, a acessibilidade surge como um meio integrador.

A Acessibilidade como forma de inclusão de pessoas com deficiências (PcD) nas diversas atividades cotidianas da sociedade tem ganhado cada vez mais espaço e relevância na concepção e desenvolvimento de soluções das mais diversas áreas. Não há mais como deixar de considerar os aspectos de acessibilidade durante a elaboração de um projeto, uma vez que estes devem ser intrínsecos a qualquer ideia que será usufruída pela população. O Estatuto da Pessoa com Deficiência, instituído em 2015, garante direitos fundamentais da pessoa com deficiência e fala sobre o acesso à informação e à comunicação, bem como o uso de tecnologias assistivas. O Art. 77-§ 3º do Estatuto diz, ainda, que: "Deve ser fomentada a capacitação tecnológica de instituições públicas e privadas para o desenvolvimento de tecnologias assistiva e social que sejam voltadas para melhoria da funcionalidade e da participação social da pessoa com deficiência." (BRASIL, 2015).

Nesse contexto, este trabalho desenvolve um estudo acerca da musicalidade para surdos e tecnologias assistivas, produzindo, como resultado, uma solução tecnológica e interativa que busca promover de maneira acessível uma experiência musical a esse público.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Refinar um dispositivo existente visando proporcionar uma experiência musical para pessoas total ou parcialmente surdas através de estímulos em outros sentidos do corpo humano, dentro do contexto de apresentações musicais em plataformas virtuais.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Identificar soluções existentes que proporcionam experiências musicais para pessoas surdas;
- b) Definir as alterações a serem realizadas no refinamento a partir da análise e comparação com as soluções existentes consideradas;
- c) Refinar o produto a partir dessas alterações definidas.

1.2 O produto

O projeto da iniciativa "Design Computacional e Fabricação Digital como Meios de Expressão Artística e Inclusão" da Secult-Arte/UFC, coordenado pelo Prof. Dr. Roberto Vieira e desenvolvido, desde 2019, pela autora e outros alunos da UFC, tem como objetivo criar soluções que combinam tecnologia e design para a inclusão cultural de pessoas surdas. Uma dessas soluções é o dispositivo vibrotátil - o qual faz parte deste trabalho - que simula uma experiência musical através de vibrações. Isso acontece por meio de um protótipo constituído por pequenos motores de vibração conectados a um Arduino, os quais vibram de acordo com a música reproduzida. Uma aplicação desenvolvida na linguagem *Processing* faz o trabalho de interpretar o áudio e reconhecer seu ritmo, canais, frequência e outras características do som. Há ainda um outro programa, também feito em *Processing*, que reproduz padrões visuais na tela de um computador a partir dessas mesmas características do som captadas pelo microfone. Os padrões visuais são de tipos variados, sendo criados de acordo com os aspectos mais adequados para a música reproduzida (cores, formas, movimentos, texturas, entre outros).

As percepções obtidas por meio do sentido tátil combinadas aos estímulos visuais, todos sincronizados à música em reprodução, fazem com que a solução deste trabalho forneça uma alternativa de experiência musical para surdos, auxiliando no exercício de incentivar acessibilidade e inclusão por meio de soluções tecnológicas e de design.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tecnologias Assistivas

É importante entendermos o que são tecnologias assistivas e qual lugar elas ocupam dentro do conjunto de caminhos existentes para se alcançar a inclusão social de pessoas com deficiência. De acordo com Bersch e Tonolli (2006),

Tecnologia Assistiva - TA é um termo ainda novo, utilizado para identificar todo o arsenal de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e consequentemente promover vida independente e inclusão. (BERSCH & TONOLLI, 2006).

Ainda segundo Bersch (2017), “A TA deve ser entendida como um auxílio que promoverá a ampliação de uma habilidade funcional deficitária ou possibilitará a realização da função desejada e que se encontra impedida por circunstância de deficiência ou pelo envelhecimento.” (BERSCH, 2017).

Dessa forma, compreende-se que, em um mundo onde os ambientes e objetos são projetados genericamente para pessoas sem deficiências impeditivas, as tecnologias assistivas têm o poderoso papel de tornar as coisas possíveis para aqueles que possuem alguma habilidade funcional comprometida. Ao fornecerem esse auxílio, as soluções são capazes de transformar a vida de uma PcD atribuindo-lhe maior independência e inclusão na sociedade.

Guimarães (2013) apresenta uma abordagem complementar acerca da utilização de tecnologias assistivas, enfatizando as circunstâncias que as tornam necessárias para solucionar um problema de acessibilidade. O autor explica que um recurso de tecnologia assistiva pode ser a peça-chave quando uma solução de acessibilidade universal não consegue compensar todos os tipos de deficiência ou limitações que ela se propõe. O termo acessibilidade universal, segundo Guimarães, “se caracteriza por soluções ergonômicas (simples, mecanizadas ou informatizadas) para se criar ambientes que sirvam de base para o benefício de todas as pessoas” (GUIMARÃES, 2013). As rampas, barras de apoio, placas em Braille e pisos táteis são alguns exemplos conhecidos de acessibilidade universal. Para o autor, essas soluções pressupõem que certas pessoas com deficiências mais graves possam utilizar recursos tecnológicos complementares para alcançar um nível mínimo de acessibilidade universal. Sendo assim, os aspectos limitantes da solução deixam de ser problemas e dão espaço para a tecnologia assistiva superar essas barreiras.

A utilização de uma TA, bem como o seu desenvolvimento, depende totalmente do contexto em que ela será aplicada. Um recurso desse tipo é pensado para um determinado público alvo presente em um determinado ambiente e que vivencia determinada situação. Por isso, vale enfatizar a complexidade da concepção e execução de um projeto desse gênero, que diferencia-se de soluções de acessibilidade universal.

2.2 Cultura surda

Os surdos representam, de acordo com dados do último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), 5% da população brasileira, ou cerca de 10 milhões de pessoas em território nacional. Desses, ainda segundo o censo, quase 2,7 milhões possuem surdez profunda, ou seja, não escutam praticamente nada.

Esse grupo adotou a Língua Brasileira de Sinais (Libras)¹ como sua primeira língua e, portanto, sua principal forma de comunicação (PEREIRA, 2016) fato que é pouco sabido entre a população brasileira em geral e ainda é tratado como uma mera curiosidade - e não um conhecimento comum - entre as pessoas ouvintes, contrariando a dimensão da densidade populacional desse estrato da sociedade. A contrapor o pensamento trivial, a Libras, de acordo com Pereira (2016), não se caracteriza apenas por um conjunto de gestos e mímicas, mas sim como uma língua completa com estrutura singular que envolve sinais, movimentos e expressões corporais bem definidas.

Em 2002, a partir da Lei nº 10.436 (BRASIL, 2002), o governo brasileiro reconheceu-se oficialmente como país bilíngue, afirmando a Língua Brasileira de Sinais e consolidando os surdos como um grupo apropriado de um sistema linguístico natural e próprio que tem o português como segunda língua. De acordo com Lopes (2012) "a oficialização da Libras representou uma grande conquista para as comunidades surdas brasileiras. Por ser uma língua gestual-visual, a Libras se torna a principal responsável por dar visibilidade às comunidades surdas e por justificar a cultura surda." (LOPES, 2012, p. 35).

Dessa forma, entende-se que o povo surdo, de fato, detém de uma cultura própria embasada principalmente na sua linguagem e autoimagem formalizada pelas diferenças identitárias perante o povo ouvinte. Para compreensão de tal afirmação, é importante que

¹ Pereira (2016) afirma que "nem todos os surdos usam Libras; aqueles que têm surdez pós-linguística geralmente falam com desenvoltura, mas não ouvem - utilizam a leitura orofacial e/ou textual." (PEREIRA, 2016, p.32)

tenha-se definido também o conceito de cultura. O antropólogo americano Clifford Geertz (2008) define o termo como:

[...] um padrão de significados transmitido historicamente, incorporados em símbolos, um sistema de concepções herdadas expressas em formas simbólicas por meio das quais os homens comunicam, perpetuam e desenvolvem seu conhecimento e suas atividades em relação à vida. (GEERTZ, 2008, p. 66).

Além do fator histórico e evolutivo, faz-se relevante a visão sociopolítica de uma organização cultural. Darcy Ribeiro (1953) coloca que "a cultura de um povo reflete em sua integração, no modo de fazer, sentir ou pensar de uma sociedade e na forma com que se posiciona frente aos problemas da vida associativa." (apud DAMASCENO, 2014). Ainda, retomando a questão da importância da Libras como elemento afirmativo, Vigotski (1995) considera que a linguagem é o ponto-chave do desenvolvimento cultural do ser humano, uma vez que a sua complexa estrutura semiótica traduz os aspectos históricos característicos da formação de uma cultura.

Isto posto, este trabalho prioriza o viés socioantropológico da surdez em detrimento do clínico-terapêutico, visto que o primeiro, na concepção de Lopes, julga que "os surdos constituem uma comunidade linguística e cultural minoritária, constituída por sujeitos que possuem uma cultura visual, para o entendimento e apreensão do mundo." (LOPES, 2012, p. 163). A autora problematiza a ideia da pessoa surda como portadora de deficiência e diferenciada pela falta, em vez da cultura, de acordo com a visão clínico-terapêutica aqui desencorajada, na qual:

[...] o surdo é visto como um sujeito inferior, incompleto, que deve ter sua deficiência removida através de terapias da fala e sessões de oralização, a fim de que se pareça, o mais possível, com os que ouvem. A representação clínico terapêutica nega, assim, a existência das identidades e da diferença surda. Os pressupostos que orientam esse modelo são os saberes da ciência médica. A surdez é uma patologia, um déficit biológico, e o sujeito surdo é narrado como doente, como deficiente auditivo. (LOPES, 2012, p. 157)

2.3 Exclusão, segregação, integração e inclusão

Dentro do senso comum, quando se fala em inclusão social, entende-se que é a assistência a certos grupos minoritários para que possam fazer parte da sociedade como cidadãos iguais, sem que suas características "desfavoráveis" sejam fatores negativos ou limitantes. Contudo, o que significa, de fato, a inclusão?

Romeu Sasaki (1999) afirma que

A sociedade, em todas as culturas, atravessou diversas fases no que se refere às práticas sociais. Ela começou praticando a exclusão social de pessoas que - por causa das condições atípicas - não lhe pareciam pertencer à maioria da população. Em seguida desenvolveu o atendimento segregado dentro de instituições, passou para a prática da integração social e recentemente adotou a filosofia da inclusão social para modificar os sistemas sociais gerais. (SASSAKI, 1999, p. 15)

Vale lembrar que essas fases não obrigatoriamente ocorreram simultaneamente em todos os sistemas sociais, nem nos mesmos períodos históricos. No Brasil e em praticamente todos os outros países, infelizmente, ainda é muito comum a prática da exclusão² e da segregação³, principalmente das camadas mais vulneráveis da sociedade, fato que contribui expressivamente para a desigualdade social de muitas nações.

Desse modo, a palavra inclusão no âmbito social só tem seu sentido completo quando colocada diante das outras: exclusão, segregação e integração. Isso porque, para que se compreenda o seu conceito, é necessário ter uma visão histórica de como aconteceu - e acontece - o processo de aproximação das minorias aos grupos dominantes da população.

2.3.1 Exclusão

Neste trabalho serão adotadas duas noções do termo “exclusão”: a exclusão como fundamento para a formação de identidade e a exclusão unida à palavra "social", que é a prática que foi mencionada na introdução desta seção.

A primeira noção é muito bem definida pela autora Maura Lopes (2012), quando diz que:

[...] a identidade necessita, para a sua existência, de algo fora dela. Isto é, para a constituição da minha identidade brasileira, eu necessito que existam outras identidades, como a identidade argentina, paraguaia, [...] francesa, alemã e assim por diante, que, por sua vez, diferem da minha identidade brasileira, mas que, por outro lado, fornecem as condições para que ela exista. Dessa forma, a identidade passa a ser marcada pela diferença, e esta se sustenta na exclusão. (LOPES, 2012, p.146)

Nessa perspectiva, dentro do contexto deste estudo, a identidade das pessoas ouvintes (mais comum) necessita da identidade surda (menos comum) para que seja reconhecida como aquela que é normal. Portanto, as que não se encaixam no normal são tachadas como “anormais”, estranhas. A partir dessa constatação, abre-se margem para que a surdez, desviante do padrão, seja marcada pela falta, pela deficiência, ou seja, a ausência do

² GUERRA, A.; POCHMANN, M.; SILVA, R. **Atlas da exclusão social no Brasil: dez anos depois**. São Paulo: Cortez, 2014.

³ HUMAN RIGHTS WATCH. **“Eles ficam até morrer” - Uma vida de isolamento e negligência em instituições para pessoas com deficiência no Brasil**. Brasil: Human Rights Watch, 2018.

sentido da audição implica em uma anormalidade e, conseqüentemente, no surgimento de uma minoria.

Conforme Santos (2008):

O nascimento desse corpo anormal foi possível com a entrada da narrativa [...] da medicina com a conseqüente classificação como patológico. Essa compreensão da deficiência como um fenômeno no âmbito da patologia ou da anormalidade ficou conhecido como o modelo médico da deficiência. (SANTOS, 2008).

É desta alegação que emerge a noção da exclusão social, embasada, principalmente, no modelo médico da deficiência, de acordo com Sasaki (1999). Segundo o autor, a era da exclusão - como prática predominante - aconteceu durante a antiguidade até o início do século XX, quando as pessoas portadoras de deficiência eram excluídas, em sua totalidade, das atividades sociais por serem consideradas inválidas, inúteis para a sociedade e desprovidas de força laboral. Enquanto algumas culturas internavam essas pessoas junto com doentes e idosos, subjugando todas as classes vulneráveis a uma única categoria, outras chegavam a simplesmente eliminá-las.

A visão clínica da perda auditiva, ou o modelo médico da deficiência, como posto por Sasaki (1999), provoca a perspectiva de que "a pessoa deficiente é que precisa ser curada, tratada, reabilitada, habilitada etc. a fim de ser adequada à sociedade como ela é, sem maiores modificações." (SASSAKI, 1999, p. 29). Na verdade, no contexto da exclusão total, esse modelo pode ser visto como uma versão ainda mais arcaica de si próprio, na qual não existem sequer movimentos para a tentativa de "cura" dos deficientes, apenas a violenta marginalização do indivíduo perante à sociedade. As posteriores tentativas de especialização das instituições para tratamento desse grupo da população acabaram por caracterizar a prática da segregação.

É importante enfatizar que, para Sasaki (1999), o modelo médico da deficiência é um grande responsável pela resistência da sociedade em aceitar mudanças estruturais que incluem as PcDs. Por isso, levou-se a acreditar que, sendo a deficiência um problema exclusivo de quem a porta, basta que seja-lhe provido de algum serviço que possa solucioná-lo.

2.3.2 Segregação

A segregação, conforme Sasaki (1999), parte da tentativa de acolhimento daqueles que possuem algum tipo de deficiência, seguindo as crenças do modelo médico, dentro de instituições clínicas ou terapêuticas, no intuito de prover-lhes todos os serviços

possíveis, porém sem que eles façam parte da sociedade ou mesmo das instituições por completo, pois a primeira ainda os enxerga como marginais. Seguindo a sua cronologia proposta, o autor afirma que a era da segregação foi durante a década de 20 até 40. Neste período começaram a surgir as instituições especializadas para atender pessoas por tipo de deficiência. No entanto, essa época também caracterizou-se pelo início da formação de grupos políticos voltados para essa parcela social, inclusive aqueles constituídos apenas por pessoas de tal parcela.

A prática segregativa pode muitas vezes ser confundida com a da integração e, ainda, com a inclusão social. Por não se ter um conhecimento sólido das características de cada uma disseminado na sociedade, diversas ações que são vistas como integrativas ou inclusivas na verdade estão segregando os grupos sociais, e isso é comum de acontecer com os grupos de PcDs. De acordo com Sasaki (1999), a inserção de pessoas com deficiência em ambientes separados dentro dos sistemas gerais, como uma sala de aula reservada para "alunos especiais" em uma escola comum, é uma prática segregativa que pode facilmente ser confundida com as outras mencionadas.

2.3.3. Integração

Sasaki (1999) afirma que em meados da década de 60 o movimento pela integração social começou a lutar pela inserção das PcDs nos sistemas sociais gerais como a educação, o trabalho, a família e o lazer. Dessa forma, a era da integração ocorreu entre as décadas de 50 e 80, e foi caracterizada, principalmente, pelo princípio da normalização. Conforme dito por Mendes (1994), o princípio "tinha como pressuposto básico a idéia de que toda pessoa portadora de deficiência, especialmente aquela portadora de deficiência mental, tem o direito de experienciar um estilo ou padrão de vida que seria comum ou normal à sua própria cultura." (MENDES apud SASSAKI, 1999).

A própria lei brasileira definia a normalização como o ato de "oferecer, aos portadores de necessidades especiais, modos e condições de vida diária o mais semelhantes possível às formas e condições de vida do resto da sociedade." (BRASIL, 1994, p. 22).

Apesar de proporcionar avanços no sentido de aproximar as PcDs da sociedade em geral e inseri-las no contexto comum à maioria da população, a integração não levava em conta a mudança de comportamento do outro lado, aquele das pessoas não-portadoras de deficiências. Essa prática centralizava suas ações na expectativa de que o grupo minoritário

superaria as suas barreiras e se adaptaria ao "mundo normal" sendo, enfim, aceito pelo resto da sociedade, sem que houvesse qualquer esforço por parte da mesma.

2.3.4 Inclusão

Até aqui, as três práticas sociais refletiam, em diferentes níveis, o modelo médico da deficiência. A inclusão social vem para quebrar o paradigma da deficiência como diferença exclusivista e inseri-la como uma identidade, baseando-se no modelo social da deficiência. Para Sasaki (1999), a prática inclusiva abrange três principais conceitos, que são a autonomia, a independência e o empoderamento:

Autonomia é a condição de domínio no ambiente físico e social, preservando ao máximo a privacidade e a dignidade da pessoa que a exerce. [...] Independência é a faculdade de decidir sem depender de outras pessoas, tais como: membros da família ou profissionais especializados. [...] Empowerment [sic] significa o processo pelo qual uma pessoa, ou um grupo de pessoas, usa o seu poder pessoal inerente à sua condição - por exemplo: deficiência, gênero, idade, cor - para fazer escolhas e tomar decisões, assumindo assim o controle de sua vida. (SASSAKI, 1999, p. 36-37)

O autor também conceitua a inclusão social, esclarecendo que ela acontece quando a sociedade se adapta para poder incluir em seus sistemas as PcDs, "as quais se preparam para assumir seus papéis na sociedade." A prática constitui-se de "um processo bilateral no qual as pessoas, ainda excluídas, e a sociedade buscam, em parceria, equacionar problemas, decidir sobre soluções e efetivar a equiparação de oportunidades para todos." (SASSAKI, 1999, p. 40).

Diante disso, fica claro que a população como um todo tem a responsabilidade de adequar-se às diferenças e aceitá-las de forma conjunta, buscando a criação de um ecossistema o mais saudável e abrangente possível.

2.4 Música, pessoas surdas e acessibilidade

Em matéria para a revista *Nature*, Klarreich (2001) relata uma pesquisa conduzida pelo radiologista Dean Shibata em 2001 e publicada na Conferência Anual da Sociedade Radiológica da América do Norte, na qual identificou que, ao segurarem uma haste de PVC em vibração, pessoas surdas possuem atividade no córtex auditivo, enquanto pessoas ouvintes não possuem esse tipo de estímulo neurológico. De acordo com o autor, a percepção da

vibração pelos surdos ativa as mesmas regiões cerebrais de pessoas ouvintes quando escutam música. A partir de suas pesquisas, Shibata inferiu que a experiência que os surdos têm quando “sentem” a música é semelhante à que pessoas ouvintes têm ao ouvirem.

No intuito de investigar a relação que as pessoas surdas ou com baixa audição possuem com a música, bem como a presença dessa arte em seus cotidianos e quais limitações existem nessa experiência, Fourney (2012) realizou uma pesquisa com indivíduos que se encaixavam nesse perfil de deficiência auditiva utilizando diversos estímulos visuais computacionais que representavam melodias reproduzidas. A partir desse estudo, Fourney concluiu que:

“Em uma apresentação puramente auditiva, a música não é totalmente acessível ao público surdo/com baixa audição. O impacto é significativo: a experiência musical é frustrante, as letras são difíceis de entender, o conteúdo emocional não é totalmente comunicado e falta a experiência completa de entretenimento.” (FOURNEY, 2012).

Apesar dessa afirmação, os resultados também demonstraram que todos os indivíduos possuíam alguma ligação com a música, fosse como parte do seu dia-a-dia ou apenas uma experiência esporádica. A maioria, inclusive, escutava composições diariamente ou com frequência, mesmo com as limitações impostas.

Além do uso de implantes cocleares ou aparelhos auditivos, muitas pessoas surdas ou com baixa audição utilizam técnicas “improvisadas” para obterem tal experiência. Alguns exemplos conhecidos são:

- a) ficar de pés descalços para sentir a vibração conduzida pelo chão;
- b) segurar um balão, cujo material - a borracha - é um ótimo condutor de vibração;
- c) ficar próximo a um alto-falante, pois a proximidade das ondas sonoras facilita um maior impacto da vibração (porém pode danificar ainda mais o sistema auditivo da pessoa).

Um exemplo que teve bastante notoriedade na década de 80 foram as aglomerações dos “*Deafheads*” (*BEYOND the Artist: Dead & Company and the Deafheads*, 2020) em concertos da famosa banda de rock *Grateful Dead*. Os *Deafheads* fazem um paralelo aos “*Deadheads*”, como são conhecidos os fãs da banda. Contudo, os primeiros constituem o grupo daqueles que possuem deficiência auditiva, mas que estavam sempre presentes nos concertos segurando balões de borracha e apreciando as músicas por meio das vibrações transmitidas através do objeto. A banda, por sua vez, garantia espaços próximos ao

palco chamados de “*The Deaf Zone*”, para que seus fãs surdos pudessem captar as vibrações do som o mais forte possível. No *tour* de reunião do conjunto, em 2015, as *Deaf Zones* foram equipadas com grandes televisores cujas imagens exibiam os lábios dos integrantes, para facilitar a leitura labial, como também as legendas continham as letras das músicas reproduzidas. Além disso, os espaços contaram com intérpretes da Língua de Sinais Americana (*American Sign Language - ASL*), que realizavam as interpretações das músicas e falas em tempo real (Figura 1).

No documentário *Beyond the Artist: Dead & Company and the Deafheads* produzido pela arena Chase Center sobre o grupo dos *Deafheads*, o membro Mike Dorsey, que é profundamente surdo, afirma que:

“Muitas pessoas surdas seguram balões com as mãos e o ritmo [da música] atravessa o balão e as pontas dos seus dedos, [...] tendo esse tipo de ferramenta, uma boa localização e a presença de um bom intérprete de língua de sinais realmente dá a mesma sensação mágica que todos os outros membros do público estão experimentando.” (*BEYOND the Artist: Dead & Company and the Deafheads*, 2020, tradução nossa).

Figura 1 - Intérprete da ASL em uma *Deaf Zone* do concerto “*Fare Thee Well*” da *Grateful Dead* em 2015.



Fonte: *Wall Street Journal* (2020).

