

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Música
Programa de Pós-Graduação em Música

Thiago Augusto Eugênio Guedes Reis

**Instrumentos musicais digitais e dispositivos para ampliação da prática musical de
pessoas surdas: desenvolvimento de protótipos para criação e performance**

Belo Horizonte
2024

Thiago Augusto Eugênio Guedes Reis

Instrumentos musicais digitais e dispositivos para ampliação da prática musical de pessoas surdas: desenvolvimento de protótipos para criação e performance

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Música - linha de pesquisa Sonologia.

Orientador: Sérgio Freire Garcia

Belo Horizonte
2024

Reis, Thiago Augusto Eugênio Guedes.

R375i Instrumentos musicais digitais e dispositivos para ampliação da prática musical de pessoas surdas [recurso eletrônico] : desenvolvimento de protótipos para criação de performance / Thiago Augusto Eugênio Guedes Reis. - 2024.

1 recurso online (54 f.: il. color.) : pdf.

Orientador: Sérgio Freire Garcia.

Linha de pesquisa: Sonologia.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Música.

Referências: f. 54-57.

1. Música - Teses. 2. Música e tecnologia. 2. Inclusão. 3. Surdos. 4. Educação musical. I. Garcia, Sérgio Freire. II. Universidade Federal de Minas Gerais. III. Título.

CDD 780.77

Biblioteca Professor Flausino Vale, Escola de Música da UFMG
Bibliotecária: Carolina Carvalho Andrade Pereira - CRB: 6/2831



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Dissertação defendida pelo aluno **Thiago Augusto Eugênio Guedes Reis**, em 05 de julho de 2024, e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Sérgio Freire Garcia

Universidade Federal de Minas Gerais

(orientador)

Prof. Dr. Guilherme Augusto Soares de Castro

Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof. Dr. Igor Ortega Rodrigues

Universidade Federal de Minas Gerais



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Freire Garcia, Professor do Magistério Superior**, em 12/07/2024, às 11:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Augusto Soares de Castro, Usuário Externo**, em 12/07/2024, às 11:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Igor Ortega Rodrigues, Professor do Magistério Superior**, em 27/07/2024, às 19:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3363485** e o código CRC **9766DAAF**.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, em particular à minha mãe, Geralda Maria Guedes, pela fagulha inicial e por me criarem com independência e autonomia. Um agradecimento especial ao meu primeiro professor, Manoel do Espírito Santo dos Reis, que tenho orgulho de chamar de pai, pela educação musical informal que sempre me proporcionou.

Às professoras Laysa Akeho, pela valiosa introdução à cultura surda, e Adriana Araújo Pereira Borges, que durante suas aulas em meu período de mestrado apresentou os conceitos do Desenho Universal (D.U.), fundamento essencial para pensar sobre a inclusão no desenvolvimento de projetos, e cuja contribuição foi fundamental para a realização deste trabalho. Aos professores Guilherme Augusto Castro, meu orientador da graduação, cujo apoio foi fundamental para estabelecer as bases deste estudo; e Sérgio Freire, pelo comprometimento e generosidade ao orientar-me neste processo de mestrado, compartilhando seu conhecimento e contribuindo significativamente para o meu desenvolvimento acadêmico. Aos membros da banca, pela boa vontade e disposição na leitura deste trabalho.

Ao meu tio Alexandre Guedes, minha tia Aparecida Guedes (Tia Cida) e Rafael Duarte Neves, grande amigo. Vocês me proporcionaram acesso a ferramentas de tecnologia e produção sonora, nutrindo minha paixão por me tornar um artesão do som.

Ao coletivo 'Todos Estão Surdos', especialmente a Flávio Maia e Ademar Alves Júnior, pela generosidade no compartilhamento de experiências e pelas valiosas trocas. À comunidade surda, pela acolhida e receptividade ao trabalho, minha profunda gratidão. Este projeto é por vocês e para vocês. As palavras não são suficientes para expressar minha gratidão.

À Yasmin Umbelino, pelo auxílio na revisão dos textos, apoio, companheirismo, paciência e por acreditar no processo.

Aos colegas Fábio Oliveira e Augusto Armondes, pela contribuição na construção e manutenção eletrônica dos recursos sonoros da pesquisa. À FAPEMIG, pelo apoio financeiro e confiança neste estudo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o sucesso deste trabalho, minha sincera gratidão.

"Suponho que o vôo da maioria das aves, pelo menos à distância, deve ser silencioso...No entanto ele aparenta ser audível, cada espécie criando sua própria 'música para os olhos', da melancolia indiferente das gaivotas ao rápido staccato dos pássaros."

(David Wright, 1990)

RESUMO

Esta dissertação propõe-se a investigar os fatores que influenciam a concepção de instrumentos musicais e dispositivos destinados a ampliar a participação ativa de indivíduos surdos na música. A pesquisa foi conduzida em duas etapas fundamentais. Na fase inicial, uma revisão bibliográfica interdisciplinar foi realizada, abrangendo as bases neurocientíficas da percepção musical em surdos e os princípios do Desenho Universal, com o intuito de compreender as necessidades e habilidades específicas dos usuários. Na fase subsequente, foram desenvolvidos protótipos de instrumentos musicais digitais, utilizando-se materiais reciclados, transdutores e softwares de código aberto, como *Pure Data* (PD) e *MobMuPlat*. Destacam-se um sintetizador com feedback tátil e visual, e uma bateria eletrônica em tablet. Adicionalmente, uma Plataforma de *Feedback* Tátil e refletores de LED sincronizados com sons percussivos foram concebidos. A prototipagem também foi estendida à adaptação e inclusão de hardwares comerciais. Em colaboração com o coletivo "Todos Estão Surdos", esses dispositivos foram submetidos a avaliações em oficinas e performances, revelando a predileção dos usuários por timbres graves e percussivos. Os resultados preliminares apontam que os recursos desenvolvidos neste estudo, combinando feedback tátil e visual, podem ser empregados de forma eficaz em dinâmicas musicais envolvendo surdos.

Palavras-chave: música e surdez; surdez e tecnologia musical; inclusão musical; Desenho Universal.

ABSTRACT

This dissertation aims to investigate the factors that influence the design of musical instruments and devices intended to enhance the active participation of deaf individuals in music. The research was conducted in two main stages. In the initial phase, an interdisciplinary literature review was carried out, encompassing the neuroscientific foundations of musical perception in deaf individuals and the principles of Universal Design, aiming to understand the specific needs and abilities of users. In the subsequent phase, prototypes of digital musical instruments were developed, using recycled materials, transducers, and open-source software such as *Pure Data* (PD) and *MobMuPlat*. Highlights include a synthesizer with tactile and visual feedback, and an electronic drum kit on a tablet. Additionally, a Tactile Feedback Platform and LED reflectors synchronized with percussive sounds were designed. Prototyping has also been extended to the adaptation and inclusion of commercial hardware. In collaboration with the collective "Todos Estão Surdos," these devices were subjected to evaluations in workshops and performances, revealing users' preference for low and percussive tones. Preliminary results suggest that the resources developed in this study, combining tactile and visual feedback, can be effectively employed in musical dynamics involving deaf individuals.