Dessa forma, desafiando a noção de que a música é apenas algo que pode ser ouvido, as tecnologias disponíveis para apoiar os consumidores de música surdos incluem

representações visuais e táteis, e podem ser bastante promissoras, visto que com simples objetos como balões de borracha já é possível transformar positivamente a experiência dessas pessoas.

2.5 Aspectos físicos da música

O intuito desta seção é esclarecer as relações entre algumas propriedades físicas do som e noções da música, que são essenciais para compreender como funciona o dispositivo implementado neste trabalho. Serão apresentadas as principais características de uma onda sonora, bem como a sua definição, e como esses aspectos interferem na manifestação e na análise do som em forma de música.

2.5.1 Onda sonora

De acordo com Cutnell e Johnson (2016),

O som é uma onda mecânica longitudinal criada por um objeto vibrante, como uma corda de violão, as cordas vocais humanas ou o diafragma de um alto-falante. Além disso, o som pode ser gerado ou transmitido apenas em um meio, como um gás, um líquido ou sólido. (CUTNELL & JOHNSON, 2016, p. 473)

É por isso que, ao tocar em um balão de borracha, uma haste metálica ou qualquer outro objeto cujo material seja um bom condutor de onda mecânica, é possível sentir a vibração que atravessa tal material.

Ainda, segundo Grillo e Perez (2016), uma onda sonora é caracterizada pela sua altura, timbre, intensidade e duração. A altura depende apenas da frequência em *Hertz (Hz)* da onda e é o que permite diferenciar sons agudos, ou de altas frequências, e graves, ou de baixas frequências. O timbre se relaciona diretamente com a composição dos harmônicos da onda sonora e é a propriedade que possibilita distinguir os instrumentos musicais ou as vozes das pessoas, por exemplo. A intensidade do som é configurada pela amplitude da onda e pode ser traduzida pela unidade de medida em escala logarítmica *decibel (dB)*. A duração é representada pelo tempo que o som dura.

Neste trabalho, serão consideradas todas as características das ondas sonoras, exceto o timbre, uma vez que este depende de análises aprofundadas da frequência da onda emitida pela fonte sonora. Para isso, seria necessário, no mínimo, conseguir identificar notas

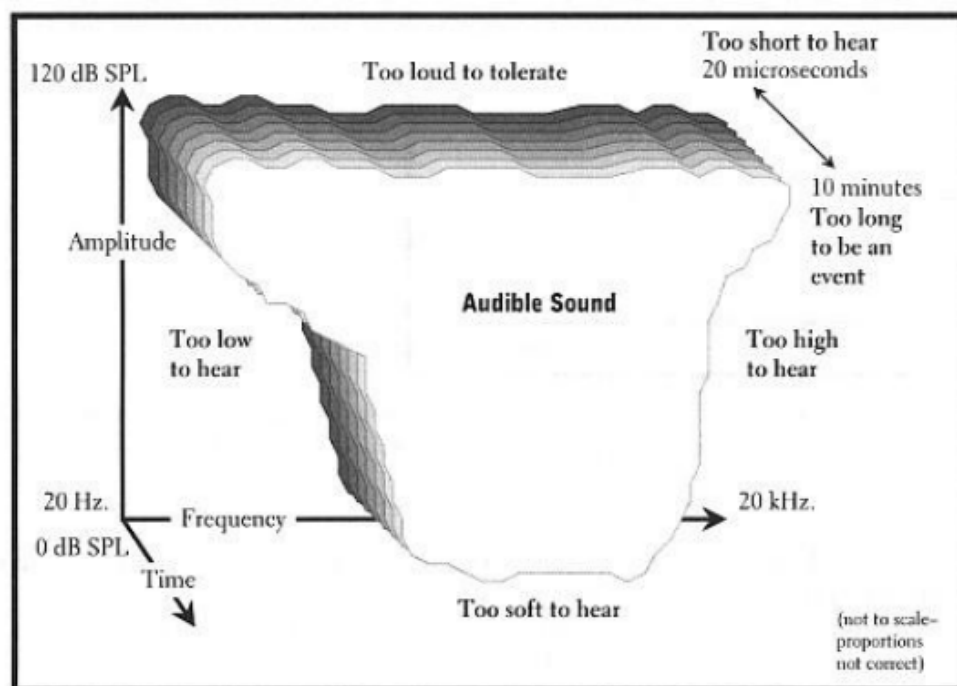
musicais iguais com frequências diferentes, o que exige conhecimentos mais avançados em teoria musical e programação, possivelmente adentrando as áreas de inteligência computacional ou aprendizagem de máquina - o que foge dos objetivos de estudo aqui colocados.

2.5.2 O espectro audível e subgrupos de frequências

Antes de expor o conceito do espectro audível, é importante salientar que, apesar de denominar-se “audível”, tal espectro é considerado neste trabalho porque representa a parte das frequências que estão presentes nas composições musicais.

O espectro audível diz respeito ao alcance de frequências que os seres humanos são capazes de detectar, estando elas entre 20 Hz e 20 kHz (Figura 2), de acordo com Grillo e Perez (2016), Moulton (2000) e Cutnell e Johnson (2016).

Figura 2 - Gráfico do espectro audível em sua frequência *versus* amplitude *versus* tempo.



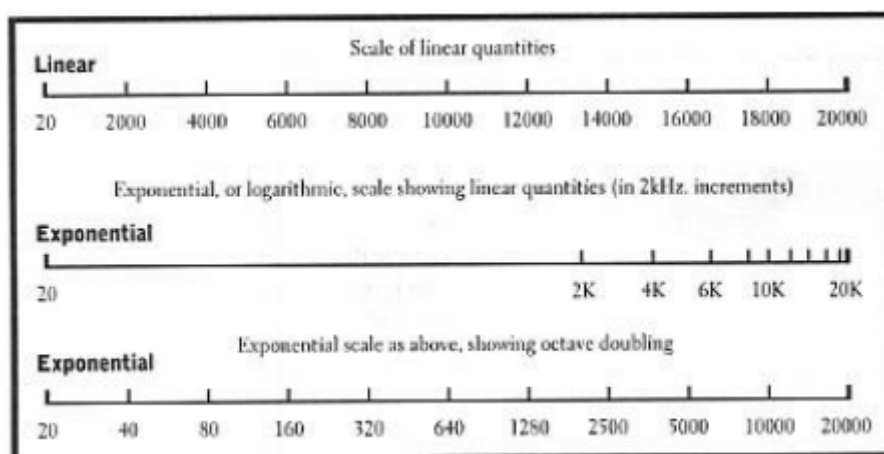
Fonte: David Moulton (2000).

A fim de categorizar as frequências, pode-se dividi-las em grupos menores dentro do espectro. No entanto, não seria correto dividi-las linearmente, ou seja, em grupos com a mesma quantidade de frequências, pois essa escala não representaria a realidade. Moulton (2000) afirma que “nós ouvimos em proporções relativas, não em quantidades absolutas (o

que significa dizer: ‘nós ouvimos exponencialmente, não linearmente!’)” (MOULTON, 2000, p. 26, tradução nossa).

Dessa forma, a abordagem que melhor representa numericamente a percepção humana é a divisão do espectro em 10 espaços, ou “oitavas”, que seguem uma escala logarítmica. De acordo com Moulton (2000), a oitava é a unidade básica em escalas musicais e representa uma duplicação da frequência, ou seja, cada oitava comporta o dobro da quantidade de frequências da oitava anterior, devido à escala logarítmica. A abrangência obtida para cada oitava também é chamada de largura da banda de frequência. Assim, o espectro de frequências entre 20 Hz e 20 kHz pode ser dividido em 10 partes, ou 10 oitavas, de forma a representar mais fielmente os níveis da audição humana, como visto na terceira escala da Figura 3.

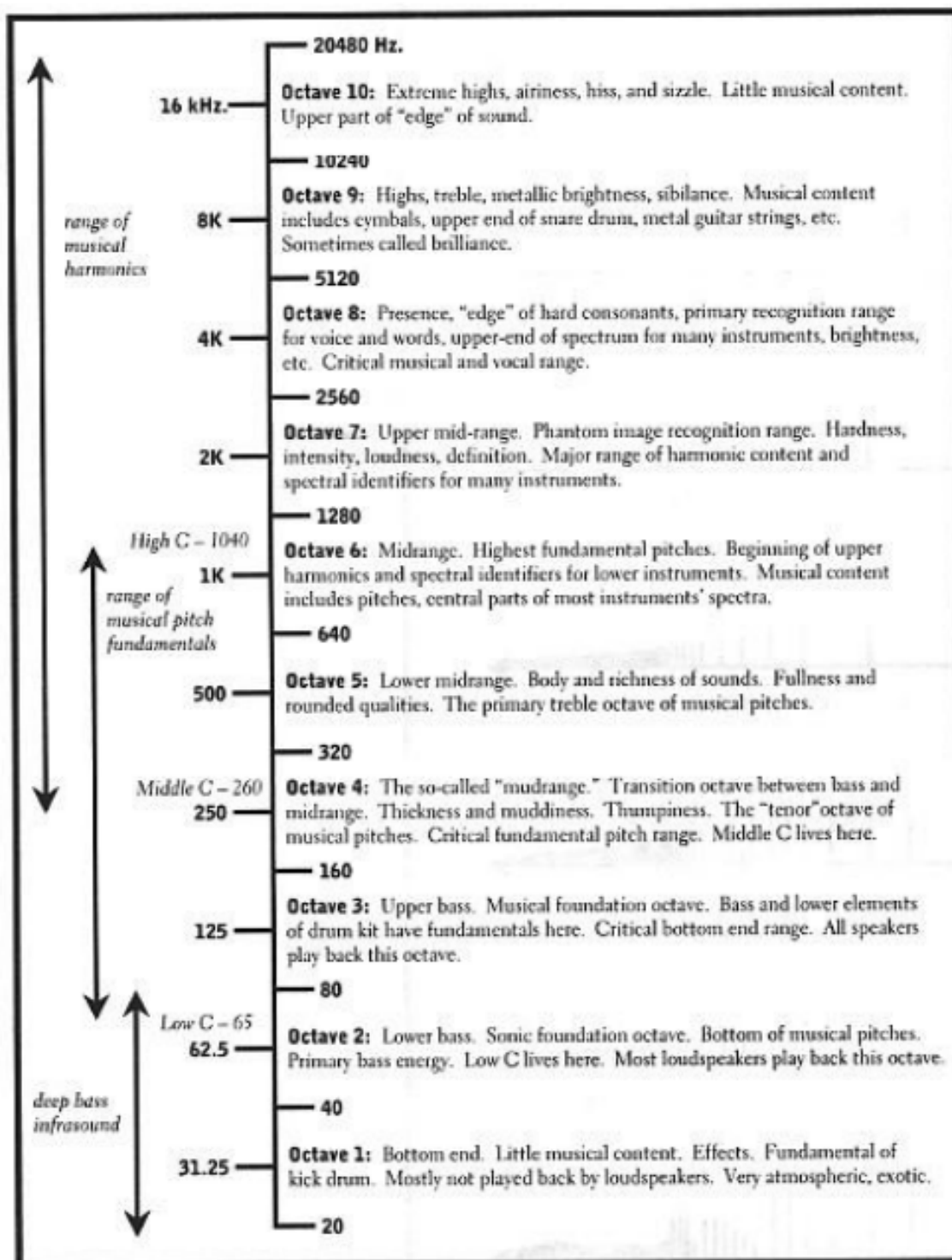
Figura 3 - Escalas de divisão do espectro audível em 10 unidades.



Fonte: David Moulton (2000).

Por fim, o autor acrescenta que cada uma dessas 10 oitavas abrange frequências características de determinadas fontes sonoras e possui suas próprias qualidades musicais, acústicas e psicoacústicas. A partir desse agrupamento quali-quantitativo visto na Figura 4, é possível fazer uma análise da frequência e determinar possíveis instrumentos, ambientes e estilos musicais, por exemplo.

Figura 4 - As 10 oitavas do espectro audível e suas particularidades.



Fonte: David Moulton.

Vale ressaltar que o espectro também pode ser dividido em três regiões classificadas pelas características das oitavas, sendo elas: baixos (graves), médios e altos (agudos). Os sons graves variam entre as frequências 20 Hz a 160 Hz (subgraves, graves

inferiores e superiores), os médios ficam entre 160 Hz e 2,56 kHz (transição, médios inferiores, médios e médios superiores) e os altos compreendem as frequências entre 2,56 kHz e 2 kHz (presença, agudos e agudos extremos).

Os valores ao lado esquerdo da escala, posicionados entre dois extremos de cada oitava, representam as frequências centrais da oitava, por exemplo, a segunda oitava comporta frequências entre 40 Hz e 80 Hz, sendo a sua frequência central 62,5 Hz. Esse valor é obtido calculando-se a média geométrica entre os extremos e é muito importante para a identificação de alcances de frequência dos instrumentos, segundo Moulton (2000).

2.5.3 Ritmo e batidas

Patin (2003) descreve o conceito de *ritmo* da música como a detecção de sucessões pseudo-periódicas de *batidas*. O sinal decorrente desse fenômeno interceptado pelo cérebro possui uma certa quantidade de energia e, quanto mais energia esse sinal carrega, maior será o som escutado ou sentido.

De acordo com Huber e Runstein (2018),

Dois tons que diferem apenas ligeiramente em frequência e têm aproximadamente a mesma amplitude produzirão um efeito conhecido como *batidas*. Este efeito soa como surtos de volume repetitivos que são iguais em frequência à diferença entre esses dois tons.” (HUBER & RUNSTEIN, 2018, tradução nossa).

Dito isso, um som será reconhecido como uma batida somente quando a sua energia naquele dado momento for muito maior do que o histórico de energias, ou seja, quando o cérebro detectar uma variação brutal na amplitude desse som. Assim, se for reproduzido um som monótono com alguns picos altos de energia, será possível identificar batidas, no entanto, se esse som for composto por sinais contínuos de alta amplitude, uma batida não poderá ser percebida (PATIN, 2003).

2.6 Usabilidade e experiência do usuário em tecnologias interativas

Para uma melhor compreensão dos princípios de design considerados neste trabalho, faz-se necessária a elucidação de alguns conceitos da área e suas respectivas abordagens que tiveram mais peso no estudo.

2.6.1 Definições de usabilidade e experiência do usuário

A área de Interação Humano-Computador (IHC) tem a experiência do usuário e a usabilidade como alguns dos seus critérios de qualidade de uso (BARBOSA et al., 2021). Segundo a norma sobre requisitos de ergonomia, ISO 9241-11 (2018), o termo *usabilidade* refere-se ao “grau em que um sistema, produto ou serviço é usado por usuários específicos para atingir objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico.” (ISO 9241-11, 2018, tradução nossa). Nessa definição, a eficácia reflete a capacidade de os usuários interagirem com o sistema para alcançar seus objetivos corretamente, dentro das interações esperadas. A eficiência considera os recursos necessários, como tempo, mão de obra, e materiais disponíveis, para os usuários interagirem com o sistema e alcançarem seus objetivos. Além disso, é importante levar em conta o grau de satisfação do usuário com a experiência obtida ao usar a tecnologia interativa em seu contexto de uso apropriado (BARBOSA et al., 2021). A satisfação inclui o grau em que a experiência do usuário, resultante do uso real do produto, consegue atender às necessidades e expectativas do usuário (ISO 9241-11, 2018).

A *experiência do usuário*, conforme a ISO 9241-11 (2018), é definida pelas “percepções e respostas do usuário que resultam do uso e/ou da antecipação do uso de um sistema, produto ou serviço.” (ISO 9241-11, 2018, tradução nossa). Como afirmado por Barbosa et al. (2021), o escopo desse termo abrange produtos, sistemas, serviços e objetos com os quais uma pessoa pode interagir por meio da mediação por uma tecnologia.

Ambos os critérios de qualidade de uso podem assumir significados bastante diferentes (BARBOSA et al., 2021), contudo, as definições apresentadas foram consideradas as mais pertinentes para os objetivos deste trabalho.

2.6.2 A interação entre experiência do usuário e design de som

Hug e Pfaff (2019) relacionam a “terceira onda do IHC”, que tem em seu escopo o dia-a-dia das pessoas e a criação de significado, à experiência humana essencialmente incorporada a um novo foco em experiências corporais, interações gestuais e espaciais e o design multisensorial. Os autores concluem que essa associação estabelece as circunstâncias para considerações de novas possibilidades e potenciais encontrados no uso do som no design interativo, implicando que o som é um material de design equivalente a outras dimensões sensoriais (HUG & PFAFF, 2019).

Os autores reportam que o som, para eles, nunca é apenas um embelezamento opcional ou simplesmente um tipo de *feedback*. Na verdade, propriedades emocionais e expressivas têm um papel central nesse elemento. Indo além, Austin (2019) declara que “todo design de som é design de experiência do usuário” (AUSTIN, 2019). Seja em práticas de produção musical ou de manipulação sonora, um dos principais propósitos do design de som é criar e curar o som que acompanha a experiência visando aprimorá-la.

Para relacionar diretamente o design de som à experiência do usuário, Austin (2019) explora os conceitos dos três níveis de experimentação afetiva de Donald Norman, sendo eles: o visceral, o comportamental e o reflexivo. Segundo Austin (2019), o “design visceral” apoia-se nos nossos sentidos físicos para interpretar informações do ambiente, resultando imediatamente em *feedbacks* emocionais sobre a experiência. Os seres humanos criam experiências únicas a partir de combinações das suas modalidades sensoriais e a leitura que o cérebro faz sobre esses estímulos. O autor cita o exemplo de que podemos inferir a presença de uma tempestade através de diferentes indicativos sensoriais, como o cheiro da chuva, o barulho do trovão, a visualização de raios, a sensação de gotas de chuva caindo sobre a pele, entre outros.

Nessa perspectiva, uma experiência de usuário eficiente se sustenta fortemente na maioria desses sentidos e a resposta psicológica do indivíduo a eles (AUSTIN, 2019). Considerando que a experiência pode ser aprimorada pela exploração criativa desses sentidos, é possível, então, estabelecer um vínculo com a premissa da acessibilidade que, de acordo com Barbosa *et al.* (2021), “está relacionada à remoção das barreiras que impedem mais usuários de serem capazes de acessar a interface do sistema e interagirem com ele” (BARBOSA *et al.*, 2021, p. 35).

Assim, o design de tecnologias interativas que contêm o som como material relevante permite a experimentação de outros sentidos alternativos à audição como meios de gerar os estímulos desejados na experiência do usuário, de forma que a tecnologia possa ser assistiva e inclusiva.

2.6.3 Avaliação da experiência do usuário

Como já exposto, o grau de satisfação que um usuário obtém com a sua experiência durante a interação com uma tecnologia é um fator a ser considerado na definição de usabilidade. Os *feedbacks* do usuário, portanto, são essenciais para constituir uma avaliação da sua experiência, que pode ser realizada de diversas formas.

O *framework* DECIDE de Preece *et al.* (2002) abrange todas as etapas do planejamento, execução e análise de uma avaliação dentro do escopo da interação do usuário, a saber, de acordo com as autoras e com Barbosa *et al.* (2021):

- a) Determinar (*Determine*) os objetivos da avaliação - deve-se determinar os objetivos gerais da avaliação e identificar os motivos que os tornam importantes.
- b) Explorar (*Explore*) as perguntas específicas de cada objetivo que devem ser respondidas - para cada objetivo que foi definido, é necessário elaborar perguntas específicas a serem respondidas durante a avaliação. Essas perguntas irão direcionar a investigação a ser realizada e devem considerar o perfil dos usuários e suas atividades.
- c) Escolher (*Choose*) o paradigma de avaliação e as técnicas utilizadas para responder as perguntas - deve-se escolher os métodos adequados para responder as perguntas e atingir os objetivos determinados, dentro das limitações de tempo, custos, materiais e conhecimentos disponíveis.
- d) Identificar (*Identify*) as questões práticas que devem ser consideradas, como selecionar os participantes, os equipamentos necessários, os prazos e orçamentos disponíveis, além da mão-de-obra necessária para realizar a avaliação.
- e) Decidir (*Decide*) como lidar com as questões éticas - deve-se tomar os devidos cuidados éticos que protegem todos os envolvidos, como a apresentação de termos de consentimento e de confidencialidade das informações.
- f) Avaliar (*Evaluate*), interpretar e apresentar os dados coletados - é preciso considerar o grau de confiabilidade dos dados obtidos (semelhança dos resultados nas repetições do método), a validade interna (se de fato mede os dados necessários, sem distorções), a validade externa (o grau de generalização ou aplicação em outros contextos semelhantes) e a validade ecológica (a proximidade dos materiais, métodos e ambientes à realidade) do estudo.

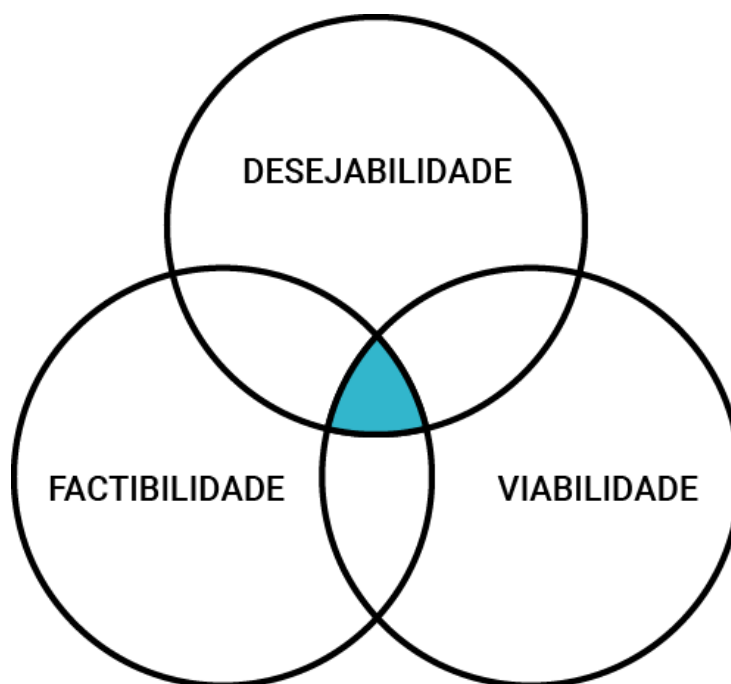
2.7 Design Thinking

O *Design Thinking*, de acordo com Preece *et al.* (2019) é “uma abordagem para resolução de problemas e design inovador que se concentra em entender o que as pessoas desejam e o que a tecnologia pode oferecer.” (PREECE *et al.*, 2019, tradução nossa).

A IDEO, empresa que é uma referência mundial em design e uma das responsáveis por popularizar a abordagem, complementa que “design thinking reúne o que é desejável do ponto de vista humano com o que é tecnologicamente factível e economicamente viável.” (IDEO, 2021), construindo, assim, um diagrama formado por três condições-chave que circundam a concepção de um produto: a “desejabilidade”, a “viabilidade” e a “factibilidade”, como ilustrado na Figura 5. Ainda segundo a IDEO, para entender o que significa cada condição, devem ser feitas as seguintes perguntas:

- a) Desejabilidade: Faz sentido para as pessoas (usuários) e pelas pessoas (usuários)?
- b) Factibilidade: É tecnicamente possível dentro de um futuro breve?
- c) Viabilidade: É provável de se tornar parte de um modelo de negócio sustentável?

Figura 5 - As três condições-chave para a concepção de um produto de acordo com a IDEO.



Fonte: IDEO, adaptado pela autora (2021).

O processo do *Design Thinking* (Figura 6) é bastante flexível e compreende cinco etapas que podem ser cíclicas e iterativas, isto é, “podem acontecer várias vezes, e você pode até mesmo pular para frente e para trás entre elas.” (IDEO, 2021, tradução nossa). As

nomenclaturas das etapas podem variar entre autores, mas os conceitos permanecem os mesmos. Conforme a IDEO, são eles:

- a) Formular perguntas - procurar entender os problemas e desejos dos usuários em questão;
- b) Buscar inspiração - observar e descobrir como e onde o problema se encaixa;
- c) Gerar ideias - gerar ideias de soluções a partir do que foi observado;
- d) Tornar as ideias tangíveis - prototipar as ideias e filtrá-las;
- e) Testar para aprender - testar os protótipos e coletar *feedbacks*.

Apesar dessa definição de etapas, o processo pode ser moldado de acordo com as particularidades do problema, como afirma a IDEO: “as fases se combinam para formar uma abordagem iterativa que você pode experimentar e adaptar para se adequar ao seu desafio específico.” (IDEO, 2021, tradução nossa).

Figura 6 - Etapas do *Design Thinking* de acordo com a IDEO.



Fonte: IDEO (2021).

2.8 Computação Física e Design Computacional

2.8.1 Computação Física

Segundo Nazemi (2019), a área da Computação Física envolve a comunicação entre o mundo físico e o mundo digital dos computadores. Essa troca de informações é possível por meio do processo conhecido como *transdução*, que significa a conversão de uma forma de energia para outra. Outra forma pela qual a computação física pode ser vista é a de que ela oferece a oportunidade de aprendizado através da compreensão de como os humanos se expressam fisicamente e se comunicam por meio de computadores. (NAZEMI, 2019).

A propósito, os primeiros experimentadores de computação física eram músicos, especificamente músicos eletrônicos que *hackeavam* dispositivos de *hardware* com o objetivo de incluir controles para performances baseadas em gestos e manipulação de sinais de áudio em tempo real. (COLLINS apud NAZEMI, 2014).

A ferramenta central da computação física é o microcontrolador, um pequeno computador que apresenta conectividade para a entrada e saída de dados, permitindo o uso de atuadores (dispositivos que convertem energia em movimento) e sensores. Essas funcionalidades básicas, quando integradas com alguns componentes como motores, sensores e emissores, são suficientes para gerar inúmeras possibilidades de criação de dispositivos.

Dessa forma, existem diversas vantagens na utilização de microcontroladores. Conforme Nazemi (2019),

Além de pequenos, eles são baratos, eficientes, compatíveis com uma ampla gama de sensores e atuadores, podem ser de código aberto e normalmente têm uma grande comunidade de apoiadores que compartilham conhecimento sobre projetos, códigos e microcontroladores personalizados. Existem muitos tipos de microcontroladores no mercado e a escolha de qual usar depende da aplicação, quanta memória você precisa, número de I/Os, comunicação sem fio, consumo de energia e tamanho. (NAZEMI, 2019, p.9, tradução nossa).

2.8.1.1 O Arduino

A plataforma de computação física mais popular no mundo é o Arduino (Figura 7), o qual, além possuir um *hardware* extremamente versátil e fácil de utilizar, é uma plataforma de baixo custo e de código aberto, compatível com os sistemas operacionais Windows, MacOS e Linux, que possibilita qualquer pessoa a criar sua própria variação do dispositivo. O Arduino, cujo microcontrolador é o *ATmega*, foi introduzido pelo *Ivrea Interaction Design Institute* como uma ferramenta de prototipação rápida e fácil direcionada a estudantes sem conhecimentos prévios de eletrônica e programação e “tem sido o cérebro de milhares de projetos, desde objetos do dia-a-dia até instrumentos científicos complexos.” (ARDUINO, 2018, tradução nossa).

Devido à sua linguagem de programação de fácil compreensão, que conta com um ambiente de desenvolvimento bastante amigável e simples, porém flexível o suficiente para usuários avançados, a ferramenta tornou-se muito apreciada por uma comunidade internacional de estudantes, designers, hobbistas, artistas, programadores e profissionais de diversas outras áreas, conhecida como a comunidade *maker*.

Existem vários modelos do Arduino, desde os mais básicos, como o Arduino UNO, Arduino Nano e Arduino Leonardo, até os mais robustos, como o Arduino Mega e o Arduino Zero. Além disso, há módulos com funções específicas que podem ser incorporados,

como o de conectividade *Bluetooth*, e uma linha de placas voltadas especialmente para projetos de Internet das Coisas (IoT).

De acordo com o site do produto, o Arduino UNO é “a melhor placa para começar com eletrônica e codificação.” Direcionado às primeiras experiências com a plataforma, a UNO é a placa mais robusta com a qual se pode começar a explorar, além de ser aquela mais usada e documentada de toda a família Arduino. (ARDUINO, 2021). Inclusive, outra grande vantagem de optar por esse recurso é o seu viés educativo, que proporciona um vasto conteúdo instrucional e experimental para os usuários iniciantes.

Figura 7 - O Arduino UNO.



Fonte: Arduino.

2.8.2 Design Computacional

O Design Computacional é um termo que abrange diversos conceitos e pode, muitas vezes, tê-los sobrepostos, gerando certa ambiguidade. Para Caetano *et al.*(2020),

Muitos termos, incluindo digital, computacional e algorítmico, têm sido usados para descrever computadores. Quando os profissionais começaram a aplicar computadores em design, diferentes usos foram naturalmente chamados de design digital (DD), design computacional (DC), design algorítmico (DA) e assim por diante. (CAETANO *et al.*, 2020, tradução nossa).

Nesse sentido, os autores definem o DC, de forma sucinta, como o uso da computação no desenvolvimento de design.

Junto a isso, Lopez (2021), em seu curso de Introdução ao Design Computacional (*Introduction to Computational Design*), apresenta a área como “o conjunto de métodos emprestados de campos como a Ciência da Computação, Matemática e Geometria, aplicados à resolução de problemas de design como desenvolvimento de design, fabricação, análise, interação e comunicação.” (LOPEZ, 2021, tradução nossa).

No Curso de Sistemas e Mídias Digitais da Universidade Federal do Ceará, a disciplina Matemática Aplicada à Multimídia (MAMI) explora essa abordagem através da solução de problemas utilizando a linguagem de programação *Processing*, seguindo a justificativa do programa da mesma:

A construção de artefatos de software e de design requer o contato constante com conceitos matemáticos implícita ou explicitamente envolvidos na representação de imagens, cenas, conjuntos, modelos, algoritmos e processos. Essa disciplina trabalha os conceitos matemáticos fundamentais para a atuação multidisciplinar dos egressos do curso de bacharelado SMD na construção de sistemas e mídias digitais, conferindo ao aluno maior controle para o uso e o desenvolvimento de ferramentas e produtos. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2013)

Ainda, a disciplina Design Computacional do curso de Design da UFC propõe um viés de experimentação artística também na linguagem *Processing* e consiste, de acordo com a sua ementa, na

introdução à linguagem de programação e possíveis aplicações associadas à área de design, bem como o desenvolvimento de projetos envolvendo design de interação com a integração de ambientes computacionais de programação visual, construção de componentes eletrônicos e fabricação digital. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2012)

2.8.2.1 *Processing*

A linguagem *Processing*, de acordo com seu site,

É um caderno de rascunhos de software flexível e uma linguagem para aprender a codificar dentro do contexto das artes visuais. Desde 2001, o *Processing* tem promovido o letramento em software nas artes visuais e o letramento visual na tecnologia. Existem dezenas de milhares de estudantes, artistas, designers, pesquisadores e amadores que usam o *Processing* para aprendizagem e prototipagem. (PROCESSING, 2021)

Diante do mencionado nos programas das disciplinas de MAMI e Design Computacional e com o site da plataforma, essa linguagem é bastante utilizada em aplicações de projetos interativos que necessitam por exemplo, de programação visual, algoritmos generativos ou interpretação de elementos do ambiente como imagem e som. Além disso, sua interface de desenvolvimento é muito semelhante à do Arduino, o que torna a integração dessas duas plataformas muito fácil e prática para usuários de todos os níveis de conhecimento.

Isto posto, a escolha pela combinação entre um *software* em *Processing* que é interpretado pelo Arduino para a implementação do produto foi bastante pertinente, visto que a flexibilidade característica de ambos oferece muitas possibilidades de exploração das interações com o som e os elementos físicos do dispositivo.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

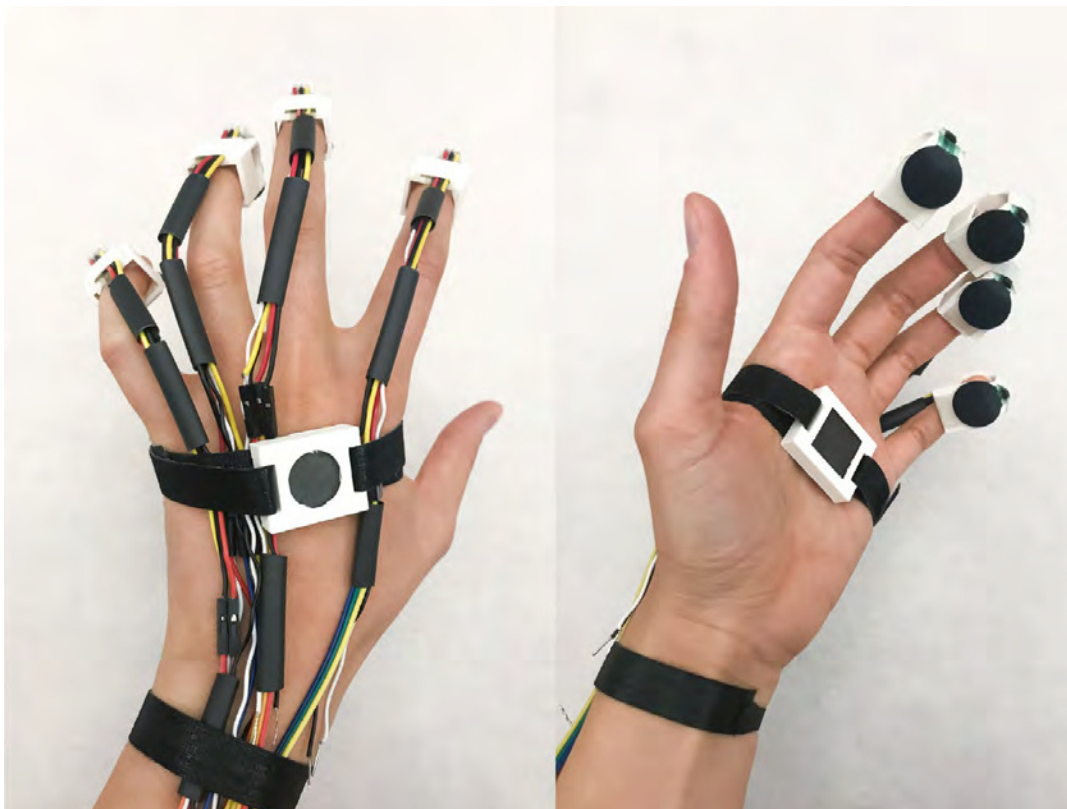
Esta seção faz uma breve discussão sobre projetos que se relacionam a este trabalho, examinados durante a fase de pesquisa bibliográfica, de forma a estabelecer as suas principais características, bem como as semelhanças e diferenças perante ao mesmo. A relação desses aspectos também é organizada na Tabela 3, referente aos elementos aproveitáveis e não aproveitáveis de cada um.

3.1 Felt sound: A shared musical experience for the deaf and hard of hearing

Este artigo apresenta uma interface musical que incorpora a Língua de Sinais Americana e estímulos táteis a partir de sons de baixa frequência. De acordo com os autores Wang e Cavdir (2020), seu objetivo principal é criar uma experiência compartilhada entre pessoas surdas e ouvintes, pois as performances que utilizam essa interface empregam apenas gestos e sensações físicas do som.

Por meio da realização de alguns gestos de sinais emprestados da ASL, o usuário é capaz de emitir sons de baixa frequência através do dispositivo vestível, que é constituído por sensores posicionados na ponta dos dedos e na palma da mão, como ilustrado na Figura 8. Esses sons, então, são transmitidos por um sistema de *subwoofers* multicanais no ambiente, que amplifica as vibrações percorrendo pelo ar, de forma que as pessoas presentes conseguem sentir o som emitido enquanto assistem a performance.

Figura 8 - Protótipo do dispositivo *Felt Sound*.



Fonte: Doga Cavdir, Ge Wang.

Apesar do foco bastante claro nas questões de acessibilidade e inclusão, e na ideia de envolver o próprio ambiente na experiência, o experimento proposto pelo projeto segue um caminho diferente do recurso aqui desenvolvido ao concentrar-se em performances gestuais com sinais de ASL pré-definidos, além de alinhar-se ao objetivo de produção musical em vez da interpretação de melodias já existentes.

Dito isso, o *Felt sound* assemelha-se à este trabalho devido à discussão colocada pelos autores sobre as experiências musicais para surdos, a valorização da inclusão e da identidade dessas pessoas, como também pela estrutura do seu protótipo, que posiciona pequenas peças feitas em impressão 3D nas pontas dos dedos e aparenta oferecer uma experiência razoável em termos de ergonomia de toda a aparelhagem.

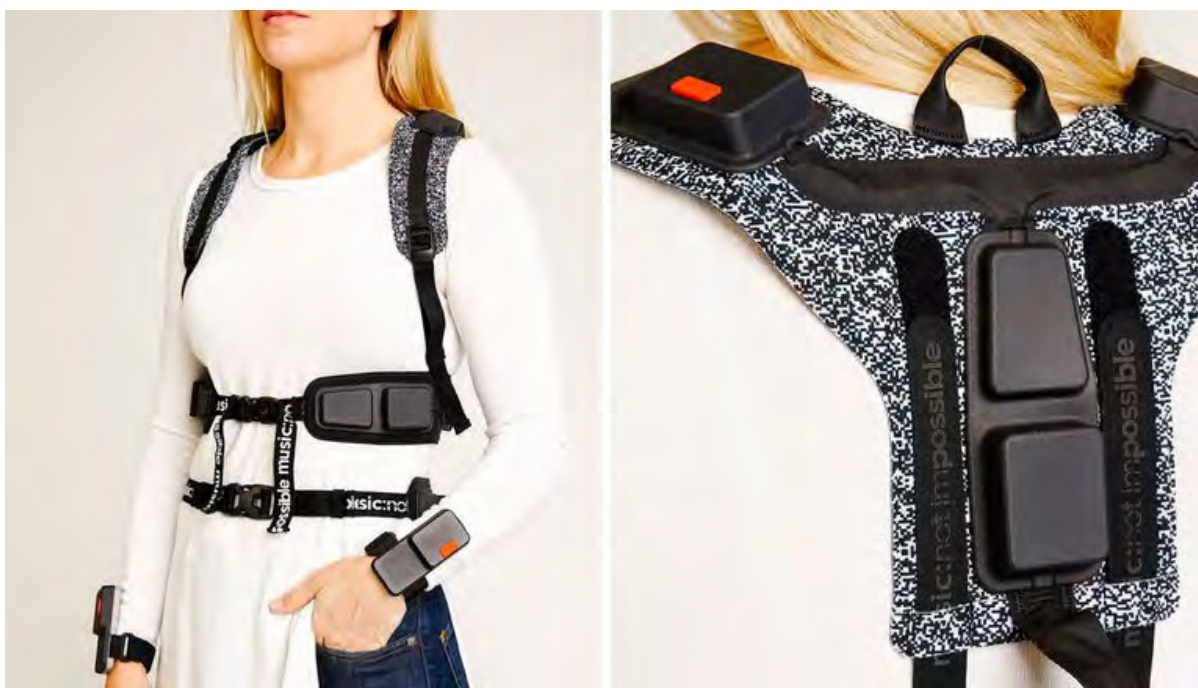
3.2 Music: *Not Impossible* e *SUBPAC*

Estes são dois dos projetos mais avançados quando se trata de tecnologia assistiva relacionada à música, e ambos são recursos vestíveis que integram ferramentas de *hardware*, *software* e conectividade sem fio. O *Music: Not Impossible*, desenvolvido pelo laboratório de

inovações *Not Impossible Labs*, tem como principal objetivo proporcionar uma maior imersão de pessoas surdas em concertos ao vivo a partir de estímulos vibracionais por todo o corpo, conduzidos através de um kit vestível composto por colete, duas pulseiras e duas tornozeleiras. O usuário, ao utilizar o equipamento, consegue sentir vibrações de acordo com os sons reproduzidos no ambiente devido à alta potência dos sons graves e das batidas - aspectos que geram as vibrações mais marcantes. (NOT IMPOSSIBLE LABS, 2018)

Contudo, as experiências acontecem apenas em locais controlados, geralmente em performances artísticas ao vivo, aos quais o laboratório precisa fornecer os kits e instalar uma estrutura capaz de conectá-los ao seu sistema tradutor de áudio e emissor de sinais. Por isso, o uso do produto depende da sua disponibilidade, não sendo algo facilmente acessível ao público.

Figura 9 - Modelo utilizando colete e pulseiras do *Music: Not Impossible*.



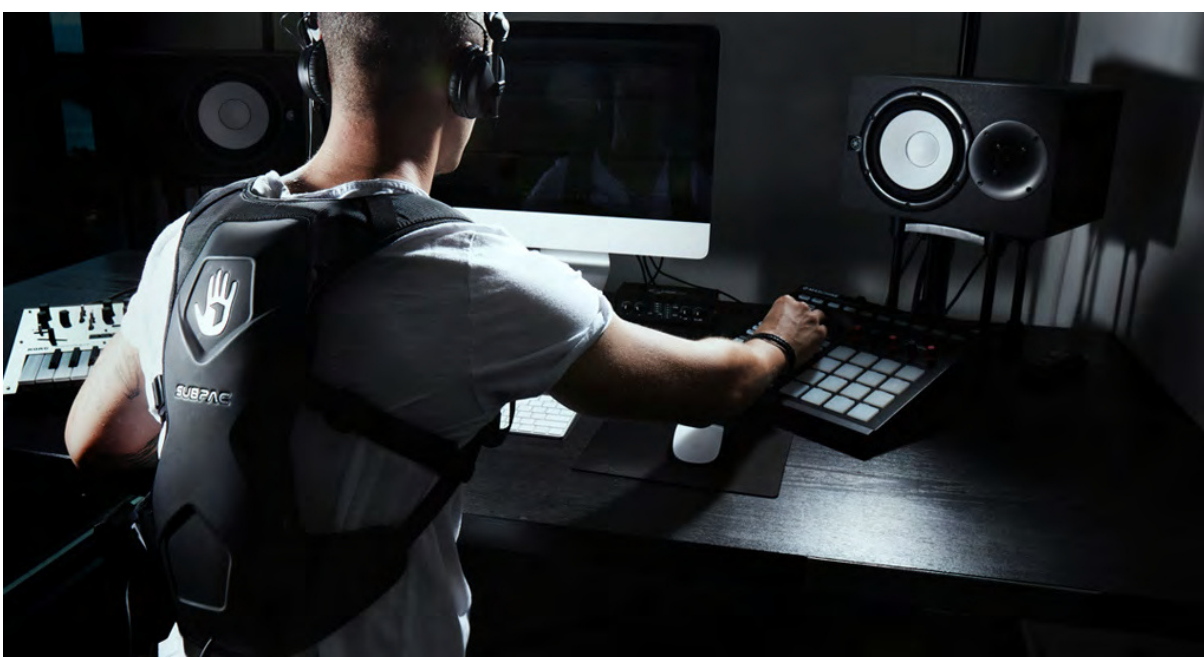
Fonte: Jesse Woolston.

O *SUBPAC*, por sua vez, foi inicialmente pensado para DJs e designers de som terem uma melhor percepção dos estímulos sensoriais provocados pelas suas composições, sobretudo aqueles gerados pela vibração. Para os DJs, em especial, esses estímulos são muito valiosos para suas apresentações ao vivo, pois causam uma imersão ainda maior do público com o espetáculo. Por esse motivo, o dispositivo foca na representação dos graves, isto é, as ondas sonoras de baixa frequência. O *SUBPAC* é constituído apenas por um colete, como

ilustrado na Figura 10, confeccionado com materiais que conduzem vibração mais intensamente, com maior resolução e alcance. Dessa forma, os estímulos se concentram mais pela região do torso do corpo humano. (SUBPAC, 2021)

Apesar de não ter sido o seu público-alvo inicial, o produto começou a atrair a atenção de pessoas surdas, que exploraram novas possibilidades de uso fora do escopo da criação musical, como um grupo de dançarinos que o utilizam para sentir a música enquanto performam suas coreografias, tornando seus movimentos ainda mais fidedignos.

Figura 10 - Modelo utilizando o *SUBPAC M2X*.



Fonte: SUBPAC.

O *Music: Not Impossible* e o *SUBPAC* se assemelham pela aplicação de tecnologias vestíveis em forma de colete, com o intuito de envolver o usuário por vibrações pelo torso, local do corpo em que é possível senti-las com maior intensidade devido à cavidade peitoral, por onde as ondas sonoras atravessam causando um efeito de ressonância. Contudo, para que esse efeito tenha uma alta energia e possa ser sentido vigorosamente, as ondas detectadas precisam ter baixa frequência, ou seja, apenas os sons graves são incorporados à transmissão. Isso significa que toda a faixa de sons médios e agudos (médias e altas frequências), muito presentes em instrumentos de cordas, de sopro e na voz humana, por exemplo, acabam sendo subutilizados na experiência com esses dispositivos.

Diante disso, enquanto os dispositivos se aproximam da solução deste projeto devido à utilização de dispositivo vestível com *feedback* vibrotátil como forma alternativa à

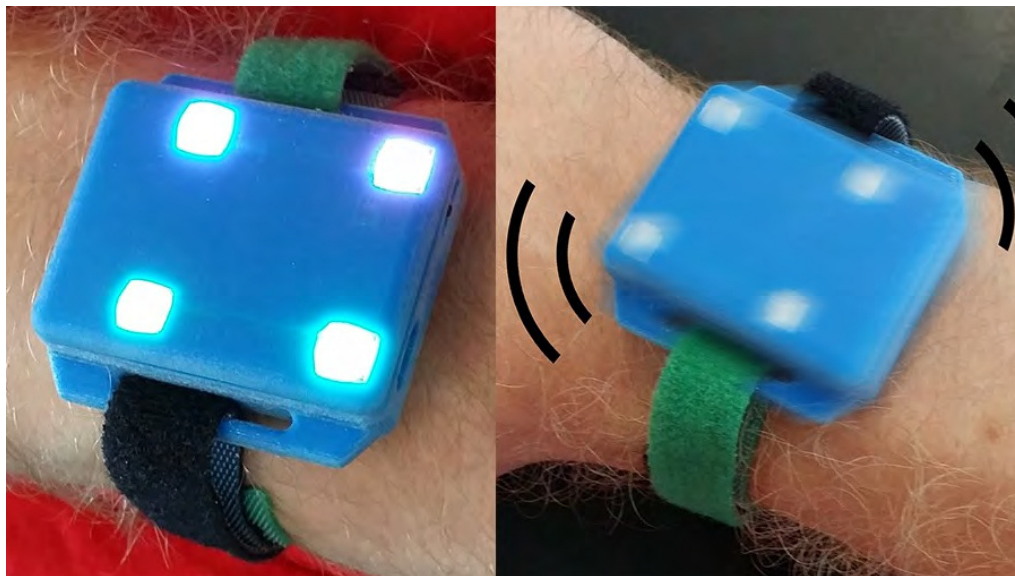
audição para a percepção musical, acabam se distanciando do recurso por alguns motivos, sendo eles: a restrição a sons de baixa frequência, a necessidade de uma instalação física dedicada (no caso do *Music: Not Impossible*) e o uso de materiais e tecnologia avançados.