Keywords: music and deafness; deafness and music technology; musical inclusion; Universal Design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Music And The Deaf - Acervo de materiais didáticos para práticas musicais com surdos.....	16
Figura 2 - Características dos canais de mecanorrecepção presentes no tato.....	20
Figura 3 - Disposição dos canais de mecanorrecepção na pele.....	21
Figura 4 - Curvas Isofônicas de Fletcher e Munson.....	22
Figura 5 - Percepção vibrotátil - Verillo et al. (1969).....	22
Figura 6 - Alterações no cérebro surdo relevantes para a percepção musical.....	25
Figura 7 - Visão geral sobre tecnologia de música háptica desenvolvida entre 1992 e 2020.....	26
Imagem 1 - Estrutura da instalação Multisensorial The Sound Forest.....	27
Imagem 2 - A caixa Vibrátil.....	28
Figura 8 - Tessitura identificada pelos estudantes de música surdos durante os testes da caixa Vibrátil.....	28
Imagem 3 - Metrônomo Visual instalado para um prática musical.....	29
Figura 9 - Patch de desenvolvimento do sintetizador no Pd.....	33
Figura 10 - Interação da amplitude do som do sintetizador com a imagem gerada pelo objeto GEM.....	35
Figura 11 - Interação da frequência 65,4 Hz - Dó 1 com a imagem gerada pelo objeto GEM.....	36
Nota mais grave, arestas mais próximas, dando a sensação de uma figura mais "fechada".....	36
Figura 12 - Interação da frequência 130,8 Hz - Dó 2 com a imagem gerada pelo objeto GEM.....	36
Nota mais aguda, com arestas um pouco mais distantes, dando a sensação de uma imagem mais "aberta".....	36
Imagem 4 - Superfície de controle do sintetizador monofônico.....	37
Imagem 5 - Plataforma de feedback tátil.....	38
Imagem 6 - O segundo protótipo instalado em um tablet Android.....	40
Imagem 7 - Superfície de controle Maschine Mikro Mk3.....	41
Imagem 8 - Base e conexões de um dos refletores Tubo LED.....	42
Imagem 9 - Circuito eletrônico dos refletores Tubo LED.....	43
Imagem 10 - Prática de improvisação rítmica corporal - Frame retirado do vídeo: Sarau Todos Estão Surdos no Inhotim.....	45
Imagem 11 - Refletores Tubo Led com luz reativa aos sons da bateria.....	46
Imagem 12 - Superfície de controle Maschine Mikro Mk3 conectada ao computador e ao sistema de áudio.....	49
Imagem 13 - Prática musical coletiva.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
2.1 - Abordagens Musicais para e por Indivíduos Surdos.....	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1 - Percepção Musical de pessoas surdas por uma perspectiva biológica.....	19
3.2 - Plasticidade Compensatória no cérebro de pessoas surdas.....	23
3.3 -Tecnologias para ampliar a Experiência Musical de Surdos.....	26
3.4 - Desenho Universal D.U.....	30
4 DESENVOLVIMENTO DOS PROTÓTIPOS E SUA IMPLEMENTAÇÃO COM O USO DE SOFTWARES.....	32
4.1 - O 1º protótipo.....	32
4.2 - Plataforma de Feedback Tátil.....	37
4.3 - O 2º protótipo.....	39
4.4 - Equipamentos adicionais.....	40
5 ESTUDO DE CASO (PASSOS INICIAIS).....	44
5.1 - Primeiro Encontro.....	44
5.2 - Segundo Encontro.....	46
5.3 - Terceiro Encontro.....	48
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
7 PRÓXIMOS PASSOS E TRABALHOS FUTUROS.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A interação entre música e surdez constitui um campo instigante e ainda pouco explorado, com potencial de desafiar e expandir as fronteiras tradicionais da percepção musical. Nesse contexto, o estudo proposto busca investigar como tecnologias assistivas e práticas inclusivas podem transformar a experiência musical de indivíduos surdos. Motivada pela necessidade de desenvolver ferramentas que não apenas facilitem a acessibilidade, mas também promovam uma participação ativa e criativa de pessoas surdas na cadeia produtiva da música, esta pesquisa adota uma abordagem colaborativa e interdisciplinar.

A motivação íntima que impulsionou este estudo teve raízes em minha história pessoal. O contexto de crescer em uma classe social mais baixa despertou naturalmente em mim a vontade de batalhar de várias formas por espaços de integração e inclusão. Esta vivência direcionou minha dedicação a pensar e trabalhar a Música em ambientes onde a defesa dos direitos é essencial, redefinindo o meu papel como artista dentro da sociedade.

Em 2014, durante minha graduação em Licenciatura em Música na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, houve uma ampliação significativa dos meus conhecimentos sobre inclusão, especialmente através da disciplina de LIBRAS com a professora Laysa Akeho. Nesse período, compreendi o quanto o universo musical é fundamental para a cultura surda, o que despertou meu profundo interesse em investigar a relação entre a música e o corpo surdo, buscando formas de ampliar o acesso dessas pessoas à arte.

A primeira etapa do estudo envolveu uma revisão bibliográfica aprofundada, com o objetivo de compreender as bases neurocientíficas da percepção musical em indivíduos surdos, bem como os princípios do Desenho Universal – desenvolvidos por Mace et al. (1991) –, alinhados com as práticas de *design* inclusivo e as necessidades específicas da comunidade surda.

Com base nessa fundamentação teórica, foi concebido um projeto experimental. Utilizando materiais plásticos alternativos, teclado de computador reaproveitado, transdutores e softwares de código aberto, como *Pure Data* (PD) (PUCKETTE, 1996) e *MobMuPlat* (IGLESIA, 2013), foram desenvolvidos protótipos de instrumentos musicais digitais e recursos sonoros. O primeiro protótipo consistiu em um sintetizador que combina três camadas sonoras, permitindo uma experiência tátil e visual para o usuário. O segundo

protótipo foi uma bateria eletrônica instalável em *tablet*, proporcionando ao usuário uma interação intuitiva com sons percussivos sintetizados.

Outro destaque foi a criação de recursos para oferecer retorno sonoro tátil e visual. Nesse contexto, uma plataforma de *feedback* tátil foi projetada para transmitir vibrações sonoras às pontas dos pés dos usuários, juntamente com um conjunto de refletores de tubo de LED cuja luz é sincronizada com os sons emitidos pelo protótipo 2, a bateria eletrônica. Em ambos os dispositivos criados foram experimentadas, especialmente, as frequências baixas, onde a percepção tátil é mais acentuada.

Reconhecendo a amplitude da surdez, desde os níveis moderados até os mais profundos, conforme discutido por Clark (1981) e mostrado na Classificação Audiométrica de Deficiências Auditivas BIAP (1996), compreendemos que a experiência musical pode variar de acordo com o grau de surdez de cada indivíduo.

Nesta fase inicial, concentramo-nos em desenvolver dispositivos com base na literatura existente e em explorar sua implementação prática. Nosso objetivo principal foi compreender a interação de pessoas surdas com diferentes níveis de perda auditiva com essa proposta, além de desenvolver implementações nos dispositivos com base no feedback e na percepção individual de cada usuário.

Embora ainda não tenha sido realizado um estudo de caso formal, esta pesquisa contou com a colaboração do coletivo “Todos Estão Surdos”, um grupo artístico composto por poetas surdos que realizam performances de *Slam*¹. Essa parceria estabeleceu uma interseção significativa entre arte e acessibilidade. A interação com o grupo incluiu a apresentação dos recursos desenvolvidos e o convite para que esses recursos fossem utilizados em oficinas e performances, proporcionando valiosas percepções sobre as preferências sensoriais dos participantes.

Os resultados preliminares destacam a importância de adaptar os recursos musicais às características sensoriais específicas dos participantes surdos, revelando uma preferência por

¹ *Slam, poetry slam* ou batalha de rimas pode ser definido como uma competição de poesia falada, cujas origens podem ser traçadas até a periferia de Chicago (EUA) da década de 1980. Fonte: Educação e Território (<https://educacaoeterritorio.org.br/reportagens/publico-coletivo-e-a-margem-slam-ganha-forca-no-brasil/>) Acesso em: 09 jun. 2024.

timbres graves e percussivos. As práticas realizadas demonstraram que a adaptação de timbres, bem como o uso de recursos visuais e táteis, pode ampliar significativamente a acessibilidade musical e enriquecer a experiência de pessoas surdas. Todas as dinâmicas musicais que envolveram a utilização dos dispositivos desenvolvidos por este estudo, em eventos com o coletivo “Todos Estão Surdos”, foram documentadas por meio de material audiovisual e compartilhadas na página de Instagram do grupo, @todosestaosurdosbh.