3.3 Ad-Hoc Access to Musical Sound for Deaf Individuals

Este trabalho relacionado é um artigo que trata do processo de desenvolvimento, bem como desafios enfrentados, do dispositivo *Music Sensory Substitution (MuSS-Bits)*, idealizado pelo *Augmented Human Lab* como tecnologia assistiva para pessoas surdas perceberem a música através de outros sentidos, neste caso, o tato e a visão. Petry *et al.* (2016) enfatizam os principais objetivos do recurso, a saber: fornecer respostas em tempo real; suportar diferentes fontes de áudio e garantir uma vestibilidade que permitisse acesso direto ao som. Além disso, era pretendido dar suporte a diferentes ritmos, a possibilidade de selecionar uma fonte de áudio específica, como um instrumento, e que o dispositivo fosse fácil de operar. Vale destacar que os autores mencionam a dificuldade existente em projetar um mapeamento de sons para realizar a tradução som-vibração e a decisão por fornecer, pelo menos, acesso a informações relacionadas ao ritmo de forma a tornar esse mapeamento mais autêntico.

Assim sendo, o *MuSS-Bits* consiste em uma pulseira e uma contraparte fixável em superfícies, ambas conectadas via tecnologia sem fio. A pulseira (Figura 11), parte vestível do equipamento, é composta por uma carcaça de plástico que abriga pequenos motores de vibração e LEDs responsáveis pelo *feedback* visual. Já a sua contraparte (Figura 12) tem o mesmo formato, também de plástico, porém esta comporta o sistema encarregado pela captação do áudio e deve ser posicionada próxima à origem do mesmo.

Figura 11 - Pulseira do *MuSS-Bits* responsável pelo *feedback* vibrotátil e visual.



Fonte: Augmented Human Lab.

Figura 12 - Contraparte do *MuSS-Bits* responsável pela captação de áudio.



Fonte: Augmented Human Lab.

A ideia do produto, como bem ilustrada nas Figuras acima, é buscar a compreensão sensorial de ritmos musicais enquanto eles são reproduzidos, o que facilitaria, por exemplo, a aprendizagem de pessoas surdas sobre a teoria e prática musical. Ao acoplar a pulseira em seu braço, o usuário consegue manter a mobilidade dos dedos e das mãos para manipular o instrumento musical, se for o caso, e ao mesmo tempo receber o *feedback* vibracional e visual da sua interação.

Como a mobilidade dos membros superiores é fundamental para a atividade mencionada, o posicionamento do dispositivo no pulso é, de fato, uma boa escolha ergonômica. No entanto, a diferenciação das frequências e suas respectivas vibrações pode não ser acurada, já que as emissões das mesmas se concentram em locais muito próximos uns dos outros em uma única parte do corpo. Na pesquisa realizada com testadores do produto, alguns deles enfatizaram que, apesar de conseguirem ter uma boa noção do ritmo da melodia (relacionado à duração do som e silêncio), não era possível diferenciar outros aspectos musicais como altura e intensidade.

Portanto, o *MuSS-Bits* apresenta semelhanças ao recurso deste trabalho no que tange ao aspecto da vestibilidade - mesmo que de outra maneira - e de tecnologia assistiva, também fazendo uso da vibração e de mecanismos visuais como instrumentos de acessibilidade. Por outro lado, o fato de ser uma peça única que fica em contato com o pulso do usuário, em vez de distribuir as vibrações por regiões distintas, como também a ausência de fios e a interpretação apenas de ritmos, sem considerar outras características musicais, são fatores que divergem do que é realizado neste trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Contextualização

Na perspectiva apresentada de que as Tecnologias Assistivas são uma poderosa ferramenta para facilitar a inclusão social, unindo-se à noção da identidade surda, originou-se a proposta de aprimorar a experiência musical vivenciada pelas pessoas surdas tendo como motivação essas duas premissas.

Com o auxílio de conhecimentos adquiridos no projeto da Secult-Arte/UFC aqui já mencionado, essa proposta foi concebida a partir da combinação dos dois principais aspectos presentes na vivência da música por surdos: o visual e o tátil, mais especificamente o vibracional. Dessa forma, seria possível unir de maneira harmoniosa esses dois estímulos muito eficientes, a fim de potencializar tal experiência. Serão apresentadas algumas amostras dos métodos de *feedback* visual produzidos no projeto com o propósito de exemplificar a convergência entre os dois mecanismos, porém o desenvolvimento técnico desses métodos está fora do escopo deste trabalho.

Além disso, devido à pandemia da COVID-19⁴, contexto temporal no qual este trabalho foi desenvolvido, optou-se pela elaboração de um projeto que dependesse minimamente de atividades presenciais ou que necessitassem de compartilhamento de objetos, com o intuito de prezar pela saúde de todos os envolvidos. Seguindo esse princípio e, ainda, aproveitando o ensejo da crescente utilização de meios de comunicação conectados virtualmente, o projeto tomou a mesma direção, sendo, portanto, totalmente aplicado ao cenário virtual.

Vale destacar que, também por conta das limitações impostas pela pandemia, a aplicação dos testes planejados precisou ser retirada das metas do trabalho, restringindo-se à etapa de planejamento e elaboração de hipóteses e, claro, objetivando-se uma futura aplicação de testes quando for seguro e possível para todos os participantes.

Portanto, esta pesquisa tem foco em identificar outras soluções existentes que objetivam a melhora da experiência musical de pessoas surdas e, a partir disso, realizar o refinamento de uma solução de tecnologia assistiva previamente desenvolvida. Propõe-se,

⁴ ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. *Coronavirus disease (COVID-19) pandemic*. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>. Acessado em 19 ago. 2021.

também, que futuramente seja analisado se este artefato consegue possibilitar uma experiência satisfatória para os usuários dentro do contexto evidenciado.

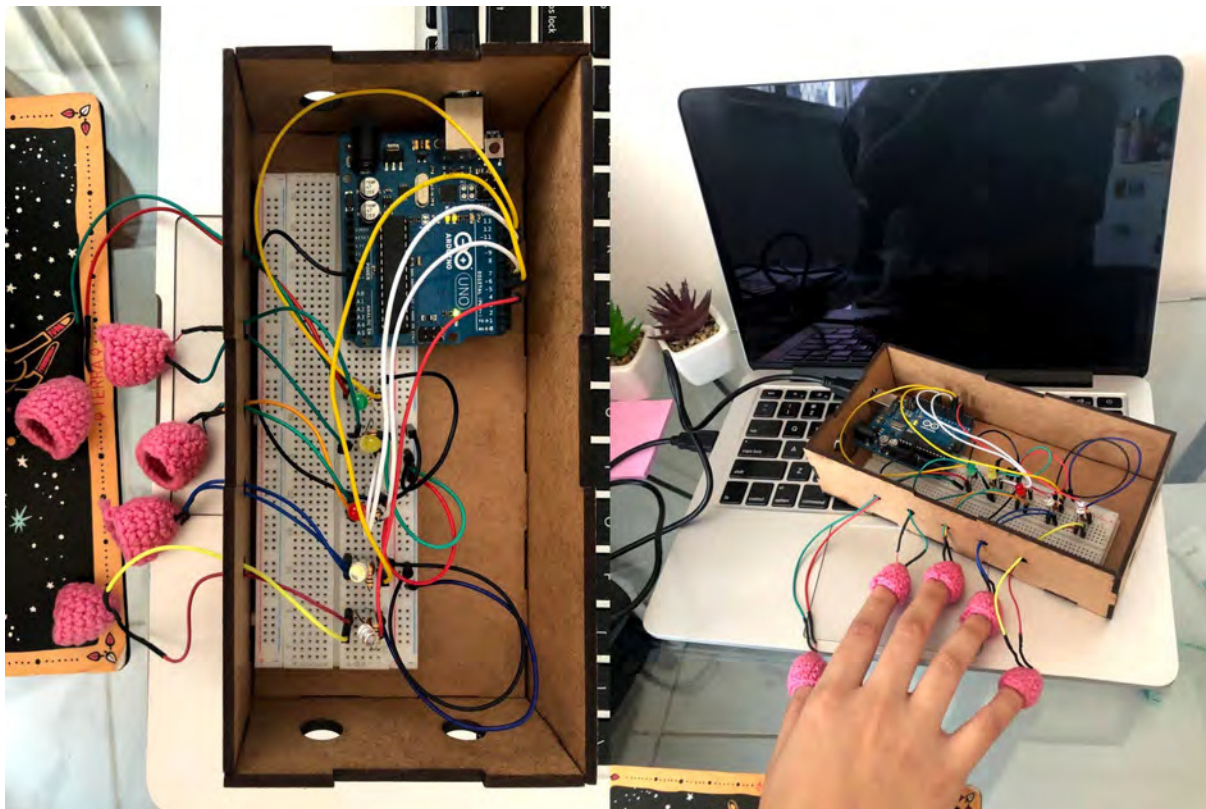
4.1.1 A solução pré-refinamento

O recurso desenvolvido pela autora dentro do projeto de música acessível do programa da Secult-Arte/UFC era composto por um dispositivo vibrotátil que gerava vibrações a partir de leituras da batida ou ritmo da música, feitas por intermédio de um Arduino, um tipo de microcontrolador que, por sua vez, conectava-se a um computador por meio de um cabo USB. No computador, um código escrito em *Processing* realizava a interpretação da música por meio de uma biblioteca dedicada à manipulação e análise de áudio. Esse código era executado no computador e enviado ao Arduino através de um protocolo que possibilita a comunicação serial entre o Arduino e o programa processado. A Figura 15 descreve esse processo esquematizado.

A experiência proposta era integrada pela utilização do protótipo vibrotátil enquanto se assistia às representações visuais reproduzidas na tela do computador, tudo de acordo com a música que estaria tocando no momento.

O dispositivo, como mostrado na Figura 13, era constituído por cinco motores de vibração do tipo *vibracall* (Figura 14), sendo que cada motor - que correspondia a um dedo da mão específico - ficava dentro de um pequeno “dedal” de tecido, costurado à mão. Para sentir as vibrações emitidas pelos motores, o usuário inseria a ponta dos seus dedos nos seus respectivos dedais, deixando a mão parada sobre uma superfície. Cada motor conectava-se ao Arduino por meio de fios, enquanto o microcontrolador era abrigado por uma caixa de MDF feita sob medida, junto ao restante do circuito montado em um *proto-board*.

Figura 13 - Protótipo da solução pré-refinamento.



Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 14 - Motor do tipo *vibracall*.



Fonte: Cytron.

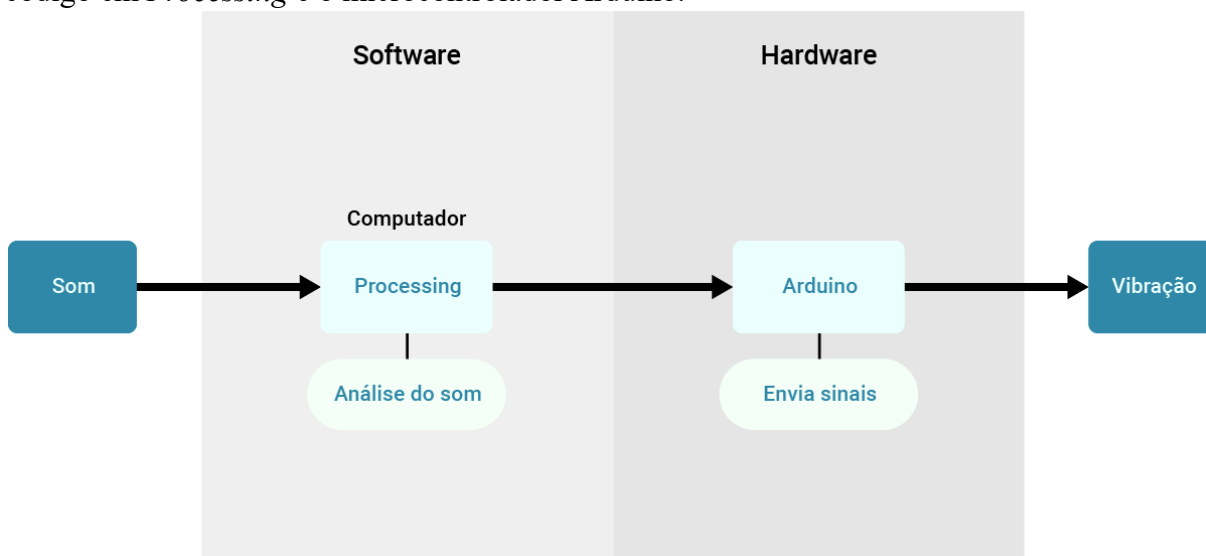
Nesta versão, o código de interpretação da música realizava detecções de batidas - por meio de uma biblioteca dedicada em *Processing* - e a separação dos canais de áudio em tempo real, e convertia essas informações em pulsos elétricos enviados separadamente a cada motor, estabelecendo a seguinte configuração da Tabela 1:

Tabela 1 - Relação entre a fonte de informação geradora do pulso elétrico e os dedos da mão.

| | Dedo mínimo | Anelar | Dedo médio | Indicador | Polegar |
|----------------------------|--|--|--|--|---|
| Fonte de informação | Batidas detectadas no canal de áudio direito | Batidas detectadas na mistura de ambos os canais | Batidas detectadas na mistura de ambos os canais | Batidas detectadas na mistura de ambos os canais | Batidas detectadas no canal de áudio esquerdo |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 15 - Fluxo de funcionamento do protótipo utilizando a troca de informações entre código em *Processing* e o microcontrolador Arduino.



Fonte: elaborada pela autora (2021).

Alguns testes informais foram conduzidos com pessoas ouvintes para avaliar o funcionamento do protótipo e o modelo dos dedais. À vista disso, o protótipo apresentava duas principais problemáticas, sendo uma de aspecto técnico e outra relativa à experiência do usuário:

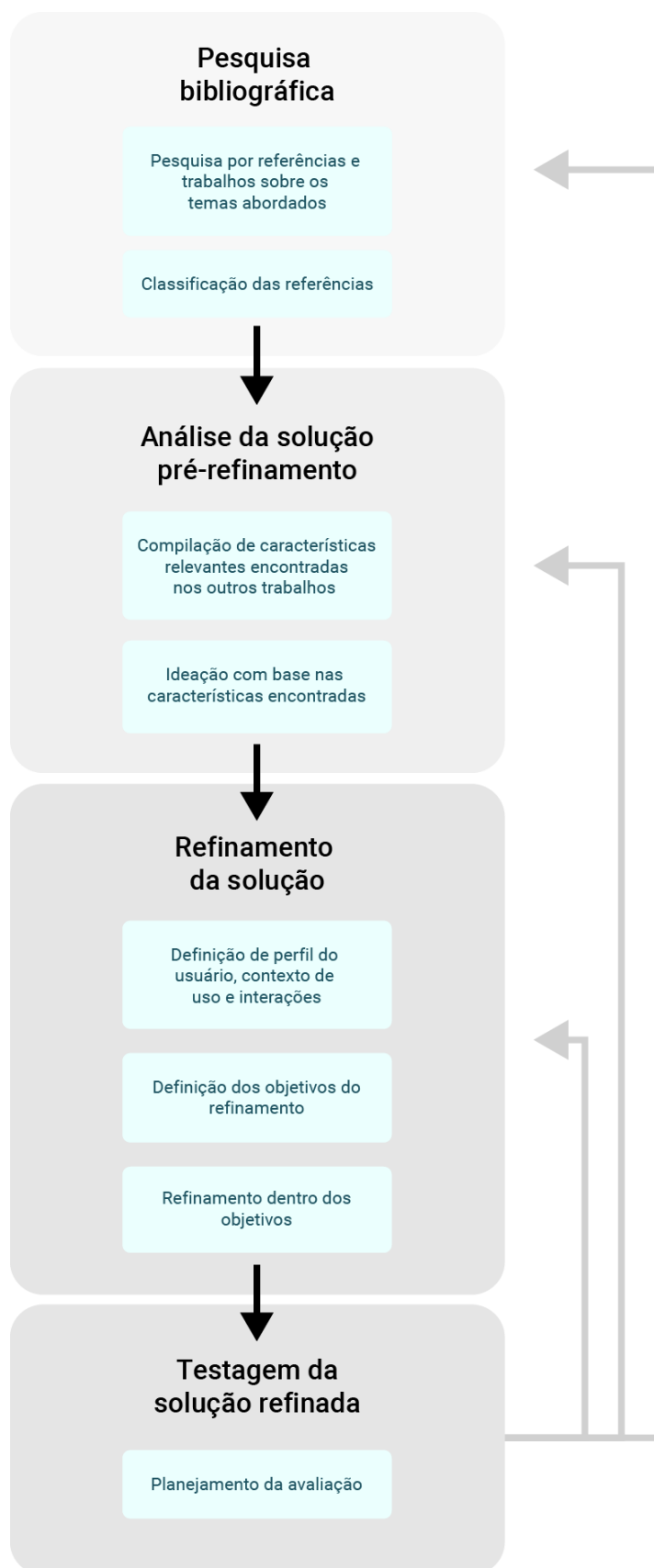
- a) Problemática 1: O código implementado somente era capaz de detectar as batidas e, com isso, transmitir vibrações análogas ao ritmo e à amplitude (energia) da música. Em virtude disso, como essa análise depende da intensidade, que é muito mais perceptível em altos níveis (amplitudes mais altas), nem todos os tipos de música mostraram-se adequados à essa abordagem. As que se destacaram foram aquelas com batidas e ritmos marcantes e com vozes mais fortes, além das que fazem uso de sons subgraves e graves de alta intensidade (graves que podem ser ouvidos, muito comuns em músicas do gênero eletrônico, por exemplo).
- b) Problemática 2: Por ser apenas um protótipo inicial, o foco do dispositivo era testar a condição da percepção musical através da vibração. Por isso, algumas questões de design do produto foram abstraídas. Os fios utilizados para conectar os motores ao Arduino eram curtos, obrigando o usuário a estar sempre próximo à caixa do equipamento, além do mesmo ser um tanto frágil. Esses fatores obrigavam o usuário a permanecer em uma postura quase fixa, por exemplo, mantendo a mão imóvel sobre uma superfície enquanto sentado. Além disso, os dedais, que foram costurados tomando certa medida de dedos,

por muitas vezes se mostraram apertados ou frouxos dependendo do usuário que os utilizava, tornando a experiência desconfortável.

4.2 Metodologia

A metodologia aplicada neste projeto é baseada nas ideias centrais do *Design Thinking* (Figura 6) e leva em consideração as cinco etapas do seu processo: formular perguntas, buscar inspiração, gerar ideias, torná-las tangíveis e testá-las para aprender. Somado a isso, considera-se também o diagrama das três condições-chave: desejabilidade, factibilidade e viabilidade (Figura 5).

Como sustentado no referencial teórico deste trabalho, a abordagem do *Design Thinking* é flexível e pode ser adaptada ao contexto e necessidades do projeto que a utiliza. Desse modo, a metodologia praticada aqui adequou-se às circunstâncias do desenvolvimento do produto, que entrelaça atributos físicos e virtuais, fazendo, portanto, uso das seguintes etapas ilustradas na Figura 16, as quais serão esclarecidas nas próximas subseções.

Figura 16 - Adaptação do processo do *Design Thinking* para o contexto do projeto.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Quanto às condições-chave para concepção de um produto, faz-se necessário uma revisão das suas perguntas norteadoras:

- a) Desejabilidade: Faz sentido para as pessoas (usuários) e pelas pessoas (usuários)?
- b) Factibilidade: É tecnicamente possível dentro de um futuro breve?
- c) Viabilidade: É provável de se tornar parte de um modelo de negócio sustentável?

Nota-se que a pergunta do item c, relativa à condição da viabilidade, não condiz com o contexto deste projeto, o qual não se encaixa como um produto comercial, mas sim como um produto resultante de um trabalho acadêmico. Não obstante, a viabilidade econômica deve ser considerada, visto que recursos financeiros são necessários para a compra dos materiais utilizados na fabricação do dispositivo. Por esse motivo, modificou-se a pergunta sobre viabilidade de modo que representasse a realidade do projeto, resultando em:

- a) Desejabilidade: Faz sentido para as pessoas (usuários) e pelas pessoas (usuários)?
- b) Factibilidade: É tecnicamente possível dentro de um futuro breve?
- c) Viabilidade: É possível dentro dos recursos financeiros disponíveis?

Essas três perguntas serviram como norteadoras para a filtragem das ideias obtidas durante todo o estágio de ideação do produto, que será explicado mais adiante.

4.2.1 Pesquisa bibliográfica

Seguindo a orientação da primeira etapa do *Design Thinking*, que é a de buscar empatizar-se com os problemas e anseios do usuário - nesse caso, as pessoas com algum grau de deficiência auditiva -, a leitura dos livros e das pesquisas sobre cultura surda e acessibilidade fez-se essencial para a compreensão da presença da identidade surda, de como seus membros se percebem e como vivenciam um mundo que é projetado para ouvintes. Ademais, a noção de que tecnologias assistivas podem ser inclusivas, e não apenas integrativas, é de extrema relevância para o sentido deste trabalho, que procura adaptar-se às individualidades do sujeito surdo, ao invés de tentar adaptá-lo a uma realidade que não lhe pertence.

Algumas perguntas como: “De que formas um indivíduo surdo consegue experienciar as músicas?” e “Existem soluções que tentam transmitir música para pessoas

surdas de forma inclusiva?” direcionaram inicialmente a busca por referenciais teóricos sobre a conexão entre essa arte e as pessoas com deficiência auditiva.

Para registrar e auxiliar o mapeamento de fontes relevantes para o referencial teórico e todo o estudo, foi criada uma planilha contendo todos os textos identificados como potencialmente úteis para o trabalho ao longo do seu período de pesquisa e desenvolvimento. As pesquisas foram feitas em portais e repositórios de textos científicos, como o *Google Acadêmico*, *Scielo*, *ResearchGate*, *Portal de Periódicos CAPES*, *ELSEVIER* e *ACM Digital Library*, com base em combinações de palavras-chave pertinentes aos assuntos de interesse, como “acessibilidade”, “surdos”, “inclusão social”, “música”, “física”, “vibração”, “visualização”, “cultura”, “tecnologia assistiva”, entre outras. As buscas também foram realizadas em inglês, o que resultou em uma maior quantidade de resultados relevantes.

Os textos cadastrados na planilha foram divididos em duas seções: livros e artigos ou trabalhos científicos. Dentro dessas duas grandes categorias, foram organizados por assunto, sendo eles: Acessibilidade, Métodos de Avaliação, Cultura surda, Metodologia de Pesquisa, Tátil, Visual, Música, Ambientes virtuais, Música+Surdos e Tátil+Visual. Os termos são auto-explicativos, com exceção do termo “Tátil”, que foi escolhido para categorizar aqueles textos que tratavam de experiências com *feedback* tátil, não necessariamente relacionadas à música, e o termo “Visual”, que contemplou as leituras relacionadas às experiências com *feedback* visual. Logo, o termo “Tátil+Visual” foi utilizado para designar os textos que combinavam os dois tipos de experimentações.