Observando o percurso da pesquisa realizado até o presente momento, podemos sistematizar um caminho metodológico a posteriori, fruto da mistura de procedimentos emprestados de diferentes áreas. Como em qualquer iniciativa de pesquisa, a revisão bibliográfica em busca de um referencial teórico e do conhecimento de pesquisas relacionadas é tanto o ponto de partida quanto o foco de atenção permanente de todas as atividades. Em relação ao desenvolvimento dos protótipos, usamos não apenas os princípios do design universal, mas também ferramentas das áreas de interação pessoa-computador e de desenvolvimento de interfaces: "Nessas áreas é comum o uso de um design iterativo, que circula entre estágios de implementação, avaliação e modificação, até se alcançar um resultado satisfatório." (Freire et al., 2021, pg. 22) A parte prática não foi concebida como um experimento buscando testar hipóteses pré-estabelecidas, e teve um caráter misto de etnografia e pesquisa-ação, já que fomos convidados a participar das atividades do grupo e a trabalhar em situações concretas de apresentações públicas.

A estrutura da dissertação reflete as considerações e argumentos apresentados acima: uma contextualização do tema, o referencial teórico utilizado na pesquisa, o desenvolvimento dos protótipos, sua utilização prática, uma discussão dos resultados preliminares, além dos próximos passos sugeridos pelo presente trabalho.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A música, com sua capacidade de transcender barreiras culturais e sociais, é uma forma de expressão profundamente enraizada na experiência humana. Ela tem o poder de evocar emoções, criar conexões e proporcionar uma riqueza de experiências sensoriais. Quando associada à tecnologia, essa combinação pode desbloquear novas possibilidades de apreciação, criação e performance, abrindo novas perspectivas para a experiência humana.

No entanto, à medida que a tecnologia musical evolui, é crucial questionar: a quem ela serve e quem está excluído?

ouvir e fazer música é uma possibilidade humana que traz alegria pessoal, enriquecimento do mundo interior e uma nova forma de comunicação. No entanto, isso tem sido um privilégio dos ouvintes...(CERVellini, 1986, p.14).

Nesse sentido, é fundamental compreender que surdos não estão desconectados da música, embora equívocos sejam por vezes perpetuados pelo senso comum. Estas pessoas estão envolvidas com esta arte e anseiam fazê-lo de diversas maneiras, seja através da apreciação, criação ou performance.

Espero que o público seja estimulado pelo que tenho a dizer (através da linguagem da música) e, portanto, saia da sala de concertos entretido. Se o público estiver apenas se perguntando como um músico surdo consegue tocar percussão, então eu falhei como musicista. Por esta razão a minha surdez não é mencionada em nenhuma das informações fornecidas pelo meu gabinete à imprensa ou aos promotores de concertos. Infelizmente, minha surdez rende boas manchetes. (GLENNIE, 2015 -tradução nossa)

Os relatos da percussionista Evelyn Glennie em seu texto "Hearing Essay" (2015) também ressaltam as estratégias que lhe permitiram manter um contato contínuo com a música mesmo após perder a audição. Ao descrever como dedicou longos períodos para aprimorar sua habilidade em compreender o som dos instrumentos musicais pelo tato, ela destaca a importância da adaptação no processo de ensino. A técnica de apoiar as mãos na parede e associar as sensações das vibrações em diferentes partes do corpo ilustra as possibilidades de desenvolver novas formas de interação e apreciação sonora.

Passei muito tempo na minha juventude (com a ajuda do professor de percussão da escola, Ron Forbes), refinando minha capacidade de detectar vibrações. Eu ficava com as mãos apoiadas na parede da sala de aula enquanto Ron tocava notas nos

tímpanos (os tímpanos produzem muitas vibrações). Por fim, consegui distinguir o tom aproximado das notas, associando o local do meu corpo em que sentia o som com a sensação de tom perfeito que tinha antes de perder a audição. Os sons graves que sinto principalmente nas pernas e pés e os sons agudos podem estar em locais específicos do meu rosto, pescoço e peito. (GLENNIE, 2015 - tradução nossa)

Considerações semelhantes embasaram o estudo anterior, intitulado "Considerações na Criação e Produção de Música Instrumental para Pessoas Surdas: um relato de experiência composicional" (Reis e Castro, 2018). Nessa pesquisa, a revisão bibliográfica abordou importantes dados sobre a cultura surda, desempenhando um papel essencial na composição e produção de uma peça instrumental adaptada para a apreciação dessas pessoas utilizando o sentido do tato. Contudo, ao buscar dar voz a essa comunidade, tornou-se imprescindível explorar novas propostas e estudos nos quais as próprias pessoas surdas desempenham um papel central.

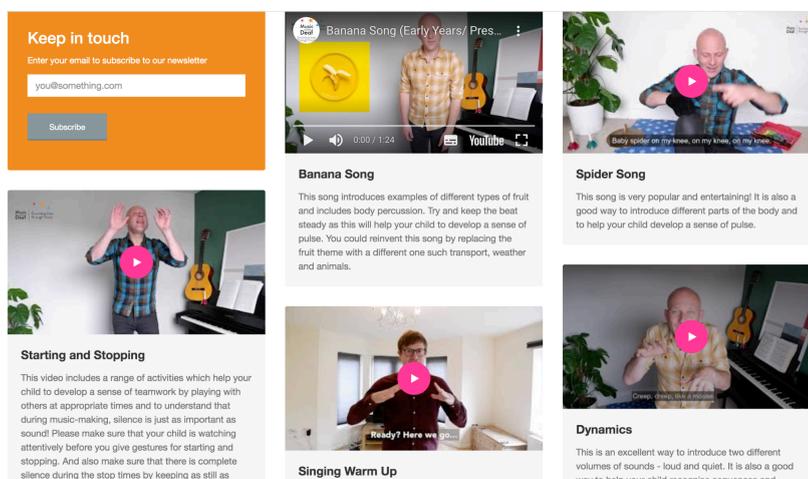
Explorar mais a fundo essas questões não apenas enriqueceu consideravelmente a compreensão das práticas musicais com surdos, mas também destacou as demandas particulares que estas pessoas requerem para estabelecer um contato mais participativo com a música.

2.1 - Abordagens Musicais para e por Indivíduos Surdos

No âmbito das práticas musicais inclusivas, se destaca o projeto *Music and the Deaf*, uma instituição de caridade localizada no Reino Unido e liderada por Danny Laine, um pianista com perda auditiva profunda. Este projeto se diferencia por sua abordagem abrangente, incluindo seminários, educação especializada e a produção de concertos com artistas surdos.

No site da instituição, é possível ter contato com vários materiais didáticos para a educação musical de surdos, explorando elementos tradicionais da música como dinâmica, ritmo e melodia. A página de recursos oferece uma ampla gama de vídeos interativos de educação musical apresentados por músicos e educadores surdos, abrangendo desde crianças até jovens de 18 anos. É importante destacar que esses recursos não são exclusivos para o público surdo; qualquer pessoa interessada em criar música em casa pode utilizá-los. Os vídeos incorporam instrumentos musicais tradicionais, *iPads* e objetos domésticos, proporcionando uma experiência inclusiva e lúdica para todos os participantes.

Figura 1 - Music And The Deaf - Acervo de materiais didáticos para práticas musicais com surdos



Fonte: Site *Music and the Deaf*: <https://www.matd.org.uk/resources/home.php>

Além disso, a instituição compartilha uma compilação de músicas criadas pela compositora Holly Marland em colaboração com crianças surdas, fornecendo recursos para o ensino musical da comunidade, através do canto e da Língua de Sinais Britânica.

No cenário musical brasileiro, destaca-se o grupo Ab'Surdos, conforme analisado no estudo de Pereira e Silva (2014) intitulado "Performance da Banda Ab'Surdos: desafios e possibilidades". Idealizado pela professora de música surda Sarita Araújo, este conjunto musical teve sua origem em um programa de ensino flexível e adaptado, implementado no Conservatório Estadual de Música Cora Pavan Capparelli, na cidade de Uberlândia, Minas Gerais.

A banda com seu caráter inclusivo é composta por onze alunos surdos e quatro ouvintes que tocam percussão e harmonia e é formada basicamente por adolescentes, alguns adultos surdos ou deficientes auditivos. Quanto às cantoras, a banda também se diferencia, pois consta com duas: uma ouvinte e outra surda que interpreta as letras das músicas por meio da Libras. Além dos alunos, a equipe da banda conta com dois intérpretes em Libras e três professores."