Ainda, à medida que eram cadastrados, lidos e filtrados, os itens da planilha eram rotulados pelos *status*:

- a) Não lido;
- b) Lendo;
- c) Lido - Aplicável;
- d) Lido - Não aplicável.

Para a classificação de um texto como “Lido - Aplicável” e a sua possível inclusão nas referências do trabalho, levou-se em conta os seguintes critérios:

- a) Fator de impacto da revista (verificado no ranking do *Google Acadêmico*);
- b) Avaliação Qualis-CAPES, caso disponível;
- c) Número de citações;
- d) Impacto do projeto e relevância para o referencial teórico, no caso de artigos não científicos (publicados em páginas da internet).

Além disso, realizou-se o fichamento daqueles textos que continham um conteúdo aproveitável mais denso, como os artigos dos trabalhos relacionados e os capítulos dos livros sobre acessibilidade, cultura surda e música. Ao todo, 60 textos foram incluídos na planilha - disponível no Apêndice A deste trabalho - e avaliados, distribuídos de acordo com a Tabela 2:

Tabela 2 - Distribuição dos textos analisados na planilha de revisão bibliográfica.

| Assunto | Quantidade | Aplicáveis |
|----------------------|-------------------|-------------------|
| Acessibilidade | 9 | 8 |
| Cultura surda | 3 | 2 |
| Métodos de Avaliação | 2 | 1 |
| Ambientes virtuais | 5 | 5 |
| Tátil | 9 | 9 |
| Visual | 2 | 2 |
| Música | 9 | 9 |
| Música+Surdos | 16 | 16 |
| Tátil+Visual | 4 | 4 |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Por conseguinte, os achados mostraram que seria indispensável ter uma fundamentação sobre música para pessoas surdas em geral, assim como sobre a teoria musical básica e as propriedades físicas da música. O entendimento desses tópicos foram essenciais para que fosse construída uma solução que se propusesse condizente à realidade dos seus usuários e, ao mesmo tempo, que não destoasse dos conceitos musicais e de como a música impacta na cognição humana.

A “busca por inspiração” está ligada especialmente ao estudo de trabalhos relacionados, o qual também se mostrou muito importante na composição da pesquisa bibliográfica, tendo alguns pontos, inclusive, inspirado a construção de partes do produto, e os conhecimentos teóricos obtidos mostraram-se imprescindíveis para que houvesse um bom entendimento dessas obras.

Sendo assim, os trabalhos relacionados citados anteriormente, a saber, *Felt sound, Music: Not Impossible, SUBPAC* e *MuSS-Bits* são aqueles que foram considerados como outras soluções relevantes que se assemelham com a proposta e princípios deste projeto.

4.2.2 Análise da solução pré-refinamento

Esta etapa, na verdade, abrange não só a geração de ideias, mas também dá continuidade à tarefa da busca por inspiração, realizando uma avaliação mais aprofundada dos aspectos notáveis de cada trabalho que foi considerado. Assim, à luz do que foi coletado na pesquisa bibliográfica, fez-se uma análise da solução ainda sem os refinamentos, os quais foram concretizados a partir das conclusões desta fase.

4.2.2.1 Compilação de características relevantes encontradas nos outros trabalhos

Primeiramente foi elaborada uma relação de itens (Tabela 3) contendo todos os elementos relevantes que foram observados nos trabalhos relacionados no que diz respeito a proporcionar experiências musicais, seja para pessoas surdas ou ouvintes. Em outras palavras, pode-se dizer que foi realizada uma espécie de *benchmarking*⁵ dos trabalhos. Essa relação, portanto, representa um compilado de características que, se combinadas aquelas aproveitáveis, seriam capazes de tornar uma ferramenta ideal para esse fim.

Tabela 3 - Relação de elementos relevantes encontrados nos trabalhos relacionados.

| Trabalho/Projeto | Elementos aproveitáveis | Elementos não aproveitáveis |
|--|---|---|
| <i>Felt sound</i> (CAVDIR & WANG, 2020) | <ul style="list-style-type: none"> - Peça vestível composta por “dedais” - Peças feitas com impressão 3D (customizável e baixo custo) - <i>Feedback</i> tátil | <ul style="list-style-type: none"> - Muitos fios - Depende de gestos e sinais pré-definidos da ASL - Lida apenas com sons de baixa frequência |
| <i>Music: Not Impossible</i> (NOT IMPOSSIBLE LABS, 2018) | <ul style="list-style-type: none"> - Kit vestível composto por colete, pulseiras e tornozeleiras (maior abrangência de partes do corpo) - Ausência de fios - Favorece a mobilidade - Latência imperceptível - Intensidade das vibrações ajustável - <i>Feedback</i> tátil | <ul style="list-style-type: none"> - Só pode ser utilizado em locais onde a estrutura de suporte foi instalada - É focado apenas em performances musicais ao vivo presenciais - É focado em transmitir os graves e as batidas (sons de baixa frequência) |
| <i>Subpac</i> (SUBPAC, 2021) | <ul style="list-style-type: none"> - Peça vestível em forma de | <ul style="list-style-type: none"> - Suporta apenas frequências |

⁵ Albertin *et al.* (2015) definem o *benchmarking genérico* como uma técnica que busca identificar as práticas de excelência, comparando processos ou funções específicas independentes do setor de atuação.

| | | |
|---------------------------------------|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> colete - Poucos fios - Portabilidade - Utiliza materiais de alta tecnologia como condutores de vibração - Faz uso de condução óssea para transmitir o som - Latência imperceptível - <i>Feedback</i> tátil | <p>muito baixas, de 1 Hz a 200 Hz</p> |
| <i>MuSS-Bits</i> (PETRY et al., 2016) | <ul style="list-style-type: none"> - Peça vestível em forma de pulseira - Portabilidade - Ausência de fios - Favorece a mobilidade - <i>Feedback</i> visual - <i>Feedback</i> tátil | <ul style="list-style-type: none"> - Interpreta apenas o ritmo da música reproduzida - Não explora partes diferentes do corpo, tornando o <i>feedback</i> tátil mais homogêneo |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

As características dos recursos foram classificadas como aproveitáveis e não aproveitáveis para o escopo do projeto, do ponto de vista do que seria desejável para implementar a solução da melhor forma possível. Assim, os elementos aproveitáveis são todos aqueles identificados como vantajosos em termos de custo, praticidade, estética, tecnologia e acessibilidade. A Tabela 4 mostra as motivações para as classificações dessas características como aproveitáveis, e a Tabela 5 faz o mesmo para aquelas consideradas não aproveitáveis.

Tabela 4 - Motivações para a classificação dos elementos aproveitáveis.

| Elementos aproveitáveis | Motivações |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - <i>Feedback</i> tátil - <i>Feedback</i> visual | São essenciais para o objetivo deste trabalho, pois possibilitam a experiência musical através de outros sentidos do corpo humano. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Peça vestível em forma de colete - Kit vestível composto por colete, pulseiras e tornozeleiras (maior abrangência de partes do corpo) - Peça vestível em forma de pulseira - Peça vestível composta por “dedais” | A vestibilidade é um fator presente em todos os trabalhos relacionados, os quais ressaltam vantagens como a sensação de “proximidade” com o som e imersão, devido ao contato direto com o corpo. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Poucos fios; - Ausência de fios | A ausência ou baixa quantidade de fios é importante para garantir uma boa mobilidade do usuário e portabilidade do dispositivo. |

| | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Favorece a mobilidade - Portabilidade | A mobilidade e portabilidade são desejáveis para o trabalho, uma vez que o produto é direcionado para uso conectado a um computador. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Peças feitas com impressão 3D | A impressão 3D permite a fabricação de modelos adequados especificamente às necessidades do produto, além de oferecer um bom custo-benefício. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Latência imperceptível | Baixas latências indicam uma experiência mais próxima do instantâneo e, portanto, maior sincronia entre áudio e estímulos processados. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Utiliza materiais de alta tecnologia como condutores de vibração | Condutores de vibração mais avançados tecnologicamente permitem melhor funcionamento da resposta tátil. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Faz uso de condução óssea para transmitir o som | A condução óssea ⁶ é muito utilizada em próteses auditivas e pode ser uma ferramenta auxiliar na experiência. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Intensidade das vibrações ajustável | A possibilidade de ajustes é importante para que cada usuário consiga utilizar o recurso da forma que considera melhor. |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Tabela 5 - Motivações para a classificação dos elementos não aproveitáveis.

| Elementos não aproveitáveis | Motivações |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Muitos fios | Uma grande quantidade de fios pode interferir negativamente na garantia de mobilidade do usuário e portabilidade do dispositivo. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Depende de gestos e sinais pré-definidos da ASL | A utilização de gestos e sinais não está no escopo deste trabalho. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Só pode ser utilizado em locais onde a estrutura de suporte foi instalada - É focado apenas em performances musicais ao vivo presenciais | A utilização em locais que necessitam de uma instalação dedicada e o foco em experiências presenciais não estão no escopo deste trabalho. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Suporta apenas frequências muito baixas, de 1 Hz a 200 Hz | A solução proposta neste projeto busca uma maior abrangência das características do |

⁶ Um sistema de implante de condução óssea pode contornar partes danificadas ou bloqueadas do ouvido e emitir vibrações sonoras diretamente ao ouvido interno. Essas vibrações se transformam em sons que nosso cérebro consegue compreender. (COCHLEAR, 2021)

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - É focado em transmitir os graves e as batidas (sons de baixa frequência) - Lida apenas com sons de baixa frequência - Interpreta apenas o ritmo da música reproduzida | som, como, além dos graves, os sons de média e alta frequência. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Não explora partes diferentes do corpo | Essa característica acaba tornando o <i>feedback</i> tátil mais homogêneo, o que não é o objetivo do produto deste trabalho. |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Como, obviamente, o recurso desenvolvido neste trabalho não poderia incorporar todos os itens aproveitáveis relacionados, foi realizada uma triagem dos mesmos considerando as três condições propostas pelo *Design Thinking*: desejabilidade, factibilidade e viabilidade. Dentro dessas condições, foram observados critérios como complexidade, disponibilidade da tecnologia e de materiais, custos, tempo de produção, relevância, contexto de uso, entre outros.

Tabela 6 - Significado dos níveis das premissas desejabilidade, factibilidade e viabilidade.

| | Desejabilidade | Factibilidade | Viabilidade |
|--------------|--|---|--|
| Baixa | Faz pouco ou nenhum sentido para as pessoas e pelas pessoas. | Não é tecnicamente possível dentro de um futuro breve. | Não é possível dentro dos recursos financeiros disponíveis. |
| Média | Faz bastante sentido para as pessoas e pelas pessoas. | Pode ser tecnicamente possível dentro de um futuro breve, mas com riscos. | Pode ser possível dentro dos recursos financeiros disponíveis, mas com riscos. |
| Alta | Faz muito sentido para as pessoas e pelas pessoas. | É muito ou totalmente tecnicamente possível dentro de um futuro breve. | É possível dentro dos recursos financeiros disponíveis. |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

A partir disso, foram atribuídos três níveis (baixo, médio e alto) para cada uma das três premissas, de modo que todos os atributos fossem avaliados dentro de um padrão, de acordo com as definições da Tabela 6, e gerando os dados explicitados na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação dos atributos aproveitáveis encontrados nos trabalhos por nível das três condições.

| Atributo | Desejabilidade | Factibilidade | Viabilidade |
|---|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Vestibilidade - Kit vestível composto por colete, pulseiras e tornozeleiras | Alta | Baixa | Baixa |
| Vestibilidade - Peça vestível em forma de colete | Alta | Baixa | Baixa |
| Vestibilidade - Peça vestível composta por “dedais” | Média | Alta | Alta |
| Vestibilidade - Peça vestível em forma de pulseira | Baixa | Média | Alta |
| Peças feitas com impressão 3D | Média | Alta | Alta |
| Ausência de fios | Alta | Média | Média |
| Favorecimento da mobilidade | Alta | Média | Média |
| Latência imperceptível | Alta | Média | Média |
| Portabilidade | Alta | Baixa | Média |
| Uso de condução óssea para transmitir o som | Alta | Baixa | Baixa |
| Materiais de alta tecnologia como condutores de vibração | Alta | Baixa | Baixa |
| Feedbacks visuais | Alta | Alta | Alta |
| Feedback tátil | Alta | Alta | Alta |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Executou-se, então, a seleção dos itens, a princípio excluindo todos aqueles que possuíam o nível baixo em qualquer uma das condições. Devido à necessidade de segurança quanto a custos e tempo de desenvolvimento, também foram desconsiderados os atributos que possuíam o nível médio em factibilidade e viabilidade, dado que essa categoria infere a possibilidade de riscos. Por fim, quatro itens passaram pela triagem com sucesso, sendo eles:

- a) Vestibilidade - Peça vestível composta por “dedais”;
- b) Peças feitas com impressão 3D;

c) *Feedback* visual;

d) *Feedback* tátil.

4.2.2.2 Fase de ideação

Após as atividades das seções anteriores, deu-se início ao estágio de ideação de possíveis soluções, as quais poderiam ou não fazer uso dos itens selecionados na triagem, excetuando-se a propriedade de *feedback* tátil, que deveria ser obrigatório, uma vez que é inerente ao objetivo da ferramenta. Posteriormente, essas soluções foram avaliadas seguindo os mesmos critérios da triagem dos elementos aproveitáveis dos trabalhos relacionados.

Como o uso do *feedback* tátil era exigido, e os *feedbacks* visuais também já complementavam o recurso paralelamente, as ideias se desenvolveram em torno dos aspectos ergonômicos e de experiência do usuário, considerando, portanto, materiais, formas, texturas, e variações de comportamento do dispositivo.

4.2.2.2.1 Ideia 1 - Luvas

O equipamento seria constituído por uma luva de tecido (de preferência de baixa condutibilidade elétrica) que abrigaria pequenos motores de vibração nas extremidades dos espaços dos dedos. Os fios conectados aos motores ficariam fixados na parte de dentro da luva, permitindo uma estética mais agradável e uma maior proteção dos mesmos, e garantindo maior mobilidade da mão e dos dedos. Quanto à interpretação da música pelo *software*, seria implementada a análise do espectro de frequência do áudio, de forma que a abrangência dos graves, médios e agudos seria maior e, portanto, traria uma gama mais extensa de variações nas vibrações emitidas.

Considerando os estudos de soluções já existentes e, junto a isso, os aspectos de conhecimento empírico e teórico da autora, houve uma reflexão da mesma sobre o que poderia ser ou não aplicável, pensando na experiência das pessoas com deficiência, bem como na factibilidade e viabilidade dos recursos. Com base nisso, foi elaborada a lista de vantagens e desvantagens a seguir:

a) Vantagens:

- Boa mobilidade dos membros compreendidos;
- Esteticamente mais agradável;
- Fragilidade um pouco menor em comparação aos dedais de tecido;

- Maior adaptação ao tamanho da mão e dos dedos do usuário, considerando uma pessoa adulta;
- Maior possibilidade de variações de comportamento, devido à separação por dedos.

b) Desvantagens:

- Pode ser anti-higiênico se for compartilhado;
- Desgasta-se com o tempo e com a frequência de uso.
- Não pode ser qualquer tecido, tendo em vista que materiais sintéticos são capazes de gerar eletricidade estática e acabar interferindo no equipamento, ou até mesmo causar danos ao usuário, como choques elétricos.

Apesar de trazer bons pontos positivos relevantes à desejabilidade, como a mobilidade e a agradabilidade estética, as desvantagens tiveram maior impacto na avaliação, uma vez que envolviam riscos de segurança para o usuário. Portanto, esta opção acabou sendo descartada.

4.2.2.2.2 Ideias 2 e 3 - Totem e barra

A primeira ideia consistiu na idealização de um objeto em formato de totem, basicamente formado por uma coluna fixada no chão, cuja superfície ficaria à altura do antebraço de uma pessoa de estatura média e possibilitaria a transmissão de vibrações. Nesse sentido, o usuário, para ter a experiência vibrotátil, posicionaria suas mãos sobre localizações demarcadas na superfície e sentiria as vibrações percorrerem os membros. Abaixo dessa superfície haveria um sistema composto por alto-falantes ou um circuito de motores, que propagariam a vibração com base nas variações de amplitude do som.

Já a barra funcionaria pelos mesmos princípios do totem, sendo que o usuário teria que “segurá-la” para poder receber os estímulos táteis. No entanto, seria difícil integrar alto-falantes à barra, então apenas a solução com circuito de motores seria possível para esse objeto. Ambas as ideias se fazem pertinentes para ambientes de instalações multimídia ou de concertos ao vivo, mas não são viáveis para se ter em casa, por exemplo.

Para o funcionamento desses protótipos, seria necessário um estudo de materiais que são bons condutores de vibração (som) e, ao mesmo tempo, capazes de serem modelados no formato desejado do tótem (um paralelepípedo simples) e fabricados dentro de limitações de custo e tempo. A partir dessas considerações de funcionamento de protótipo, analisou-se o que poderia ser vantajoso e não vantajoso, através de pesquisas sobre materiais condutores e a complexidade de fabricação da estrutura por meio de comparações simples. Foi identificado,

por exemplo, que a elasticidade e a densidade⁷ do material interferem diretamente na sua capacidade de condução de vibrações. Assim, os pontos levantados foram:

a) Vantagens:

- Esteticamente agradáveis, comportando todo o equipamento dentro do objeto;
- Fragilidade menor do que a observada nas outras ideias;
- Podem ser aplicados em contextos coletivos como instalações e espetáculos.

b) Desvantagens:

- Podem não ser confortáveis para o usuário, que precisa ficar com as mãos apoiadas sobre a superfície durante todo o tempo.
- Possível complexidade na fabricação dos objetos;
- Não oferecem portabilidade;
- Não oferecem mobilidade;
- Lidam apenas com a energia e ritmo.

As desvantagens mostraram que há um considerável grau de complexidade quanto à fabricação dos protótipos, além de que eles não poderiam ser testados nem usufruídos em ambientes particulares, já que precisariam ser instalados nos locais de utilização. Esses pontos não corroboraram com as premissas da factibilidade e viabilidade, além de que o contexto de uso limitado interferiu na desejabilidade do produto. Consequentemente, essas ideias foram desconsideradas.

4.2.2.2.3 Ideia 4 - Dedais de plástico adaptados

A quarta e última ideia que foi avaliada possuía semelhanças com o protótipo das luvas, pois as pontas dos dedos também seriam regiões do corpo exploradas. Pensando na preservação da mobilidade, da abrangência de possibilidades a serem consideradas e na mitigação dos riscos de segurança, idealizou-se um modelo personalizado de dedais de plástico que seriam encaixados nas pontas dos dedos das mãos. Os motores de vibração conectados por fios ao Arduino seriam acoplados às peças de maneira que ficassem fixos na superfície inferior da ponta de cada dedo. Além disso, também seria utilizado um motor na palma da mão, visando oferecer uma maior variedade de vibrações presentes em dado momento da música.

⁷ SCIENCING. *Which materials carry sound waves best?*

Disponível em: <https://sciencing.com/materials-carry-sound-waves-8342053.html>. Acessado em 21 ago. 2021

Vale ressaltar que esta ideia segue todos os itens da triagem realizada anteriormente, e, portanto, revela-se bastante promissora. Dito isso, as peças seriam fabricadas por meio de uma impressora 3D, cuja produção oferece baixo custo e é altamente personalizável.

A princípio, o *software* seria implementado objetivando a interpretação do espectro de frequências do áudio e a separação dessas frequências em faixas expressivas musicalmente, gerando novas representações vibrotáteis da música reproduzida, que nas ideias anteriores, assim como na solução pré-refinamento, não eram aproveitadas.

As características levantadas nesta ideia foram bastante discutidas com participantes do projeto da Secult-Arte/UFC acerca da desejabilidade, viabilidade e factibilidade, tendo em vista os aspectos de acessibilidade e restrições tecnológicas e orçamentárias, além de considerar a possibilidade de reprodução do dispositivo em larga escala para projetos acadêmicos da UFC.

Desse modo, identificou-se as seguintes vantagens e desvantagens referentes a essa ideia:

a) Vantagens:

- Maior possibilidade de produzir variações no comportamento das vibrações;
- As peças podem ser modeladas de maneira a adaptarem-se às exigências do protótipo;
- Compreende os itens identificados com boa desejabilidade, factibilidade e viabilidade;
- As peças são removíveis e laváveis;

b) Desvantagens:

- Possui uma quantidade considerável de fios que ficam expostos sobre as mãos do usuário, o que pode acarretar maior fragilidade e algum grau de desconforto;
- Oferece mobilidade, porém limitada.

A comparação entre as vantagens e desvantagens de todas as ideias mostrou que essa última é a que melhor se encaixa na intersecção entre as três condições (Figura 10) tomadas como referencial de avaliação da fase de geração de ideias. Perante a essas observações, concluiu-se que a Ideia 4 seria levada adiante para a etapa de prototipação.

4.2.3 Refinamento da solução

Neste estágio - foco principal deste trabalho - foram realizadas as alterações necessárias no recurso de acordo com as conclusões obtidas nas etapas anteriores, visando alcançar resultados satisfatórios. Essas alterações estão compreendidas tanto na esfera tecnológica quanto na esfera do design, estando presentes nesta última as questões de experiência do usuário e de ergonomia.

No âmbito da tecnologia, as modificações aconteceram a nível de implementação do código, porém mantendo a linguagem *Processing*, e também a nível de hardware, uma vez que foram necessárias modificações na estrutura física do dispositivo. Quanto aos aspectos de design, buscou-se um aprimoramento da interação do usuário com o dispositivo, levando em conta algumas orientações teóricas da área.

4.2.3.1 Definição de perfil do usuário, contexto de uso e interações

Preece *et al.* (2019) afirmam que “projetar produtos interativos exige que se considere quem os usará, como e onde serão usados. Outra preocupação importante é entender o tipo de atividades que as pessoas realizam ao interagir com esses produtos.” (PREECE *et al.*, 2019, p.7, tradução nossa). A fim de definir os objetivos do refinamento, fez-se uma reflexão sobre a Ideia 4 com base nessas exigências, também envolvendo os participantes do projeto da Secult-Arte/UFC, compreendendo as seguintes perguntas e suas respectivas respostas:63

- a) Quem usará o produto? (Definição de perfil do usuário)
 - O produto será utilizado por pessoas de qualquer idade que possuem algum grau de deficiência auditiva, podendo fazer uso ou não de aparelhos auxiliares ou implantes.
- b) Como e onde o produto será utilizado? (Definição do contexto de uso)
 - As pessoas farão uso do produto para vivenciar experiências musicais virtuais por meio de estímulos táteis e visuais, com o auxílio de um equipamento vestível que deve ser encaixado nas pontas dos dedos e na palma da mão e conectado a um computador. O recurso pode ser utilizado em qualquer lugar que seja viável a manipulação de um computador e do equipamento.
- c) Que tipo de atividades as pessoas realizam ao interagir com o produto?

- As atividades básicas de interação são: conectar o dispositivo ao computador e executar o *software*, permanecer com os dedos e palma da mão encaixados no equipamento e assistir à tela contendo as representações visuais. Considerando que o produto busca oferecer uma experiência de imersão ao usuário de forma específica, pode-se assumir que a pessoa não realiza outras atividades que causam distração paralelamente, estando, portanto, focada nos estímulos produzidos. Contudo, pelo mesmo motivo é possível que o usuário manifeste suas sensações e emoções ao ser estimulado e se expresse com movimentos, gestos e sinais, por exemplo.