Para os alunos surdos, no primeiro contato com os instrumentos, já são trabalhados diversos aspectos relacionados ao fazer musical. Inicialmente na prática de conjunto, o professor de percussão deixa os alunos à vontade para explorarem os instrumentos de forma "lúdica"; em seguida, ensina alguns padrões rítmicos pelo processo de imitação, depois de reforçar bem o treino, mostra como se dá a escrita na partitura. Além da prática musical especificamente, são trabalhados conteúdos de notação musical. Normalmente, as aulas teóricas são realizadas separadamente das aulas práticas. (PEREIRA e SILVA, 2014, p. 5 e 6)

Além de proporcionar uma entrega musical, as autoras destacam outros objetivos buscados pelo grupo por meio da performance, enfatizando a importância de seus alunos desenvolverem maior autonomia criativa e crítica por meio da música.

A excelência na performance é possível e deve ser buscada, todavia a banda Ab' Surdos não deve visar apenas o produto musical, deve possibilitar novas significações e experiências. Precisam ser trabalhadas a criatividade, a crítica e a reflexão para que os surdos construam seus próprios significados, estabeleçam suas próprias conexões. Não há por que resumir a prática de conjunto a uma atividade de imitação sem sentido e sem significações para seus integrantes. (PEREIRA e SILVA, 2014, p. 8)

Finck (2009, p. 187) propõe bases fundamentais para professores lecionarem música para surdos. Ela sugere uma série de adaptações que enriquecem o ensino e o envolvimento do aluno com o aprendizado da arte, considerando aspectos sociais, sensoriais e culturais. Nesse contexto, estratégias de ensino, materiais e conteúdos são adaptados para oferecer uma representação multimodal do som, ampliando sua percepção pelo tato e pelo campo visual, além de propor práticas em um espaço físico apropriado com a presença de intérpretes de LIBRAS.

A pesquisadora recomenda o uso de caixas de amplificação ou ressonância de instrumentos, bem como a interação com a tecnologia através do computador e de softwares específicos para a educação musical de pessoas surdas. Seus relatos sobre atividades pedagógicas com alunos surdos ajudam a compreender o desenvolvimento e a aplicação dessas estratégias.

Um dos primeiros conceitos trabalhados com o grupo foi a presença e a ausência do som. Para esta atividade foi muito importante a utilização dos recursos pedagógicos, entre eles o estrado de madeira e a utilização dos fones. O recurso do Laptop, como já descrito anteriormente, reproduzia pela tela do computador, o movimento da onda sonora através da 'pulsção visual'. Os alunos surdos conseguiram diferenciar som e silêncio e aprenderam a fazer a utilização de alguns termos musicais utilizados para se referir a eles. Na transcrição abaixo procurou-se através da utilização de cartelas com representações gráficas verificar se este entendimento ocorreu efetivamente e como estes conceitos foram assimilados pelos alunos: R - O que nós fazíamos aqui? B - Nós batíamos o tambor. R - Era o pulso da música? B - Ah! Sim, era isto! R - E aqui, por exemplo, como a gente executava? B - É uma batida e zero, porque naquela não tem som. R - Isso! Era o pulso do silêncio! E como se toca isso? B - Um tem som e outro não tem som. (Aluna surda Bia em 18/11/2008). (FINCK, 2009, p. 188 - 189)

Partindo dessas reflexões, destaca-se a importância da flexibilidade e adaptabilidade como um dos fundamentos para proporcionar uma experiência musical mais inclusiva. Nesse contexto,

a pesquisa busca responder a seguinte questão: Quais fatores devem ser considerados para a criação de instrumentos musicais e dispositivos que ampliem a participação ativa de surdos na música? Para atingir esse objetivo, conduz-se uma revisão bibliográfica interdisciplinar sobre os princípios que orientam a percepção musical destas pessoas, com ênfase na perspectiva biológica. Em paralelo, busca-se compreender os processos de desenvolvimento de estratégias inclusivas, fundamentados no conceito do Desenho Universal de Ron Mace. Adicionalmente, implementa-se o uso de softwares de código aberto e materiais alternativos na construção de protótipos de instrumentos musicais digitais e recursos para a representação do som, explorando outras formas sensoriais como meio eficaz de superar as limitações do sistema auditivo.

Essas contribuições buscam não apenas abordar essa questão específica, mas também estimular a exploração de novas linguagens estéticas e fomentar o desenvolvimento de uma cadeia produtiva musical sensível e inclusiva às particularidades da cultura surda. Nesse contexto, vale ressaltar a pertinência de outra citação de Cervellini:

O sujeito surdo deve ter todas as chances de uma vivência musical ampla que garanta o desenvolvimento de sua sensibilidade musical, lhe possibilite expressar sua musicalidade, lhe dê condições de descobrir, explorar e se apossar dos elementos musicais como recursos para citar e resgatar a prática natural e fazer a própria música (CERVellini, 2003, p.85- 86)

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os fundamentos neurocientíficos que revelam como o som se manifesta no corpo surdo, destacando a capacidade das pessoas surdas de perceber eventos sonoros através do tato e da visão. Investigamos como esses princípios podem ser aplicados em contextos musicais, utilizando relatos da musicista surda Evelyn Glennie que ilustram o desenvolvimento de técnicas de interação tátil com o som. Também examinamos estudos que ampliam a compreensão do tato, identificando sua faixa de frequências de maior sensibilidade e destacando suas similaridades com o sistema auditivo. Abordamos o fenômeno da Plasticidade Compensatória, que refere-se à capacidade do cérebro de reorganizar suas funções neurais para compensar a indisponibilidade do sistema auditivo, permitindo que pessoas surdas utilizem outros sentidos para perceber os eventos sonoros do ambiente.

Além disso, discutimos as tecnologias desenvolvidas recentemente para facilitar o contato desta comunidade com a música, abordando questões de portabilidade e acessibilidade, analisando os princípios do *design* inclusivo pautados pelo conceito do Desenho Universal (D.U.).

3.1 - Percepção Musical de pessoas surdas por uma perspectiva biológica

O som, considerado uma das principais matérias-primas da música, está amplamente presente em quase todas as situações cotidianas do ser humano e, contrariando um equívoco comum, que o restringe à percepção auditiva, ele revela-se igualmente sensível ao tato. De acordo com Glennie (2015), o som é uma forma de vibração no ar, que é captada pelo ouvido e convertida em sinais elétricos. Estes sinais, por sua vez, são interpretados pelo cérebro, permitindo-nos perceber e compreender os eventos presentes no ambiente. Essa interação sensorial desempenha um papel significativo não apenas na música, mas também na nossa compreensão do mundo e na maneira como nos conectamos com ele.

Se você está de pé na estrada e um grande caminhão passa, você ouve ou sente a vibração? A resposta é ambas. Com vibrações de frequência muito baixa, o ouvido começa a se tornar ineficiente e o restante do corpo passa a assumir o controle. Por alguma razão, tendemos a fazer uma distinção entre ouvir um som e sentir uma vibração, mas na realidade são a mesma coisa [...] Surdez não significa que você não pode ouvir, apenas que há algo atípico com os ouvidos. Mesmo alguém que é totalmente surdo ainda pode ouvir/sentir sons (GLENNIE, 2015 - tradução nossa).

Durante a 87ª Assembleia Científica e Encontro Anual da Sociedade de Radiologia da América do Norte, ocorrida em novembro de 2001, o neurologista Dean Shibata apresentou uma pesquisa que respalda essa perspectiva. Seus estudos revelaram que pessoas surdas sentem vibrações no córtex auditivo, parte do cérebro responsável pelo processamento dos sons. Com base nessas descobertas, Shibata concluiu que a sensação destas vibrações se assemelham à experiência de ouvir através do sistema auditivo.

As descobertas sugerem que a experiência que os surdos têm quando sentem a música é similar à experiência de ouvir para outras pessoas sem essa condição. A percepção das vibrações musicais pelos surdos é tão real quanto seu equivalente sonoro por serem ambos processados na mesma região do cérebro. A informação relativa à vibração tem essencialmente as mesmas características que as informações sonoras, portanto, para os surdos, uma modalidade pode substituir a outra na mesma região cerebral. É a natureza da informação, e não sua modalidade, que parece ser importante para o cérebro em desenvolvimento. (SHIBATA, 2001 - tradução nossa.)

Examinar estes dados nos motivou a aprofundar ainda mais em pesquisas sobre o sentido do tato. Muitos estudos que abordam a temática Música e Surdez apontam que o limite superior de frequências sonoras perceptíveis por este canal sensorial se limita à faixa de 1kHz. Entretanto, para compreender como a pele é capaz de captar as vibrações do som e utilizar esse conhecimento em contextos musicais, uma análise mais detalhada se faz necessária. É fundamental levar em consideração algumas características específicas dos canais de recepção sensorial presentes na pele, em especial os mecanorreceptores como os corpúsculos de Pacini (P) e os corpúsculos não Pacinianos (NP), que desempenham um papel importante na detecção de pressão e de outros estímulos mecânicos associados à vibração.

A figura abaixo apresenta a resposta específica de cada um desses canais a uma faixa de frequências determinada, enfatizando a complexidade do sistema sensorial tátil e a importância de considerá-lo de forma abrangente para uma compreensão mais completa da percepção musical em pessoas surdas.

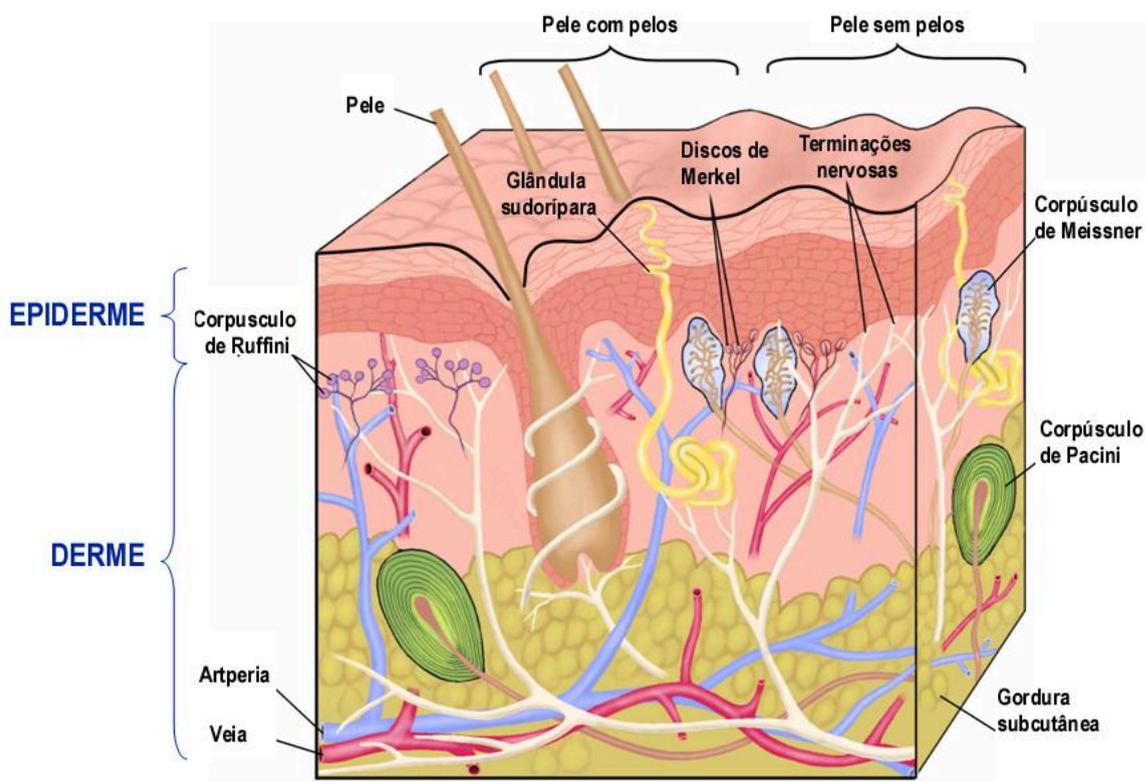
Figura 2 - Características dos canais de mecanorrecepção presentes no tato

Psychophysically defined channel:	P	NPI	NPII	NPIII
Full name:	Pacinian	Non-Pacinian I	Non-Pacinian II	Non-Pacinian III
Physiological type:	FAII	FAI	SAII	SAI
Fiber innervation density (fingertip, per cm ²):	21	140	49	70
Subjective sensation:	"vibration"	"flutter"	(unknown)	"pressure"
Frequency range:	40–500Hz	2–40Hz	100–500Hz	0.4–3.0Hz
Prime sensitivity range: ¹	250–300Hz	25–40Hz	150–400Hz	0.4–1.0Hz
Shape of frequency response function:	U-shape	Flat ²	U-shape	Flat

Fonte: A Systematic Approach To Musical Vibrotactile Feedback, BIRNBAUM e WANDERLEY - pág. 401.

Os canais de mecanorrecepção apresentados no quadro da figura 2 correspondem a: *Pacinian* (*P*) - Corpúsculo de Pacini; *Non Pacinian I* (*NPI*) - Corpúsculo de Meissner; *Non Pacinian II* (*NPII*) - Corpúsculo de Ruffini; *Non Pacinian III* (*NPIII*) - Discos de Merkel (KRUGER et al., 1996, p. 35).

Figura 3 - Disposição dos canais de mecanorrecepção na pele.



Fonte: Site *UNESP*. Museu do Homem Nervoso:

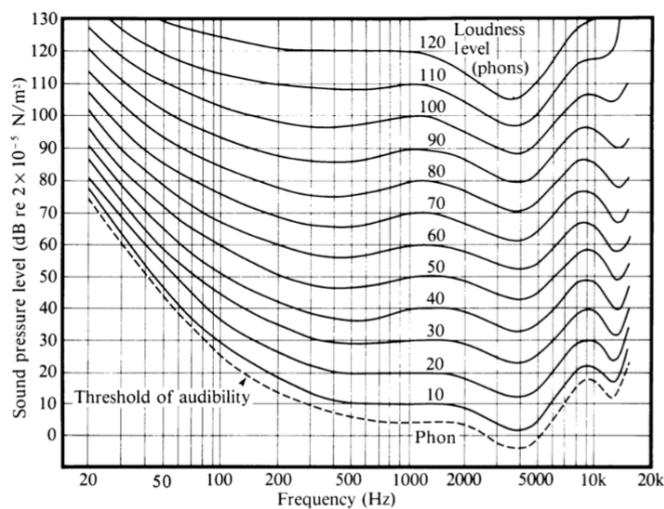
https://www2.ibb.unesp.br/nadi/Museu2_qualidade/Museu2_como_funciona/Museu_homem_nervoso/Museu2_homem_nervoso_somestesia/Museu2_homem_nervoso_pele.htm

Os corpúsculos de Pacini exibem uma faixa de sensibilidade de frequência que abrange de 40 a 500 Hz, com um pico de sensibilidade atingido em torno de 250 Hz. Essa faixa específica pode ser direcionada para explorar questões relacionadas ao "Pitch" vibrotátil, fato considerado no desenvolvimento dos protótipos, podendo oferecer uma experiência mais significativa em relação à percepção da melodia através do tato. Por outro lado, na faixa de 20 a 40 Hz, o limiar de percepção da vibração permanece independente da frequência, o que sugere que essa faixa pode ser mais adequada para abordar elementos relacionados ao ritmo.