Essa reflexão foi bastante útil ao contribuir para as tomadas de decisões acerca do que deveria ser considerado no refinamento e, principalmente, na definição dos seus objetivos, descritos na seção subsequente.

4.2.3.2 *Objetivos do refinamento*

As atividades do refinamento foram definidas com o amparo das premissas do *Design Thinking* e do Design de Interação, como já foi elucidado anteriormente. Logo, considerou-se os vários aspectos dessas premissas como critérios de validação de cada atividade, resultando nos seguintes objetivos:

- a) Objetivo 1 - Adaptar o código existente para uma estrutura que possibilite a leitura do espectro de frequências de um *input* de áudio proveniente do microfone do computador que executa o código;
- b) Objetivo 2 - Adaptar o código para que, a partir dessa leitura de frequências, seja possível a análise e manipulação das informações obtidas, de forma a separá-las e classificá-las de acordo com determinadas especificações;
- c) Objetivo 3 - Adaptar o código para que as informações manipuladas sejam convertidas em envio de sinais pelo Arduino e conseqüentemente aos motores de vibração;
- d) Objetivo 4 - Substituir os detalhes de tecido existentes por peças customizadas e impressas em 3D;

As ações específicas para atender a cada objetivo serão explicadas nas subseções a seguir. Vale destacar, inclusive, que todos os artefatos (programas, peças, modelos etc.) gerados foram produzidos pela autora deste trabalho.

4.2.3.2.1 Objetivo 1: Adaptar o código existente para uma estrutura que possibilite a leitura do espectro de frequências de um *input* de áudio proveniente do microfone do computador que executa o código

Para que fosse possível analisar o espectro de frequências do áudio processado pelo *software*, foi necessário realizar algumas alterações no código da solução. Originalmente, apenas a classe *BeatDetect*, da biblioteca *Minim*, era utilizada, porém essa classe implementa somente a detecção de batidas da música. Já o trabalho da detecção de frequências é feito pela classe *FFT* (sigla referente a *Fast Fourier Transform*).

A *Fast Fourier Transform*, ou Transformada Rápida de Fourier, de acordo com a documentação da *Minim*⁸, é um algoritmo muito eficiente que calcula a Transformada Discreta de Fourier, um método matemático que transforma sinais no domínio do tempo em sinais no domínio da frequência. Não serão aprofundados os conceitos matemáticos desse método, mas é importante saber que o sinal resultante da transformada também é conhecido como espectro de frequência, assunto de maior interesse para este trabalho.

A partir, portanto, da criação de um objeto do tipo *FFT* no código, e realizando a chamada da função *forward()* que aplica o algoritmo dentro do *loop* de execução, obtém-se o espectro de frequência em tempo real para cada instante do áudio, o qual está sendo processado ao mesmo tempo em que as frequências são calculadas.

O reconhecimento do áudio proveniente do microfone do computador é feito pela função *getLineIn()*. Vale ressaltar que, para evitar possíveis interferências causadas pelo som do ambiente, o *input* do microfone é conectado diretamente ao *output* de áudio do sistema por meio do dispositivo “Mixagem estéreo”, já integrado no *hardware* básico do computador e acessível pelo Painel de Controle de Som do *Windows 10*. Contudo, essa configuração também pode ser realizada com aplicações de terceiros.

Até este estágio da implementação, o *software* é capaz de ler as faixas de frequência presentes na música, mas ainda não consegue interpretá-las, o que é trabalho do próximo objetivo.

⁸ MINIM. *minim.analysis.FFT - Compartmental*. Disponível em: <http://code.compartmental.net/minim/javadoc/ddf/minim/analysis/FFT.html>. Acessado em 19 ago. 2021.

4.2.3.2.2 Objetivo 2: Adaptar o código para que, a partir dessa leitura de frequências, seja possível a análise e manipulação das informações obtidas, de forma a separá-las e classificá-las de acordo com determinadas especificações

Este objetivo configura o próximo passo para refinar a análise do sinal sonoro no domínio da frequência. Nesta etapa, foi essencial adquirir o conhecimento apresentado no referencial teórico sobre o espectro audível e os subgrupos de frequências, pois estes serão diretamente manipulados no código, com a finalidade de permitir a separação desses grupos e a identificação dos sons graves, médios e agudos.

Aqui, retoma-se a discussão sobre a divisão do espectro em dez oitavas. A Figura 4, como exposto na seção 2.5.2 do referencial teórico, mostra os extremos de frequência, bem como a frequência central de cada oitava. Além disso, há uma descrição subjetiva segundo Moulton (2000) para cada uma delas, tornando possível a interpretação das bandas de frequência de acordo com a fonte sonora e o tipo de som que é reproduzido na música.

Para observar visualmente o funcionamento dessa escala, foi implementado um código em *Processing* que realizava o cálculo das divisões em oitavas e mostrava a intensidade de cada banda de frequência em cada momento da música a ser captada pelo microfone do computador.

A função da classe *FFT* responsável por realizar este cálculo é a *calcAvg(float lowFreq, float hiFreq)*, a qual, de acordo com a documentação da *Minim*, calcula a amplitude média da banda de frequência determinada pelos dois extremos *lowFreq* e *hiFreq* que são passados como parâmetros da função. Dessa forma, o valor obtido por este cálculo é uma representação das frequências mais marcantes dentro de uma determinada banda de frequência no dado momento em que é calculado, mostrando o quão intensa é a utilização daquela banda naquele instante.

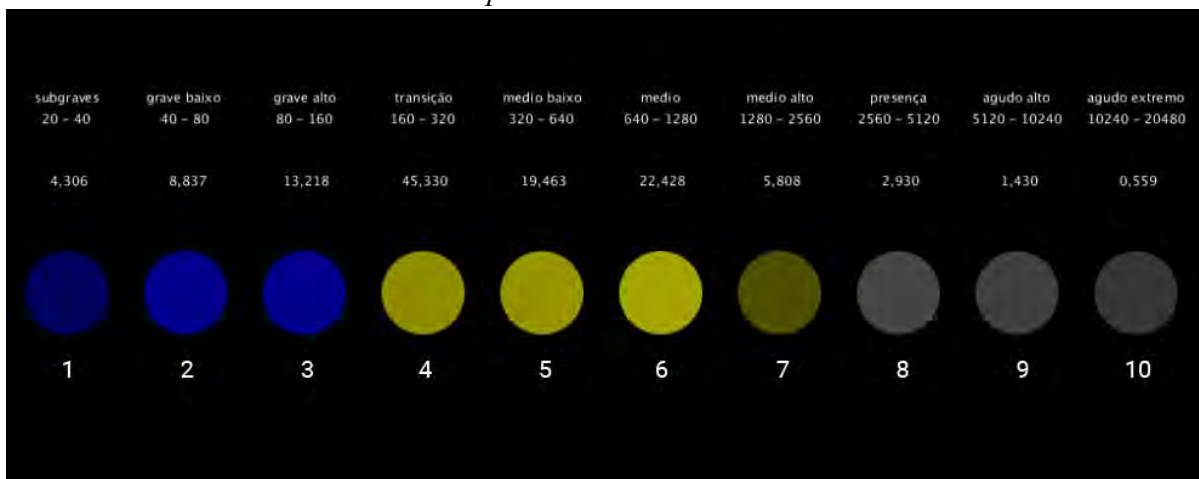
O programa, portanto, ilustrava essa leitura aumentando ou diminuindo a transparência de dez círculos coloridos, de acordo com o resultado da *calcAvg()* para cada oitava da escala, sendo agrupados da seguinte maneira:

- a) 3 círculos azuis - representantes das oitavas 1, 2 e 3 (sons graves);
- b) 4 círculos amarelos - representantes das oitavas 4, 5, 6 e 7 (sons médios);
- c) 3 círculos brancos - representantes das oitavas 8, 9 e 10 (sons agudos).

A Figura 17 mostra uma captura da tela da aplicação enquanto era reproduzida a música *Bishop School* do artista de jazz Yusef Lateef, devido à sua variedade de fontes sonoras. Nesse

momento havia, por exemplo, a presença marcante de sons de flauta, que pode ser identificada na banda dos sons médios (círculo 6).

Figura 17 - Representação visual da intensidade de cada oitava do espectro audível durante determinado instante da música *Bishop School* do artista Yusef Lateef.



Fonte: elaborada pela autora (2021).

A testagem do programa foi realizada com músicas de diversos gêneros como *rock*, *pop*, *jazz*, clássica e eletrônica, com o intuito de perceber as diferenças no *feedback* dos círculos. A observação dos testes mostrou que o círculo número 1 (20 Hz a 40 Hz) e o círculo número 10 (10240 Hz a 20480 Hz) raramente demonstravam amplitudes consideráveis, corroborando, assim, o que é afirmado por Moulton (2000) na Figura 4, na qual as descrições das oitavas 1 e 10, respectivas a essas bandas de frequência, dizem que há pouco conteúdo musical em suas manifestações.

Em face disso, decidiu-se por não utilizar essas duas oitavas no protótipo, uma vez que não poderiam fornecer *feedbacks* táteis de grande relevância dentro do limite da quantidade de motores disponíveis para uso. Tinha-se, então, oito oitavas cujas frequências seriam traduzidas para vibração. Entretanto, com a intenção de não perder o *feedback* dos sons subgraves, que estão muito presentes em músicas do gênero *pop* e eletrônico, por exemplo, além de serem importantes para a determinação do ritmo, optou-se por manter o tipo de interpretação do som a partir de batidas, que já estava presente no recurso antes do seu refinamento.

Sabendo-se que seriam utilizados motores em quatro dedos e um na palma da mão, foram propostas as seguintes especificações da Tabela 8:

Tabela 8 - Especificações da relação entre as informações interpretadas do áudio e os motores de vibração.

| Fonte de informação | Localização do motor |
|---|----------------------|
| Altos (presença e agudos) | Dedo anelar |
| Médios-baixos (transição e médios inferiores) | Dedo médio |
| Médios-altos (médios e médios superiores) | Dedo indicador |
| Baixos (graves superiores e inferiores) | Dedo polegar |
| Batidas | Palma da mão |

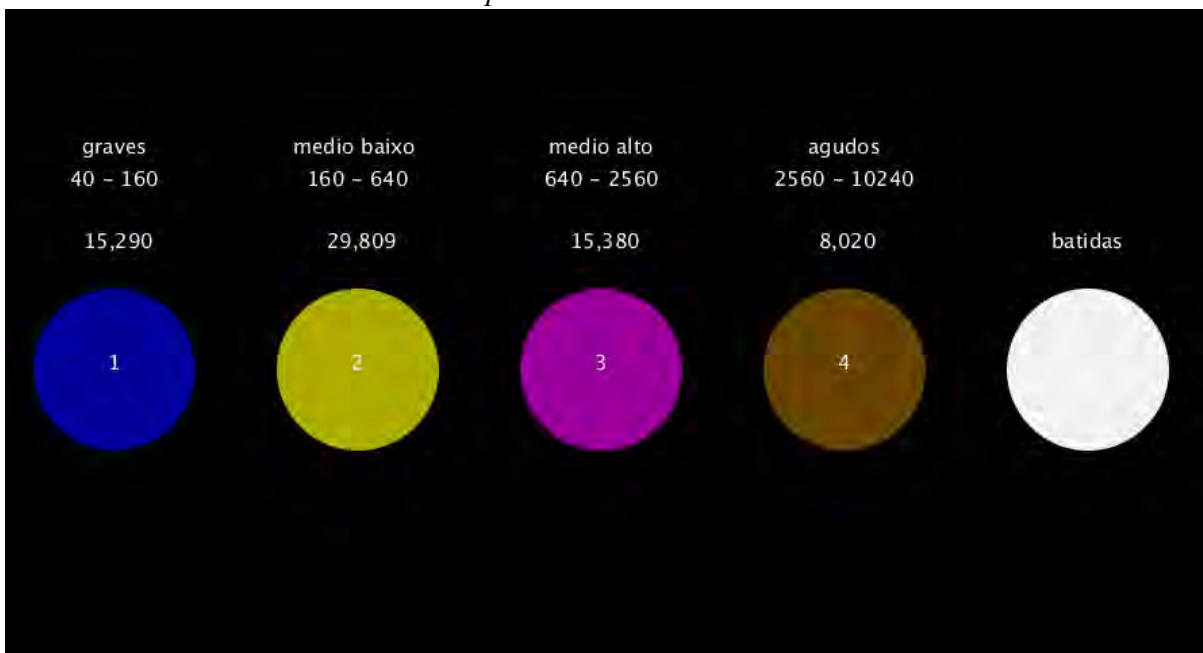
Fonte: elaborada pela autora (2021).

Assim, modificou-se o código para agrupar as oitavas de acordo com a tabela, além de reimplementar o reconhecimento de batidas da música com a classe *BeatDetect*. Após essas alterações, a mesma música *Bishop School* de Yusef Lateef foi testada no novo programa, visualmente constituído por:

- a) 1 círculo azul - representante do grupo dos graves, simulando o motor do dedo polegar;
- b) 1 círculo amarelo - representante do grupo dos médios-baixos, simulando o motor do dedo médio;
- c) 1 círculo fúcsia - representante do grupo dos médios-altos, simulando o motor do dedo indicador;
- d) 1 círculo laranja - representante do grupo dos agudos, simulando o motor do dedo anelar;
- e) 1 círculo branco - representante das batidas, simulando o motor da palma da mão.

A Figura 18 mostra uma captura da tela da aplicação, também enquanto reproduzia a música, no mesmo momento do exemplo anterior, quando se é notória a presença da flauta, que pode ser identificada flutuando entre as bandas dos sons médios-baixos e médios-altos, dependendo da nota tocada (círculos 2 e 3).

Figura 18 - Representação visual da intensidade da batida e dos grupos de frequência em determinado instante da música *Bishop School* do artista Yusef Lateef.



Fonte: elaborada pela autora (2021).

É de grande importância destacar a diferença bastante perceptível entre a interpretação da música por meio das batidas e da separação por frequências, quando colocadas lado a lado, como neste último programa. Antes, no protótipo original, a vibração estava muito mais presa ao ritmo da melodia, causando a perda de grande parte das informações relevantes do áudio, como a fluidez das notas musicais, as frequências marcantes dos instrumentos e também dos vocais, quando presentes. O código atual é capaz de mostrar, então, a relação de complementaridade entre essas duas perspectivas de análise musical e sugere um funcionamento mais aproximado do detalhamento real de um som, o que é um ponto bastante positivo para o usuário.

Nesta etapa, a aplicação desenvolvida já consegue realizar a leitura da música conforme o desejado, mas ainda é necessário transformar esses resultados em *feedbacks* táteis.

4.2.3.2.3 Objetivo 3: Adaptar o código para que as informações manipuladas sejam convertidas em envio de sinais pelo Arduino e conseqüentemente aos motores de vibração

A implementação inicial do código já era capaz de enviar ao Arduino os dados gerados no programa. Contudo, os sinais enviados até os motores eram do tipo digital, ou seja, aceitavam apenas os valores 0 (*LOW*) ou 1 (*HIGH*). Como os sinais originavam-se de

batidas, isso fazia sentido, uma vez que a batida é representada fisicamente por um pulso único em um dado instante, logo, só existiam as opções de ausência ou presença de pulso.

Com a transformação do código para um interpretador do espectro de frequências da música, foi necessário alterar a comunicação com o Arduino para que, em vez de sinais digitais, fossem enviados sinais que se aproximassem dos analógicos, uma vez que cada grupo de oitavas pode produzir diferentes valores de intensidade. Assim, utilizou-se a função *analogWrite()* do Arduino para enviar sinais PWM ao motor de vibração. De acordo com a documentação da plataforma, “a Modulação por Largura de Pulso (*Pulse Width Modulation - PWM*) é uma técnica para obter resultados analógicos com meios digitais.” (ARDUINO, 2018).

Desse modo, os valores obtidos pelos grupos de oitavas são convertidos em uma escala compreensível pelo sinal PWM e enviados aos seus respectivos motores de vibração. A diferença nesse método está na possibilidade de modificar a intensidade da vibração emitida a cada pulso, que é controlada justamente pelo valor do grupo de oitava, refletindo, portanto, a frequência média detectada em dado momento.

Vale ressaltar que o procedimento utilizado anteriormente para traduzir as batidas da música em vibração continua sendo aplicado no código, uma vez que o motor da palma da mão é destinado a essa característica musical.

Este objetivo conclui o refinamento técnico do recurso deste trabalho.

4.2.3.2.4 Objetivo 4: Substituir os dedais de tecido existentes por peças customizadas e impressas em 3D

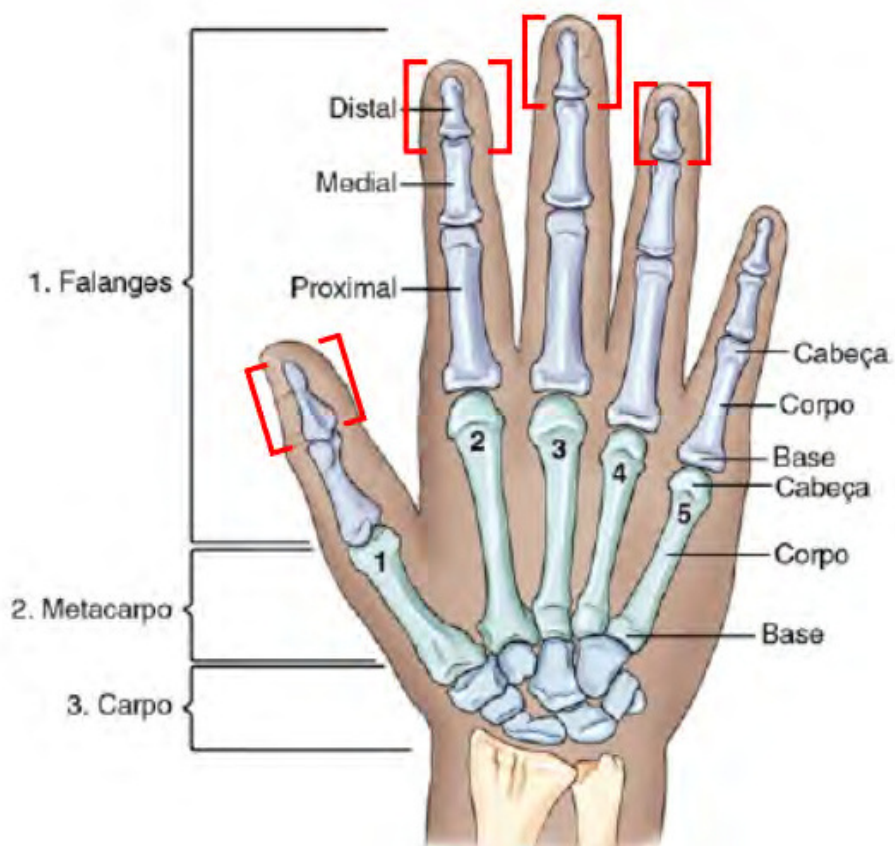
Nesta fase, os dedais de tecido foram substituídos por pequenos dedais modelados e impressos em 3D com material plástico, de forma que comportassem a passagem dos fios e o encaixe dos motores na parte inferior da ponta do dedo (onde está localizada a digital). Decidiu-se que o protótipo vestível iria dispor de cinco artefatos, sendo eles quatro dedais - contemplando os dedos anelar, médio, indicador e polegar - e uma peça localizada na palma da mão. Tomando como inspiração o modelo empregado no protótipo do projeto *Felt sound*, as peças foram idealizadas levando-se em conta os seguintes requisitos:

- a) Fornecer um bom encaixe nos dedos, evitando que caiam ou fiquem frouxas;
- b) Possuir um espaço para que os fios que conectam o motor *vibracall* possam ser fixados;

- c) Possuir um desenho que favoreça o encaixe do motor sob o dedo dentro da peça;
- d) A peça da palma da mão deve ter tamanho apropriado para acomodar-se no centro da mão do usuário de forma que o motor consiga se manter fixo sobre a área;
- e) A peça da palma da mão deve ser delicada e arredondada, visando prevenir incômodos na mão do usuário;
- f) A peça da palma da mão deve ter alças para segurar uma “pulseira” que permita a estabilização do artefato na mão do usuário.

Com o objetivo de definir as dimensões das peças, levou-se em consideração as medidas de acordo com Alexander e Viktor (2010) da região do dedo que compreende a falange distal (Figura 19) de homens e mulheres adultos a fim de obter uma média desses tamanhos para cada dedo. Também verificou-se as dimensões do motor *vibracall*, dos *jumpers* que conectam o motor e o perímetro que circunda a região entre a palma e o dorso da mão de uma pessoa adulta, para determinar o comprimento máximo da “pulseira”. A Tabela 9 relaciona todos esses elementos e suas respectivas medidas.

Figura 19 - Representação ilustrativa da localização (em vermelho) da falange distal nos quatro dedos medidos.



Fonte: Kenneth Bontrager, John Lampignano (2015).

Tabela 9 - Elementos compreendidos na parte vestível do protótipo e suas dimensões.

| Elemento | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Altura (mm) |
|--|------------------|------------------|-------------|
| Região da falange distal do dedo anelar | 20 | $17,3 \pm 2,22$ | 15 |
| Região da falange distal do dedo médio | 20 | $17,4 \pm 1,85$ | 15 |
| Região da falange distal do dedo indicador | 20 | $15,82 \pm 2,26$ | 15 |
| Região da falange distal do dedo polegar | 20 | $21,67 \pm 1,60$ | 15 |
| Motor vibracall | Diâmetro (mm): 9 | | 1,5 |

| | | | |
|---|------------------|---------------|---------------|
| Perímetro ao redor da palma e do dorso da mão | 180 | Não se aplica | Não se aplica |
| Jumper (cabeça) | 12 | 3 | 3 |
| Jumper (fio) | Diâmetro (mm): 2 | | |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Como a variação entre as larguras das regiões da falange distal dos dedos anelar, médio e indicador era mínima, optou-se por produzir três dedais de dimensões iguais e um dedal para o polegar com largura um pouco maior. As medidas finais das peças criadas estão resumidas na Tabela 10:

Tabela 10 - Dimensões finais dos dedais e da peça da palma da mão.

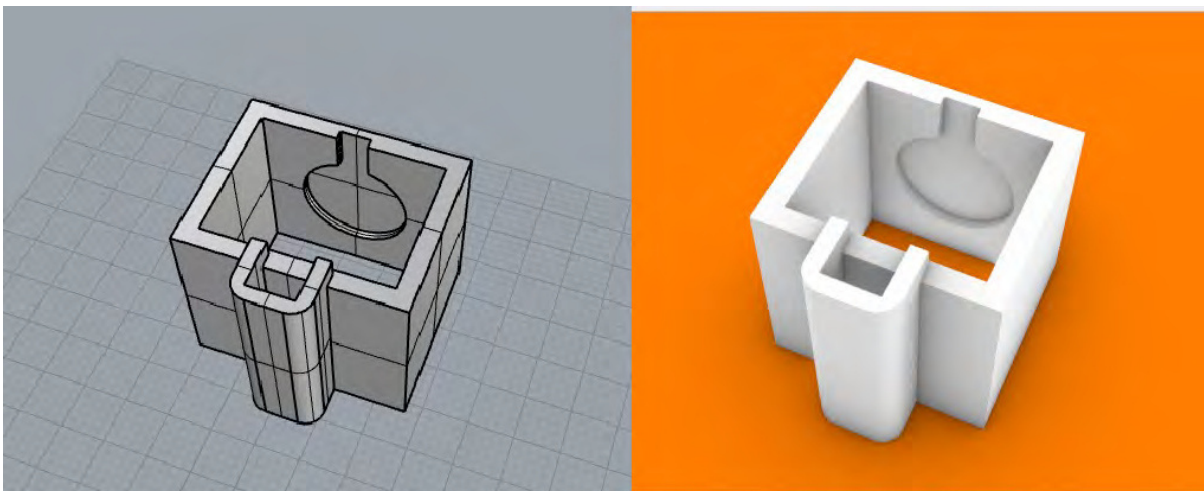
| Peça | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Altura (mm) |
|----------------------|------------------|--------------|-------------|
| Dedal - anelar | 20 | 18 | 15 |
| Dedal - dedo médio | 20 | 18 | 15 |
| Dedal - indicador | 20 | 18 | 15 |
| Dedal - polegar | 20 | 20 | 15 |
| Peça da palma da mão | 23 | 15 | 3 |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Diante dessas diretrizes, os protótipos das peças foram construídos em 3D utilizando o *software* de modelagem *Rhinoceros 7*⁹. Necessitou-se aprender sobre o funcionamento e a manipulação do programa anteriormente ao seu uso. As Figuras 20 e 21 mostram as versões finais dos modelos produzidos e suas respectivas formas renderizadas.