Com base nestes dados, há a sugestão de que o tato apresenta um comportamento semelhante

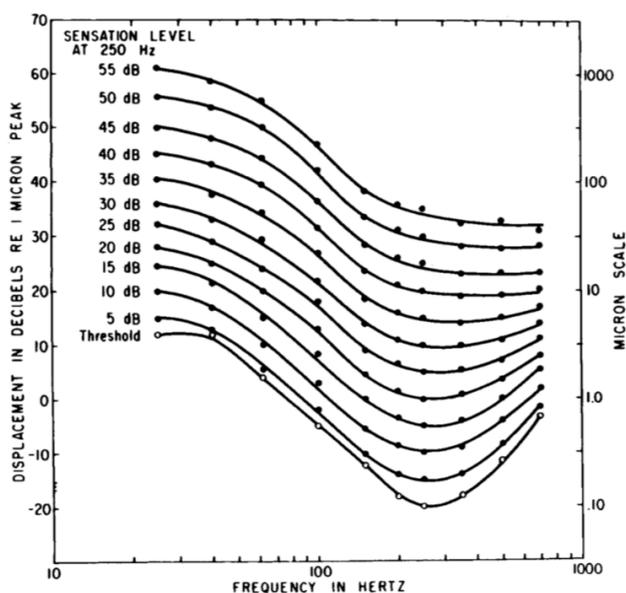
ao da audição, especialmente no que diz respeito à não linearidade na percepção de frequências. Essa semelhança é evidenciada ao compararmos a Figura 4, que representa as curvas isofônicas de Fletcher e Munson do sistema auditivo, com a Figura 5, que apresenta um gráfico da sensação vibrotátil através da pele da mão, conforme estudado por Verillo *et al.* (1969).

Figura 4 - Curvas Isofônicas de Fletcher e Munson



Fonte: The Science of Sound (2002) - pág 107

Figura 5 - Percepção vibrotátil - Verillo et al. (1969)



Fonte: Pain and Touch - Handbook Of Perception And Cognition (1996) - pág 48

Ainda dentro do contexto das similaridades entre o tato e a audição, cabe ressaltar que além da detecção dos estímulos, os mecanorreceptores também são responsáveis por transmitir as informações sensoriais ao sistema nervoso e há indícios de que eles têm uma função biomecânica semelhante às células ciliadas da cóclea.

Os receptores vibrotáteis da pele são biomecanicamente semelhantes às células ciliadas da cóclea. No entanto, os receptores na pele não processam a mesma faixa de frequências que as células ciliadas da cóclea; em vez disso, diferentes classes de receptores respondem a diferentes faixas de frequência.

(REED, RUSSO e GOOD, 2014 p.566 - tradução nossa)

Tendo como motivação essas possibilidades, cursar a disciplina "Tópicos em Música - A Neurociência do Movimento aplicada à Performance Musical", ofertada no PPGMUS -UFMG², foi um caminho para a construção de conexões significativas entre os dados apresentados até o momento com o fenômeno da Plasticidade Compensatória no cérebro de pessoas surdas.

3.2 - Plasticidade Compensatória no cérebro de pessoas surdas

A plasticidade compensatória é um fenômeno que se refere à capacidade que o sistema nervoso central tem de se reorganizar diante da ausência de uma modalidade sensorial específica e, neste contexto, a otimização do processamento de outras modalidades sensoriais acontece como forma de compensação.

No caso da surdez, quando ocorre a perda da audição, as áreas cerebrais responsáveis pelo processamento auditivo podem se reorganizar para processar informações visuais ou táteis. Essa reorganização acaba possibilitando que pessoas surdas se utilizem de outros sentidos, como a visão ou o tato, para compensar a ausência (total ou parcial) da audição e terem uma percepção dos eventos sonoros que acontecem no ambiente.

²Disciplina ofertada no Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal de Minas Gerais e ministrada pelo Professor Guilherme Lages, a qual explorou questões fundamentais relacionadas à Neurociência do Movimento aplicada à Performance Musical, bem como introduziu os fundamentos sobre Plasticidade Compensatória.

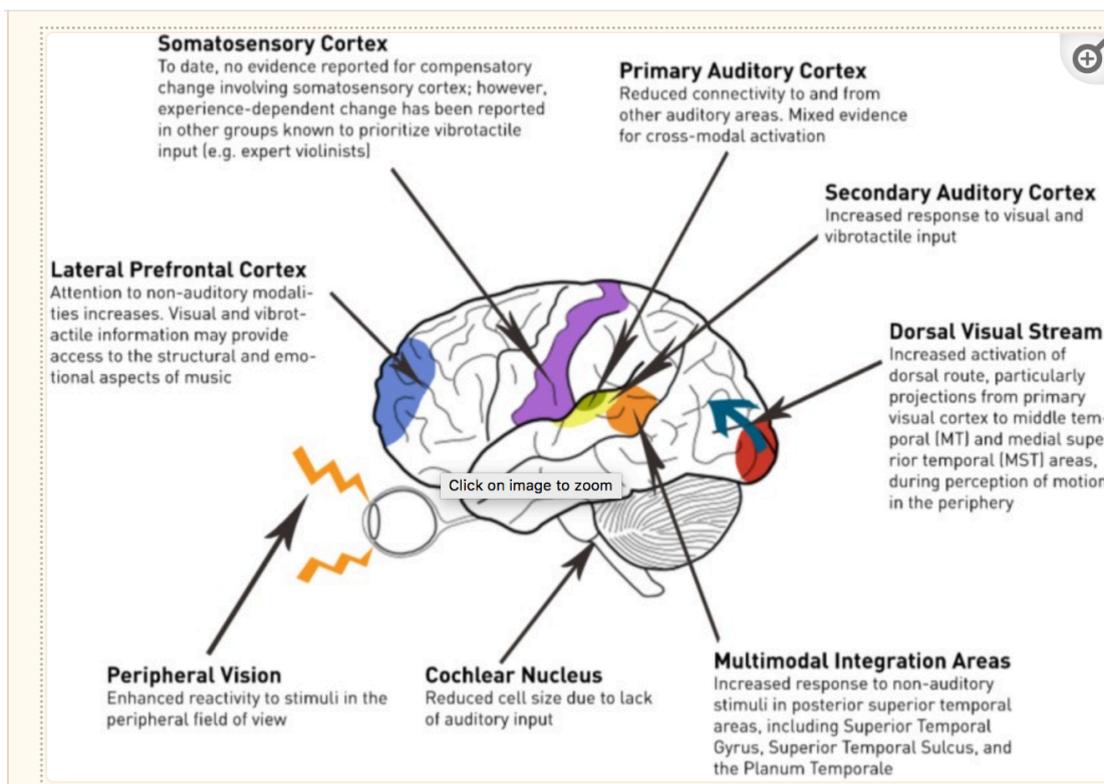
Loke e Song (1991) analisaram respostas de alunos ouvintes e não ouvintes a partir de estímulos apresentados em seus campos visuais centrais e periféricos. Os resultados deste experimento apontaram que, na condição de campo visual central, não houve diferenças significativas no tempo de reação dos grupos. No entanto, na condição de campo visual periférico, os alunos não ouvintes apresentaram tempos de reação mais rápidos do que os alunos ouvintes, sugerindo que deficientes auditivos podem desenvolver uma visão periférica mais alerta.

Neste ponto, há um paralelo com um relato do poeta surdo David Wright, já utilizado como epígrafe deste texto, que fala sobre como ele ‘ouve’ objetos, ou melhor, movimentos que, muitas vezes, pessoas ouvintes tomam como silenciosos:

Suponho que o vôo da maioria das aves, pelo menos à distância, deve ser silencioso...No entanto ele aparenta ser audível, cada espécie criando sua própria 'música para os olhos', da melancolia indiferente das gaivotas ao rápido staccato dos pássaros. Wright 1990:12, (*apud* INGOLD, 2008, p.29)

A partir do experimento supracitado e do relato de Wright, há a sugestão de que a experiência visual de pessoas surdas fica mais alerta e aprimorada em relação a pessoas ouvintes colocadas em situações semelhantes. Este desenvolvimento acontece por meio das modificações promovidas no cérebro do indivíduo surdo, decorrentes da privação auditiva.

Figura 6 - Alterações no cérebro surdo relevantes para a percepção musical



Fonte: Compensatory Plasticity in the Deaf Brain: Effects on Perception of Music

Conforme mostrado na Figura 6, abaixo destacam-se as alterações no cérebro da pessoa surda que podem ser relevantes para promover uma experiência sensorial significativa com a música.

- A visão tem a reatividade aumentada a estímulos no campo periférico;
- No Córtex Pré-Frontal Lateral, a atenção às modalidades não auditivas aumenta e informações visuais e vibrotáteis podem fornecer acesso aos aspectos estruturais e emocionais da música;
- O Córtex Auditivo Secundário tem resposta aumentada para a entrada visual e vibrotátil, já o Córtex Auditivo Primário tem conectividade reduzida de e para outras áreas auditivas, porém possui evidência mista para ativação cross-modal.

3.3 -Tecnologias para ampliar a Experiência Musical de Surdos

O estudo "*Audio-Tactile Rendering: A Review on Technology and Methods to Convey Musical Information through the Sense of Touch*" (2021) oferece uma visão abrangente sobre dispositivos desenvolvidos entre 1992 e 2020, destinados a promover a interação de pessoas surdas com a música. Essa análise fornece um panorama sobre os diferentes mecanismos de contato, atuadores, estímulos e características musicais exploráveis por esses dispositivos.

Entretanto, ao analisar a seção "*Features Explored*" do mesmo estudo, conforme evidenciado na figura 6, destaca-se a carência de propostas que investiguem a sensação de "*Pitch*" em conjunto com outros elementos musicais. Isso revela uma lacuna para a presente pesquisa, apresentando uma oportunidade valiosa para explorar essa combinação na experiência musical de pessoas surdas.

Figura 7 - Visão geral sobre tecnologia de música háptica desenvolvida entre 1992 e 2020

Sensors 2021, 21, 6575

8 of 23

Table 2. Overview of research on haptic music player installations (HMP-Is).

HMP-I	Year	Contact Mechanism	Type of Actuator	Stimuli	Features Explored
SOMATRON [52]	1992	Mattress	Speaker, Subwoofer	Vibrotactile, Auditory	Pitch
Vibratory Music (Patent) [45]	2002	Chair	N/A ¹	N/A	N/A
Audiotactile Simultaneity [26]	2004	Chair	N/A	Vibrotactile, Auditory	ATFS ²
Symbolic Haptic Rendering [50]	2005	Knob	N/A	Vibrotactile	Tempo, energy
Model Human Cochlea (Design) [14]	2009	Chair	Voice coil	Vibrotactile, Auditory	FM ³ , TM ⁴ , VMLE ⁵
Multimodal reproduction [30]	2009	Seat	Voice coil	Vibrotactile, Auditory	VMLE, BRTF
Music Display and Haptic Chair [31]	2009	Chair	Speaker	Vibrotactile, Auditory	VMLE
Model Human Cochlea [53]	2009	Chair	Voice coil	Vibrotactile, Auditory	FM, TM, VMLE
Emoti Chair [54]	2010	Chair	Voice coil	Vibrotactile	FM, TM, VMLE
Whole Body Vibration [48]	2010	Chair	Voice coil	Vibrotactile, Auditory	ATFM ⁶ , BRTF
Auditory-Tactile Music [29]	2013	Chair	Voice coil	Vibrotactile, Auditory, Visual	BRTF, VMLE
Haptic Display [55]	2013	Chair	Speaker	Vibrotactile, Auditory, Visual	VMLE
Tactile Musical Device [32]	2015	Chair	Voice coil, Subwoofer	Vibrotactile	Loudness, Pitch, Rhythm, Timbre, VMLE
Skin Music [33]	2015	Chair	Voice coil	Vibrotactile, Auditory	VMLE
Musical Notes to the Skin [51]	2016	Button, platform	Voice Coil	Vibrotactile, Auditory, Visual	Pitch
Feeling the Beat [47]	2017	Platform	Voice coil	Vibrotactile, Auditory	Rhythm, Tempo, Beat Synchronization
Auditory-Tactile Experience of Music [25]	2018	Chair	Voice coil	Vibrotactile, Auditory	ATFS, BRTF, VMLE
Music with Vibrations [56]	2019	Chair	Voice coil	Vibrotactile, Auditory	F-EQ ⁷ , VMLE
Vibrotactile Consonance [57]	2019	Chair	Voice coil	Vibrotactile	MC ⁸
Haptic Music [49]	2020	Platform	Voice coil	Vibrotactile, Auditory, Visual	BRTF, Frequency, VMC ⁹ , VMLE

¹ Not applicable. ² Audio-tactile frequency synchronism. ³ Frequency model: spatialization of frequencies. ⁴ Track model: spatialization of tracks. ⁵ Vibrotactile music with/without listening experience: explores overall perception of vibrotactile music, with or without music listening. ⁶ Audio-tactile frequency matching. ⁷ Frequency equalization: signal processing to control intensity of particular frequencies. ⁸ Melodic consonance. ⁹ Vibrotactile music composition.

Além disso, é relevante notar que algumas propostas enfrentam desafios de acessibilidade, especialmente em termos de portabilidade e mobilidade, como demonstrado na instalação multissensorial apresentada em *Haptic Music - Exploring Whole-Body Vibrations and Tactile Sound for a Multisensory Music Installation* (2020). Embora essa instalação ofereça uma experiência musical multissensorial, sua implementação pode envolver requisitos logísticos desafiadores, limitando sua aplicação em diversos contextos.

Imagem 1 - Estrutura da instalação Multisensorial The Sound Forest



Fonte: '*Haptic Music - Exploring Whole-Body Vibrations and Tactile Sound for a Multisensory Music Installation*' (2020)

Em *A Utilização de Tecnologia para Ampliar a Experiência Sonora/Vibratória de Surdos* (PEREIRA, 2016), a questão da portabilidade é incorporada no desenvolvimento de um sistema vibrotátil de baixo custo. O dispositivo, denominado *Vibrátil*, consiste em uma caixa amplificada que permite a pessoa surda obter retorno sonoro das vibrações geradas, colocando os pés sobre sua estrutura. Em experimentos conduzidos com alunos de música surdos do CEMCPC³, o equipamento viabilizou a diferenciação de notas musicais em uma tessitura que abrange do Dó1 ao Dó 6, considerando o padrão de afinação 440Hz.

³ Conservatório Estadual de Música Cora Pavan Capparelli - Localizado em Uberlândia, Minas Gerais.

Imagem 2 - A caixa *Vibrátil*



Fonte: A utilização de tecnologia para ampliar a experiência sonora/vibratória de surdos
PEREIRA, 2016, pág. 97

Figura 8 - Tessitura identificada pelos estudantes de música surdos durante os testes da caixa *Vibrátil*

Alunos Surdos	Tessitura/ timbre
S1	<i>Strings</i> (DO1 a DO4) / <i>Organ</i> (DO1 a MI4)
S2	<i>Organ</i> (DO1 a DO4)
S3	<i>Organ</i> : Sem prótese auditiva (DO1 a DO4) / Com prótese auditiva (DO1 a FA4)
S4	<i>Strings</i> : Com prótese auditiva (DO1 a DO6) / Sem prótese auditiva (DO1 a FA5)

Fonte: A utilização de tecnologia para ampliar a experiência sonora/vibratória de surdos, PEREIRA, 2016, pág. 92

Outra solução acessível é o software "CromoTMusic", desenvolvido por Ortega (2015), com foco especialmente direcionado a musicoterapeutas e profissionais que trabalham com surdos. Utilizando o protocolo MIDI (Musical Instrument Digital Interface), o software tem a capacidade de traduzir de forma visual a música executada por um instrumentista em um teclado conectado ao computador onde o software está instalado. Ele incorpora as propriedades do som, como timbre, altura, intensidade e duração, criando uma correlação entre as notas musicais e cores específicas, oferecendo uma experiência sinestésica da música para os usuários surdos.

Além disso, destaca-se o Metrônomo Visual, um recurso desenvolvido pelo músico e

educador Irton Silva, mais conhecido como Batman. Esse dispositivo consiste em um sequenciador rítmico equipado com quatro lâmpadas, que oferecem uma representação visual das frases rítmicas. Irton utiliza o Metrônomo Visual em práticas musicais com o grupo Batuqueiros do Silêncio, dedicando-se ao ensino da música para jovens surdos de Pernambuco. Com ênfase na performance em tambores e na exploração de ritmos tradicionais da música brasileira, como Maracatu de baque-virado, ciranda, frevo e samba, essa ferramenta não só facilita o aprendizado musical, mas também estimula a inclusão e a expressão criativa dos participantes.