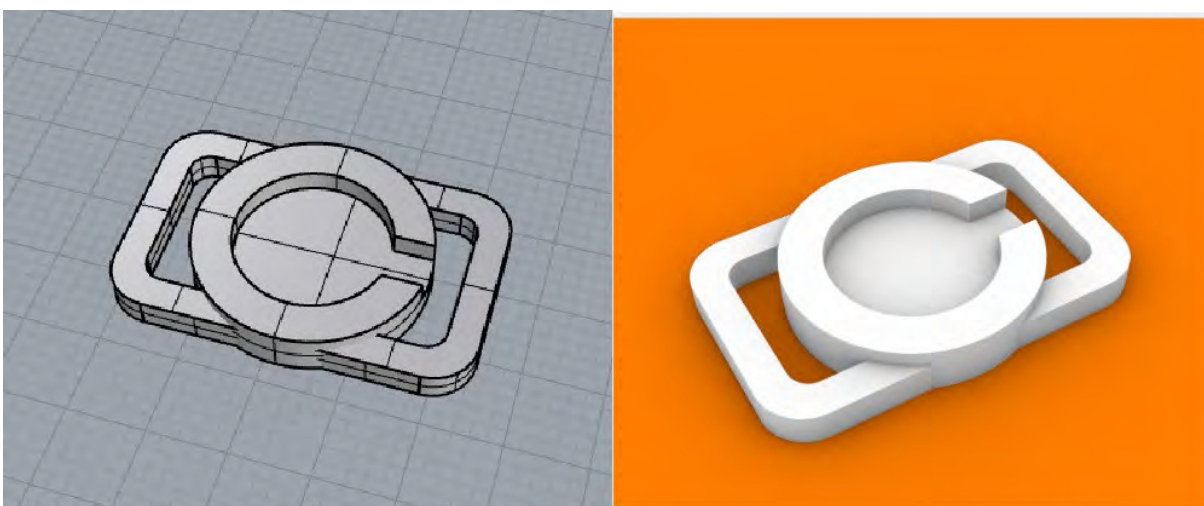
⁹ Rhino - Rhinoceros 3D. **Rhino 7**. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/>. Acessado em 19 ago. 2021.

Figura 20 - Modelo tridimensional do dedal e sua visualização renderizada.



Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 21 - Modelo tridimensional da peça da palma da mão e sua visualização renderizada.



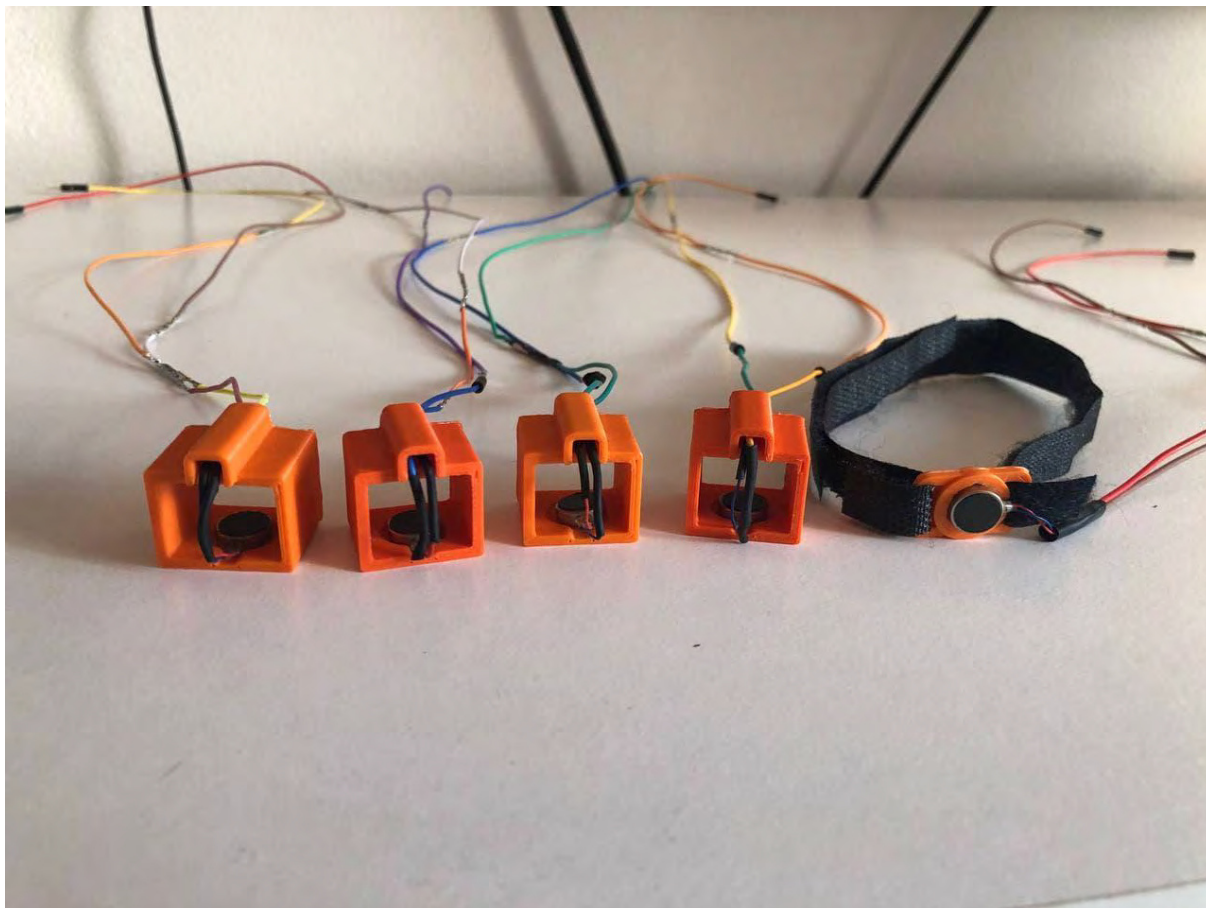
Fonte: elaborada pela autora (2021).

Os modelos foram, por fim, reproduzidos por uma impressora 3D utilizando filamento PLA, gerando as peças finais em material plástico prontas para serem integradas ao equipamento desenvolvido, como registrado na Figura 22. Vale ressaltar que o dedo mínimo foi desconsiderado no modelo porque o espectro sonoro foi dividido em quatro bandas, as quais seriam correspondentes a quatro dedos. No entanto, seria possível também dividir o espectro em cinco bandas e incluir o dedo mínimo no recurso, necessitando apenas de uma releitura da classificação e agrupamento das oitavas.

Quanto à confecção da “pulseira” necessária para estabilizar a peça da Figura 21 na palma da mão, utilizou-se uma tira simples de velcro presa às alças do objeto, com o

propósito de facilitar o ajuste a diferentes medidas do perímetro ao redor da mão, de forma análoga a um relógio de pulso.

Figura 22 - Peças (em laranja) obtidas pela impressão 3D, já com os motores e acessórios encaixados.



Fonte: elaborada pela autora (2021).

4.2.4 Testagem da solução refinada

Conforme já relatado, a fase de testagem da solução teve o seu planejamento elaborado, porém a atividade não pôde ser aplicada durante o período de desenvolvimento deste trabalho devido às restrições impostas pela pandemia da COVID-19, as quais prezam sobretudo pela saúde de quaisquer pessoas envolvidas no processo.

Buscando a avaliação do recurso e da pesquisa que o fundamenta, serão realizados testes com usuários reais do dispositivo. Os testes precisam respeitar um planejamento prévio, portanto, optou-se por utilizar o *framework* DECIDE de Preece *et al.* (2002) para tal fim.

É importante destacar que os dados coletados serão dos tipos qualitativo e quantitativo e haverá triangularização desses dados, ou seja, a utilização de três ou mais métodos distintos de coleta de dados. Esta decisão foi tomada a fim de tornar a avaliação o mais confiável possível a partir da variedade de informações extraídas dos usuários participantes.

4.2.4.1 Aplicação do framework DECIDE

O planejamento da avaliação foi elaborado de acordo com a Tabela 11:

Tabela 11 - Planejamento da avaliação de experiência do usuário com base no *framework* DECIDE.

| Etapa | Ações |
|----------|---|
| D | <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar a proximidade entre a experiência oferecida pela tecnologia assistiva e outro método comum (não-tecnológico) <ol style="list-style-type: none"> a. Verificar qual tipo de vibração gerado pela tecnologia assistiva mais se aproxima daquele gerado pelo método comum (balão de borracha) b. Verificar a resposta emocional dos usuários a partir da experiência com a tecnologia assistiva e como ela se compara à resposta emocional do método comum 2. Compreender (e/ou validar?) o impacto do uso da tecnologia assistiva nas experiências musicais das pessoas surdas <ol style="list-style-type: none"> a. Compreender a importância de oferecer alternativas à experiência musical por meio de soluções tecnológicas b. Verificar se a tecnologia desenvolvida faz sentido para aqueles que irão utilizá-la |
| E | <ol style="list-style-type: none"> 1. Questão 1 <ol style="list-style-type: none"> a. Alguma das opções de vibração do dispositivo consegue se aproximar daquela que o participante experimenta ao segurar o balão? Se sim, qual? b. Se nenhuma opção se aproxima, isso invalida ou ainda é possível ter uma boa experiência? c. O material e a forma do dispositivo (encaixe nos dedos, fios sobre as mãos etc) conseguem proporcionar uma experiência confortável e “realista”? 2. Questão 2 <ol style="list-style-type: none"> a. A tecnologia assistiva é capaz de proporcionar uma |

| | |
|----------|---|
| | <p>resposta emocional semelhante àquela obtida pelos métodos comuns? Se não, isso a invalida?</p> <p>b. Como o participante se sente após realizar o experimento com o método comum e com a tecnologia assistiva?</p> <p>c. Como o participante acredita que a tecnologia assistiva poderia proporcionar uma experiência satisfatória?</p> <p>3. Questão 3</p> <p>a. O participante sentiu-se contemplado pela experiência da tecnologia assistiva?</p> <p>b. A tecnologia é capaz de oferecer sentimento de inclusão dentro do contexto das vivências do participante?</p> <p>c. A tecnologia é vista como promissora para novas experiências musicais imersivas pelo participante?</p> |
| C | <ol style="list-style-type: none"> 1. Teste de usabilidade (comparativo entre método não-tecnológico do balão de borracha e método de tecnologia assistiva); 2. Questionário pré-teste; 3. Questionários pós-teste (auto-avaliação de emoções; e perguntas sobre as impressões do usuário com uso da escala likert nas respostas) |
| I | <ol style="list-style-type: none"> 1. Recrutamento dos usuários participantes (5); 2. Agendamento dos testes (definir local e data); 3. Elaboração dos questionários online e do termo de consentimento; 4. Providenciar os materiais necessários: balões de borracha, celular ou câmera para filmagem do teste, computador para executar o software e acessar o questionário e o termo de consentimento, material para anotação dos observadores, fones de ouvido; 5. Verificar previamente o funcionamento dos softwares a serem reproduzidos; 6. Verificar previamente o funcionamento do dispositivo; 7. Realizar testes-piloto; 8. A partir dos testes-piloto, estabelecer a duração desejada para cada sessão de testes; 9. Verificar a necessidade de ajustes na aplicação dos métodos de avaliação e nos fatores logísticos. |
| D | <ol style="list-style-type: none"> 1. O usuário e o aplicador do teste serão requisitados a assinar um termo de consentimento, antes do seu início, no qual serão dispostas as diretrizes éticas da avaliação relacionadas à disponibilização, utilização e proteção dos dados; a possibilidade de desistir do teste a qualquer momento, e outros direitos e obrigações dos envolvidos. |

| | |
|----------|--|
| E | <ol style="list-style-type: none">1. Verificar a necessidade de descartar respostas ou métodos que não tiveram sua aplicação realizada conforme o esperado;2. Triangularização dos dados qualitativos e quantitativos obtidos nas aplicações dos métodos, de forma a identificar desvios e outros problemas na aplicação;3. Verificar possíveis divergências entre as respostas e as observações dos avaliadores;4. As respostas para as questões 1 e 3 serão extraídas a partir das informações coletadas com os questionários e com a observação do teste de usabilidade. A questão 2, que tem foco na resposta emocional do usuário, será esclarecida com os dados obtidos na auto-avaliação de emoções. |
|----------|--|

Fonte: elaborada pela autora (2021).

5 RESULTADOS

Este trabalho teve como principal objetivo o refinamento de um dispositivo existente visando proporcionar uma experiência musical para pessoas total ou parcialmente surdas através de estímulos em outros sentidos do corpo humano, dentro do contexto de apresentações musicais em plataformas virtuais.

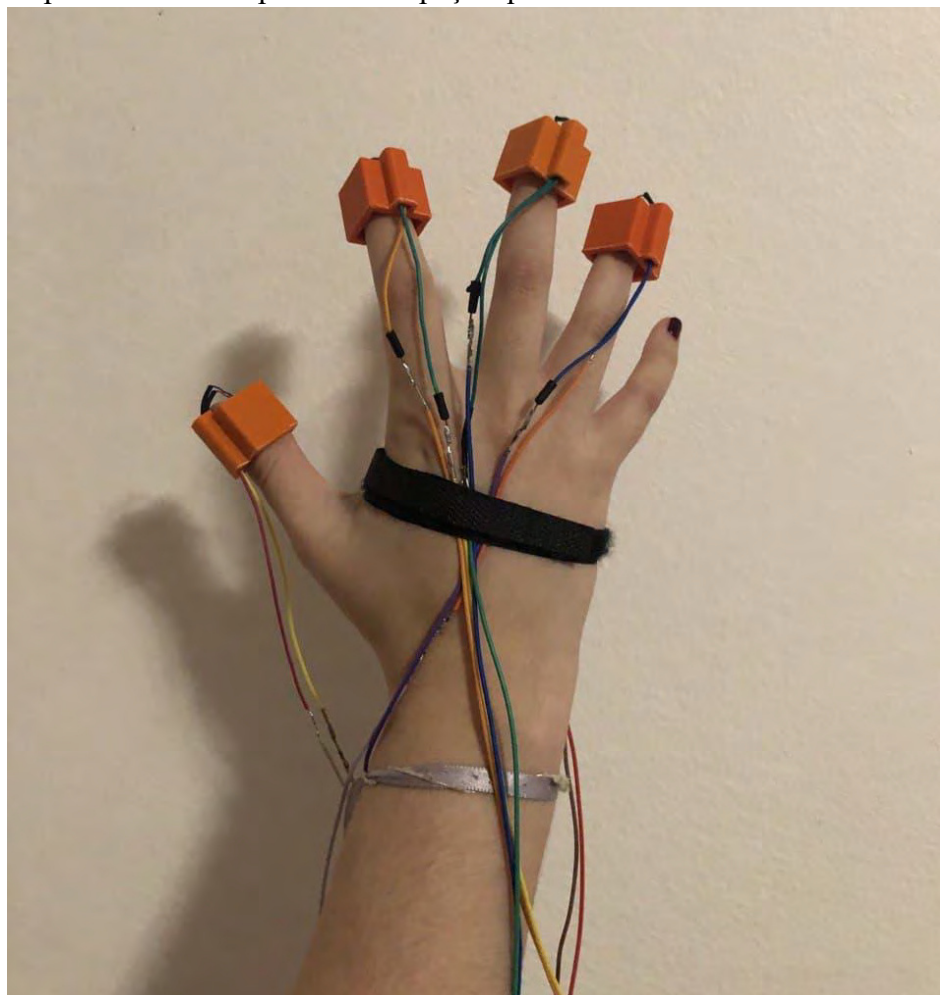
O produto resultante desse refinamento é uma tecnologia assistiva que fornece estímulos vibrotáteis ao usuário, de forma que o faça ter uma melhor percepção de características musicais como o ritmo, as batidas e a variação de frequência na melodia. O usuário recebe esses estímulos por meio de pequenos motores de vibração, os quais estão fixados dentro de peças que devem ser encaixadas na ponta dos dedos, como mostrado nas Figuras 23, 24 e 25:

Figura 23 - Visão frontal dos motores de vibração posicionados embaixo da ponta dos dedos por meio de peças que se encaixam nos mesmos.



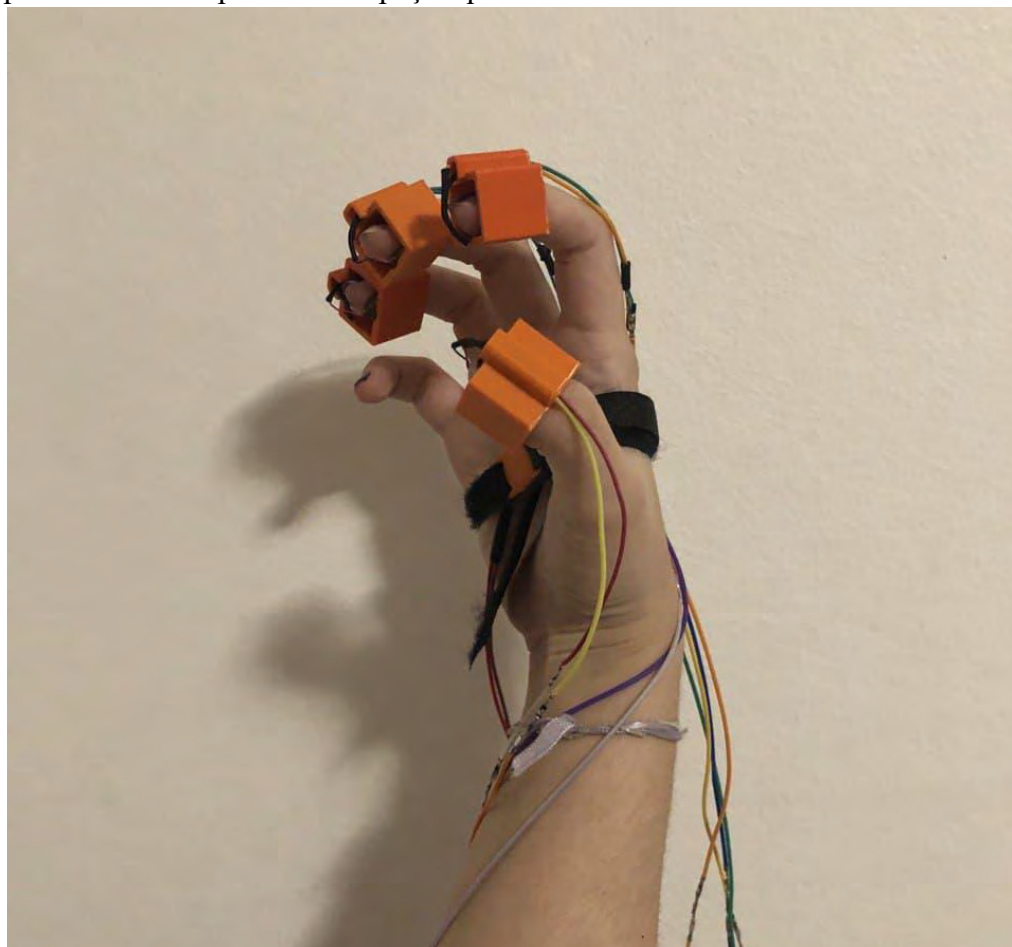
Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 24 - Visão traseira dos motores de vibração posicionados embaixo da ponta dos dedos por meio de peças que se encaixam nos mesmos.



Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 25 - Visão lateral dos motores de vibração posicionados embaixo da ponta dos dedos por meio de peças que se encaixam nos mesmos.



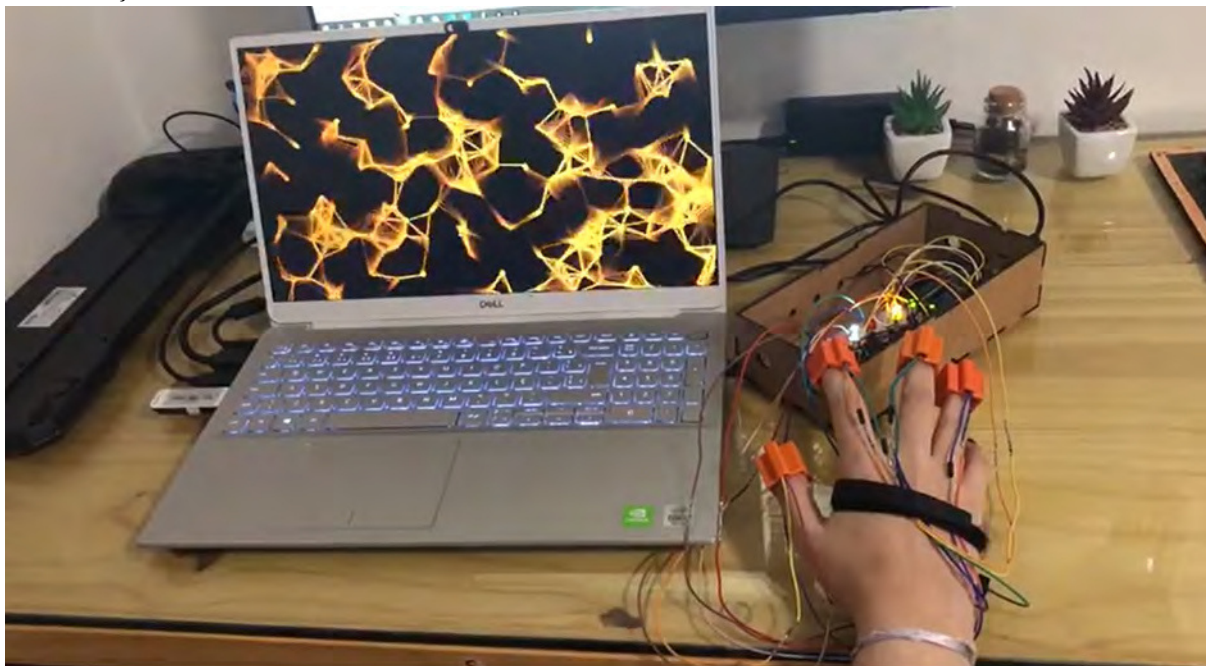
Fonte: elaborada pela autora (2021).

O funcionamento do recurso acontece por meio de um Arduino que executa um código na linguagem *Processing*, o qual é responsável pela análise da música que está sendo reproduzida. Para utilizá-lo, é necessário conectar o Arduino em um computador e executar o código em *Processing*, que pode ser pelo próprio ambiente de desenvolvimento da linguagem, como também pelo programa executável que é gerado no ambiente.

Além disso, a proposta da solução pensada no projeto de música acessível da Secult-Arte/UFC é de que o usuário faça a combinação dos estímulos táteis com os estímulos visuais, que são proporcionados a partir de outro programa também escrito em *Processing*, o qual apresenta diferentes formas, texturas, cores e movimentos que interagem com o som, da mesma forma que o dispositivo físico. Assim, o usuário pode ter uma experiência multissensorial, presenciando uma maior imersão na performance musical.

A Figura 26 e dois vídeos¹⁰ apresentam como deve ser o dispositivo em pleno funcionamento:

Figura 26 - Experiência de música acessível por meio de estímulos vibrotáteis e visualização musical.



Fonte: elaborada pela autora (2021).

¹⁰Disponíveis em: https://drive.google.com/file/d/1DcpKcG9Oso_Fk0MrhtvQDxw_kNvtC17r/view?usp=sharing e <https://drive.google.com/file/d/1j6rm6whd9QD6nTuMeNy8Pa2LT-hob2ue/view?usp=sharing>

6 CONCLUSÃO

O discurso da inclusão aliado à acessibilidade e ao design de tecnologias interativas revela-se muito promissor para fomentar o desenvolvimento social de uma população. O conhecimento extraído desta pesquisa permitiu ter-se uma visão ainda mais empática com a camada da população representada pelas PcDs, em especial as pessoas surdas, que compõem um grupo com identidade e cultura próprias.

Por meio dos estudos realizados, foi possível compreender com maior profundidade os aspectos que regem a ideia das tecnologias assistivas, bem como o lugar que elas ocupam na sociedade e como elas podem impactar positivamente as pessoas. Ainda, a fundamentação teórica acerca da musicalidade, da interação humano-computador e das estratégias para concepção de ideias foram de suma importância para que houvesse um bom direcionamento sobre o que deveria ser almejado no projeto.

Nessa perspectiva, as leituras, bem como a prática realizada no desenvolvimento do produto, evidenciaram que o design em suas diversas orientações, quando alinhado ao contexto e às necessidades do usuário, pode ser um forte agente de modificação social. Esses aprendizados são de suma importância para o papel do designer no contexto da tecnologia e das mídias digitais, que estão em constante evolução e se mostram cada vez mais inseridas no dia a dia das pessoas.

Outro fator observado que merece destaque é a influência da multidisciplinaridade na função de profissionais das áreas citadas. Neste estudo foram utilizados conhecimentos de campos diversos, como a sociologia, a física e matemática, as tecnologias digitais, o design em diferentes âmbitos e a computação física, além de outras noções pontualmente necessárias.

Dito isso, o curso de Sistemas e Mídias Digitais se mostra bastante preparado ao oferecer perspectivas múltiplas aos seus graduandos, visto que boa parte do conhecimento que foi exposto neste trabalho foi adquirido no decorrer das disciplinas cursadas pela autora. Portanto, é notável o fato de que os profissionais de Sistemas e Mídias Digitais são capacitados de forma a estarem aptos para assumirem as mais diversas áreas de atuação, seja no mercado de trabalho ou no meio acadêmico.

Ademais, quanto ao produto desenvolvido, almeja-se, é claro, dar continuidade à pesquisa e à avaliação dos resultados obtidos com os *stakeholders* de forma presencial, assim que possível. Como consequência disso, novos refinamentos serão realizados, inclusive com base em ideias originadas durante a construção deste trabalho, como conectividade sem fio, a

fabricação de componentes mais robustos e melhorias quanto à interação entre pessoas surdas e a música.

REFERÊNCIAS

- ALBERTIN, M.; KOHL, H.; ELIAS, S. J. **Manual do Benchmarking**. p.41. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2015.
- ALEXANDER, B.; VIKTOR, K. *Proportions of hand segments*. Int. J. Morphol, v. 28, n. 3, p. 755–758, 2010.
- ARDUINO. *Getting Started with Arduino products*. 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide>. Acesso em 22 ago. 2021.
- AUSTIN, M.; FILIMOWICZ, M. (org.). *Foundations in Sound Design for Embedded Media*. Nova York: Routledge, 2019.
- AVNET. *Can deaf people hear music? - Answer: Yes, they can*. Disponível em: <https://www.avnet.com/wps/portal/us/resources/article/how-the-deaf-experience-music-then-and-now/>. Acesso em 06 jan. 2021.
- BARBOSA, S. D. J.; SILVA, B. S. da; SILVEIRA, M. S.; GASPARINI, I.; DARIN, T.; BARBOSA, G. D. J. **Interação Humano-Computador e Experiência do usuário**. Autopublicação, 2021.
- BERSCH, R.; TONOLLI, J. C. **Introdução ao conceito de Tecnologia Assistiva e modelos de abordagem da deficiência**. Porto Alegre: CEDI - Centro Especializado em Desenvolvimento Infantil, 2006. Disponível em: <http://www.bengalalegal.com/tecnologia-assistiva>. Acesso em: 19 jan. 2021.
- BERSCH, R. **Introdução à tecnologia assistiva**. Porto Alegre, 2017. Disponível em: http://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf. Acesso em: 19 jan. 2021.
- BEYOND the Artist: Dead & Company and the Deafheads**, 2020. 1 vídeo (2:05 min). Publicado pelo canal Chase Center. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=v-zjtOReiso&ab_channel=ChaseCenter. Acesso em 20 ago. 2021.
- BONTRAGER, K.; LAMPIGNANO, J. **Manual Prático de Técnicas e Posicionamento Radiográfico**. 8a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- BRASIL, 2015, **Lei n. 13.146, de 6 de jul. de 2015**. Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm. Acesso em 06 jan. 2021.
- BRASIL, 2002, **Lei n. 10.436, de 24 de abr. 2002**. Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais - Libras e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10436.htm. Acesso em 04 fev 2021.
- BRASIL. **Política Nacional de Educação Especial**. Série Livro 1. Brasília: MEC/SEESP, 1994.

- CAETANO, I.; SANTOS, L.; LEITÃO, A. *Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design*. *Frontiers of Architectural Research*, vol. 9(2), p. 287-300, 2020.
- CAVDIR, D.; WANG, G. *Felt sound: A shared musical experience for the deaf and hard of hearing*. Em: *Proceedings of the 20th International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-20)*, 2020.
- CHASIN, M. *Music and hearing aids*. *The Hearing Journal*, vol. 56(7), p. 36-41, 2003. In: FOURNEY, D. W.; FELLS, D. I. *Creating access to music through visualization*. IEEE Toronto International Conference on Science and Technology for Humanity (TIC-STH), p. 939-944. Nova York: IEEE Press, 2009.
- CUTNELL, J.; JOHNSON, K. *Physics*. Nova Jersey: John Wiley and Sons, 2012.
- DAMASCENO, D. *A volta dos exilados: Darcy Ribeiro, Leonel Brizola e a Cultura do povo-novo para o Rio de Janeiro 1983-1986*. Campo dos Goytacazes: UENF, 2014.
- FOURNEY, D. *Can Computer Representations of Music Enhance Enjoyment for Individuals Who Are Hard of Hearing?*. Em: *Proceedings of Computers Helping People with Special Needs, 13th International Conference, (ICCHP 2012)*. 2012.
- GEERTZ, C. *A interpretação da cultura*. p. 66. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- GRILLO, M.; PEREZ, L. (org.) *Física e música*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.
- GUIMARÃES, M. P. *Acessibilidade, tecnologia assistiva e ajuda técnica: qual a diferença?* DIVERSA, 2013. Disponível em: <https://diversa.org.br/artigos/acessibilidade-tecnologia-assistiva-ajuda-tecnica/>. Acesso em: 19 jan. 2021.
- HUBER, D.; RUNSTEIN, R. *Modern Recording Techniques*. 9a ed. Nova York: Routledge, 2018.
- HUG, D.; PFAFF, S.; FILIMOWICZ, M. (org.). *Foundations in Sound Design for Embedded Media*. Nova York: Routledge, 2019.
- IDEO. *Design Thinking*. São Francisco, 2021. Disponível em: <https://www.ideo.com/pages/design-thinking>. Acesso em 17 ago. 2021.
- ISO. ISO 9241-11. 2018.
- KLARREICH, E. *Nature. Feel the music: Deaf people use 'mind's ear' to process vibrations*. 27 nov. 2001. DOI:10.1038/news011129-10. Disponível em: <https://www.nature.com/news/2001/011129/full/news011129-10.html>. Acesso em: 12 mar. 2021.
- LOPES, M. C. *Cultura Surda & Libras*. Maura Corcini Lopes (org.) e colaboradores. São Leopoldo: UNISINOS, 2012.

LOPEZ, J.; MICHALATOS, P. *SCI 6338 - Introduction to Computational Design*. Harvard University Graduate School of Design, 2021.

MOULTON, D. *Total Recording: The Complete Guide to Audio Production and Engineering*. KIQ Productions, 2000.

NAZEMI, M; FILIMOWICZ, M. (org.). *Foundations in Sound Design for Embedded Media*. Nova York: Routledge, 2019.

NOT IMPOSSIBLE LABS. *Music: Not Impossible*. Califórnia, 2018. Disponível em: <https://www.notimpossible.com/projects/music-not-impossible>. Acesso em: 12 mar. 2021.

PATIN, F. *Beat detection algorithms*. 2003. Disponível em: <https://www.flipcode.com/misc/BeatDetectionAlgorithms.pdf>. Acesso em 21 ago. 2021.

PEREIRA, S. *Atualização de tecnologia para ampliar a experiência sonora/vibratória de surdos*. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

PETRY, B. *et al. Ad-Hoc Access to Musical Sound for Deaf Individuals*. Em: *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '16)*. p. 285–286. Nova York: Association for Computing Machinery, 2016.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. 1a ed. Nova York: J. Wiley & Sons, 2002.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. 5a ed. Nova York: J. Wiley & Sons, 2019.

PROCESSING. *Welcome to Processing!*. 2021. Disponível em: <https://processing.org>. Acesso em 22 ago. 2021.

SASSAKI, R. K. *Inclusão: Construindo uma sociedade para todos*. 3a ed. Rio de Janeiro: WVA, 1999.

SUBPAC. *What is SUBPAC?*. 2021. Disponível em: <https://subpac.com/what-is-the-subpac/>. Acesso em: 12 mar 2021.

PLATONI, K. *Sound System Allows Deaf People to Experience Music Like Never Before*. Califórnia: KQED, 2016. Disponível em: <https://www.kqed.org/futureofyou/219070/for-deaf-tactile-sound-system-takes-music-beyond-the-vibe>. Acesso em: 12 mar. 2021.

PERCIACCANTE, A.; CORALLI, A. *Beethoven: His Hearing Loss and His Hearing Aids*. *Otology & Neurotology*. Publicação *Ahead of Print*, 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. *Formulário para criação e/ou regulamentação de disciplina*. 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. *Dados Gerais do Componente Curricular Design Computacional*. 2012.

VYGOTSKI, L. S. *Historia del Desarrollo de las Funciones Psíquicas Superiores*. Em: Lev S. Vygotski. Obras Escogidas, Tomo III. Madri: Visor/MEC, 1995.

APÊNDICE A - TEXTOS COMPREENDIDOS NA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Tabela 12 - Textos compreendidos na pesquisa bibliográfica separados por área de estudo e tipo.

| Área de estudo | Status | Livros | |
|-------------------------------------|----------------------|---|---|
| | | Texto | Link |
| Acessibilidade | Lido - Aplicável | Estatuto da Pessoa com Deficiência | http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm |
| Música | Lido - Não aplicável | How to make music activities accessible for deaf children and young people | https://www.musicmark.org.uk/wp-content/uploads/ndcs_how_to_make_music_activities_accessible.pdf |
| Acessibilidade | Lido - Não aplicável | DIY ACCESS GUIDE-ATTITUDE IS EVERYTHING | https://www.britishcouncil.org.ua/sites/default/files/attitude_is_everything_-_diy_access_guide_-_digital_links.pdf |
| Acessibilidade | Lido - Aplicável | Introdução à tecnologia assistiva. Disponível em: http://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf | http://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf |
| Acessibilidade | Lido - Aplicável | Inclusão – construindo uma sociedade para todos. 3a edição. Rio de Janeiro: Editora WVA, 1999. | Não disponível <i>online</i> |
| Acessibilidade | Lido - Aplicável | Acessibilidade, tecnologia assistiva e ajuda técnica: qual a diferença? | https://diversa.org.br/artigos/acessibilidade-tecnologia-assistiva-ajuda-tecnica/ |
| Cultura surda | Lido - Aplicável | As imagens do outro sobre a cultura surda | Não disponível <i>online</i> |
| Cultura surda | Lido - Aplicável | Cultura Surda e Libras | Não disponível <i>online</i> |
| Música | Lido - Aplicável | Física e Música | https://mnpfblumenauufscbr.paginas.ufsc.br/files/2017/05/FisMus_Grillo_Perez.pdf |
| Música | Lido - Aplicável | Total Recording: The Complete Guide to Audio Production and Engineering | Não disponível <i>online</i> |
| Música | Lido - Aplicável | Física | Não disponível <i>online</i> |
| Avaliação | Lido - Aplicável | Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction | Não disponível <i>online</i> |
| Artigos/Trabalhos publicados | | | |
| Visual | Lido - Aplicável | Creating Access to Music through Visualization | https://www.researchgate.net/profile/David_Fourney/publication/236660379_Creating_access_to_music_through_visualization/links/5600188908ae |

| | | | |
|-------------------------|----------------------|--|---|
| | | | ba1d9f84b8fa/Creating-access-to-music-through-visualization.pdf |
| Tátil | Lido - Aplicável | Modelling Perceptual Elements of Music in a Vibrotactile Display for Deaf Users: A Field Study | https://www.researchgate.net/profile/Maria_Karam/publication/220757912_Modelling_Perceptual_Elements_of_Music_in_a_Vibrotactile_Display_for_Deaf_Users_A_Field_Study/links/570e5f2908aecd31ec9a78ca.pdf |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | Can Computer Representations of Music Enhance Enjoyment for Individuals Who Are Hard of Hearing? | https://www.researchgate.net/publication/236660373_Can_Computer_Representations_of_Music_Enhance_Enjoyment_for_Individuals_Who_Are_Hard_of_Hearing |
| Metodologia de pesquisa | Lido - Aplicável | RESTRIÇÃO SOCIAL NO SER DIFERENTE: A DEFICIÊNCIA SOB A PERSPECTIVA DO DESIGN NA BUSCA POR ALTERIDADE | http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/33157 |
| Tátil+Visual | Lido - Aplicável | Enhancing Musical Experience for the Hearing-Impaired Using Visual and Haptic Displays | https://www.researchgate.net/publication/254304091_Enhancing_Musical_Experience_for_the_Hearing-Impaired_Using_Visual_and_Haptic_Displays |
| Música+Surdos | Lido - Não aplicável | A presença da música e a cultura surda na literatura infantil | https://www.porsinal.pt/index.php?ps=artigos&idt=artc&cat=25&idart=380 |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | Felt Sound: A Shared Musical Experience for the Deaf and Hard of Hearing | https://www.researchgate.net/publication/342853644_Felt_Sound_A_Shared_Musical_Experience_for_the_Deaf_and_Hard_of_Hearing |
| Cultura surda | Lido - Não aplicável | Diferenças na expressão emocional entre indivíduos portadores e não-portadores de deficiências auditivas | http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0874-20492016000200003&lang=pt |
| Avaliação | Lido - Não aplicável | Avaliação da acessibilidade de tecnologia assistiva para surdos | http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71672016000500833&lang=pt |
| Tátil+Visual | Lido - Aplicável | Ad-Hoc Access to Musical Sound for Deaf Individuals | https://www.ahlab.org/sites/default/files/pd072-petryA.pdf |
| Tátil | Lido - Aplicável | Supporting Rhythm Activities of Deaf Children using Music-Sensory-Substitution Systems | https://dl.acm.org/doi/10.1145/3173574.3174060 |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | Utilizando realidade virtual para habilitar o acesso aos teatros de pessoas com deficiência auditiva | https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7204 |
| Ambientes virtuais | Lido - Aplicável | How Covid is 'creating a new genre' for live music | https://www.bbc.com/news/entertainment-arts-55947209 |

| | | | |
|--------------------|----------------------|--|---|
| Ambientes virtuais | Lido - Não aplicável | Staying in, rocking out: Online live music portal shows during the coronavirus pandemic | https://www.researchgate.net/publication/347816571_Staying_in_rocking_out_Online_live_music_portal_shows_during_the_coronavirus_pandemic |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | Gestural Interface for Conducting Virtual Concerts | https://www.researchgate.net/publication/309598762_Gestural_Interface_for_Conducting_Virtual_Concerts |
| Tátil+Visual | Lido - Não aplicável | An enhanced musical experience for the deaf: Design and evaluation of a music display and a haptic chair | https://www.researchgate.net/publication/221518204_An_enhanced_musical_experience_for_the_deaf_Design_and_evaluation_of_a_music_display_and_a_haptic_chair |
| Música | Lido - Aplicável | Understanding Music Interaction, and Why It Matters | https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-92069-6_1 |
| Tátil | Lido - Aplicável | EarVR: Using Ear Haptics in Virtual Reality for Deaf and Hard-of-Hearing People | https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8998298?casa_token=duLJTGSaGOYAAAAA:6WPePIspMRslTxTsb5vpgUj0pfGa8f_XYDKBDBr6l34stpV_7YYP_-xTu4LasB56DmU8DsOm99Xk |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | The Effects of Musical Experience and Hearing Loss on Solving an Audio-Based Gaming Task | https://www.mdpi.com/2076-3417/7/12/1278 |
| Música+Surdos | Lido - Não aplicável | Learning not to listen: the experiences of musicians with hearing impairments | https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14613808.2011.632086 |
| Música+Surdos | Lido - Não aplicável | The Role of Music in Deaf Culture: Deaf Students' Perception of Emotion in Music | https://academic.oup.com/jmt/article-abstract/43/1/2/906657 |
| Música+Surdos | Lido - Não aplicável | Music Aid: Towards a Collaborative Experience for Deaf and Hearing People in Creating Music | https://vbn.aau.dk/en/publications/music-aid-towards-a-collaborative-experience-for-deaf-and-hearing |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | Hearing through Vibrations: Perception of Musical Emotions by Profoundly Deaf People | https://arxiv.org/abs/2012.13265 |
| Visual | Lido - Aplicável | ViTune: A Visualizer Tool to Allow the Deaf and Hard of Hearing to See Music With Their Eyes | https://dl.acm.org/doi/10.1145/3334480.3383046 |
| Tátil | Lido - Aplicável | Cutaneous Grooves: Composing for the Sense of Touch | https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1076/jnmr.32.4.369.18856 |
| Tátil | Lido - Aplicável | “Hearing” with the Sense of Touch | https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00221309.1928.9920128?needAccess=true |
| Ambientes virtuais | Lido - Aplicável | Evaluating accessibility features designed for virtual reality context | https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8326167 |

| | | | |
|----------------|---------------------|---|---|
| Tátil+Visual | Lido - Aplicável | Haptic Music - Exploring Whole-Body Vibrations and Tactile Sound for a Multisensory Music Installation | https://www.researchgate.net/publication/343600888_Haptic_Music_-_Exploring_Whole-Body_Vibrations_and_Tactile_Sound_for_a_Multisensory_Music_Installation |
| Tátil | Lido - Aplicável | Feeling vibrations: enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans | https://sci-hub.do/10.1016/s0304-3940%2801%2901597-x |
| Acessibilidade | Lido - Aplicável | Concepts for the design of accessible music technology | https://www.taylorfrancis.com/chapters/concepts-design-accessible-music-technology-joe-wright/e/10.4324/9780429345388-16 |
| Sites | | | |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | How the Deaf Experience Music—Then and Now | https://www.avnet.com/wps/portal/us/resources/article/how-the-deaf-experience-music-then-and-now/ |
| Tátil | Lido - Aplicável | MUSIC: NOT IMPOSSIBLE | https://www.notimpossible.com/projects/music-not-impossible#:~:text=Music%3A%20Not%20Impossible%20is%20a,unique%20and%20nuanced%20music%20experience. |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | The future of music is for everyone—even the deaf | https://www.avnet.com/wps/portal/us/resources/article/not-impossible-labs/ |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | HOW NOT IMPOSSIBLE LABS' WEARABLE TRANSLATES MUSIC FOR DEAF PEOPLE | https://builtin.com/product/product-design-music-wearable-deaf-accessibility |
| Acessibilidade | Lido - Aplicável | Os 4 paradigmas da assistência às pessoas com deficiência: da exclusão à inclusão. | https://medium.com/@gabifernandes_74906/os-4-paradigmas-da-assist%C3%Aancia-%C3%A0s-pessoas-com-defici%C3%Aancia-da-exclus%C3%A3o-%C3%A0-inclus%C3%A3o-18b7c39a5b28 |
| Acessibilidade | Lido - Aplicável | Práticas e Desafios da Educação Inclusiva | http://www.guiadoeducadorinclusivo.org.br/capitulos/capitulo-1#_nrr18 |
| Acessibilidade | Lido - Aplicável | DA INTEGRAÇÃO À INCLUSÃO SOCIAL: O ESTATUTO DAS PESSOAS COM DEFICIÊNCIA E A CONCRETIZAÇÃO DA INCLUSÃO PELOS DIREITOS ASSEGURADOS. | https://periodicos.uni7.edu.br/index.php/revistajuridica/article/view/261/305 |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | Deaf People Can "Feel" Music | https://www.webmd.com/a-to-z-guides/news/20011128/deaf-people-can-feel-music#:~:text=Shibata%20presented%20his%20findings%20at,Shibata%20in%20a%20news%20release. |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | Speaker helps deaf to 'feel' music | http://edition.cnn.com/2005/TECH/10/26/vibrato.speaker/#:~:text=LONDON%2C%20England%20(CNN)%2 |

| | | | |
|---------------|---------------------|--|---|
| | | | 0%2D%2D.fingertips%20through%20an%20audio%20speaker.&text=While%20vibrations%20can%20be%20felt,the%20sound%20of%20each%20instrument. |
| Tátil | Lido - Aplicável | (SubPac) Sound System Allows Deaf People to Experience Music Like Never Before | https://www.kqed.org/futureofyou/219070/for-deaf-tactile-sound-system-takes-music-beyond-the-vibe |
| Música+Surdos | Lido - Aplicável | CAN DEAF PEOPLE HEAR MUSIC? (ANSWER: YES, THEY CAN) | https://assistivetechologyblog.com/2016/06/can-deaf-people-hear-music-answer-yes.html |
| Música | Lido - Aplicável | Características do Som – A Transformada de Fourier | https://musicaeadoracao.com.br/25374/caracteristicas-do-som-a-transformada-de-fourier/ |
| Música | Lido - Aplicável | How does Shazam work? Music Recognition Algorithms, Fingerprinting, and Processing | https://www.toptal.com/algorithms/shazam-it-music-processing-fingerprinting-and-recognition |
| Música | Lido - Aplicável | Understanding Audio Frequency Range in Audio Design | https://www.cuidevices.com/blog/understanding-audio-frequency-range-in-audio-design |
| Música | Lido - Aplicável | The Audio Frequency Spectrum Explained | https://www.headphonesty.com/2020/02/audio-frequency-spectrum-explained/ |

Fonte: elaborada pela autora (2021).