Imagem 3 - Metrônomo Visual instalado para um prática musical



Fonte: Os “Batuqueiros do Silêncio”: possibilidade de inovação pedagógica em ambiente não formal de aprendizagem com surdos, LACERDA, 2017, pág. 65

Os três últimos exemplos apresentados neste capítulo destacam-se como modelos inspiradores para a concepção de dispositivos que aliam portabilidade e acessibilidade, proporcionando tanto feedback tátil quanto visual de elementos musicais.

Nesse contexto, o conceito do Desenho Universal (D.U.) se mostra uma abordagem fundamental para orientar e impulsionar o processo criativo na elaboração dos recursos propostos nesta pesquisa.

3.4 - Desenho Universal D.U.

O conceito D.U. - Desenho Universal surgiu em meados da década de 1980 como resultado das reivindicações de dois segmentos sociais. O primeiro grupo é composto por pessoas com deficiência que não sentiam contempladas as suas necessidades nos espaços projetados e construídos. Já o segundo é formado por arquitetos, engenheiros, urbanistas e designers que buscavam uma maior democratização do uso dos espaços e tinham uma visão mais abrangente no desenvolvimento de seus projetos.

Mace et al. (1991) definem o Desenho Universal aplicado a um projeto como a criação de ambientes e produtos que possam ser utilizados por todas as pessoas na medida do possível, em sua máxima extensão. Os princípios que norteiam essa abordagem incluem:

- 1 - Equidade de uso:** Garantir que o projeto seja acessível e utilizável por todas as pessoas, independentemente de suas habilidades e características individuais.
- 2 - Flexibilidade no uso:** Oferecer opções e adaptações para atender às diferentes necessidades e preferências dos usuários, permitindo que eles interajam com o design de maneiras que sejam mais adequadas para eles.
- 3 - Simplicidade e clareza na operação:** Tornar o design intuitivo e de fácil compreensão, para que as pessoas possam utilizar o produto ou ambiente sem a necessidade de instruções complexas ou habilidades específicas.
- 4- Informação perceptível:** Comunicar informações importantes de maneira eficaz, por meio de diferentes modalidades sensoriais, como som, texto, imagens ou gestos, para garantir que todas as pessoas possam acessar as informações necessárias.
- 5 - Tolerância ao erro:** Minimizar as consequências de ações acidentais ou mal interpretadas, permitindo que as pessoas possam corrigir ou reverter suas ações sem impactos significativos.
- 6 - Baixo esforço físico:** Reduzir a fadiga e o esforço necessários para utilizar o design, tornando-o ergonomicamente confortável e evitando demandas físicas excessivas.
- 7 - Tamanho e espaço para aproximação e uso:** Proporcionar espaço suficiente para que pessoas com diferentes habilidades e dispositivos de assistência possam interagir de forma confortável, permitindo uma aproximação adequada e garantindo que o design seja adaptável a diferentes contextos.

O Desenho Universal destaca-se pela sua ênfase em tornar ambientes e produtos acessíveis e utilizáveis por uma ampla variedade de públicos. No âmbito da música e surdez, torna-se essencial considerar a diversidade de níveis de perda auditiva, conforme apontado por Clark (1981). Diante dessa diferença, os fundamentos da plasticidade compensatória no cérebro de pessoas surdas, juntamente com os princípios 2 e 4 do Desenho Universal, orientaram a concepção dos protótipos propostos neste estudo. Estes integram uma representação multimodal dos elementos musicais, combinando estímulos táteis e visuais e podem proporcionar uma compreensão mais completa da música para indivíduos com distintos graus de surdez.

Além disso, o D.U. se revela essencial para abordar questões sociais de acesso e inclusão, assegurando que os dispositivos criados sejam financeiramente acessíveis atendendo uma ampla gama de classes sociais.

A seguir, serão descritas as etapas e procedimentos envolvidos no desenvolvimento desses dispositivos, desde a concepção inicial até o estágio atual no laboratório⁴ de pesquisa.

⁴ Laboratório de Performance com Sistemas Interativos, da Escola de Música da UFMG (www.musica.ufmg.br/lapis).

4 DESENVOLVIMENTO DOS PROTÓTIPOS E SUA IMPLEMENTAÇÃO COM O USO DE SOFTWARES

Com base no referencial teórico apresentado, neste capítulo serão descritas as etapas e procedimentos envolvidos no desenvolvimento dos protótipos de instrumentos musicais digitais e recursos táteis e visuais elaborados neste estudo, desde sua concepção inicial até o estágio atual no laboratório de pesquisa. Essa exposição é derivada do trabalho intitulado "Flexibilidade e Adaptação: Instrumentos Musicais Digitais para Ampliar a Participação Ativa de Pessoas Surdas na Música," apresentado por Reis e Freire (2023) durante o XXXIII Congresso da ANPPOM em 26 de outubro de 2023.

Para a produção sonora e recursos de *feedback* visual, foi utilizada uma metodologia que envolve o uso de softwares de código aberto, como *Pure Data* (PD) (PUCKETTE, 1996) e *MobMuPlat* (IGLESIA, 2013).

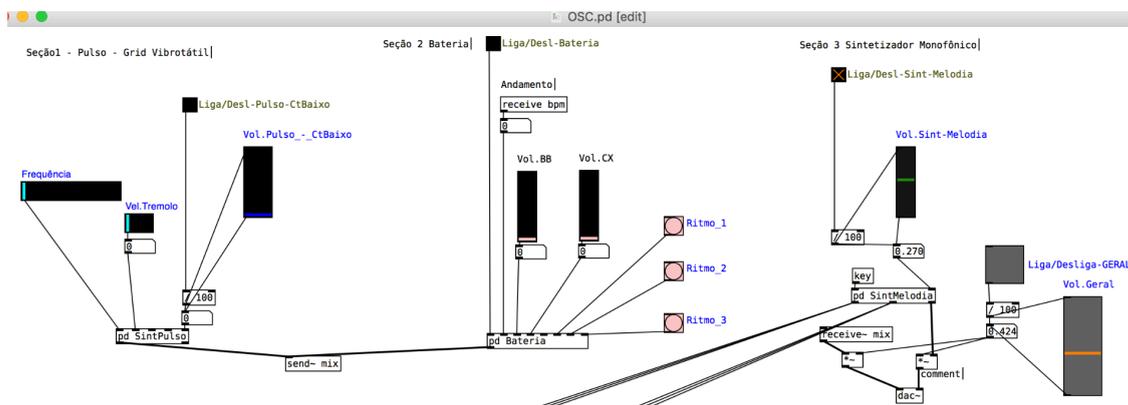
O *Pure Data* é um ambiente de programação gráfica, concebido na década de 1990 pelo músico e pesquisador Miller Puckette. Com ampla utilização na música eletrônica, o Pd fornece uma plataforma versátil para a criação de instrumentos musicais por meio da síntese e processamento de áudio em tempo real. Além disso, há a possibilidade de desenvolvimento de interfaces interativas e personalizadas, o que oferece flexibilidade e adaptabilidade ao usuário. Portanto o Pd, tornou-se a plataforma principal para a programação computacional deste projeto.

Já o *MobMuPlat* é uma plataforma para desenvolvimento de interfaces gráficas interativas para instrumentos musicais criados no *Pure Data*. Produzida pela Iglesia Intermedia, a ferramenta possui compatibilidade para dispositivos móveis Android e iOS, fato que julgamos essencial para promover a acessibilidade destes instrumentos musicais digitais.

4.1 - O 1º protótipo

Iniciamos o uso das plataformas citadas no tópico anterior aproveitando o *Pure Data* para criar um sintetizador que combina 3 seções, onde exploramos o uso de frequências mais graves para ampliar a percepção musical de usuários surdos em 3 instrumentos virtuais: uma voz em registro contrabaixo, uma bateria e um sintetizador monofônico.

Figura 9 - Patch de desenvolvimento do sintetizador no Pd.



Fonte: Acervo do autor (2023)

Na disposição da interface, da esquerda para a direita, a primeira seção nomeada como Pulso - Grid Vibrotátil, representa uma linha de contrabaixo responsável por marcar o pulso rítmico. Com a implementação do efeito tremolo, o usuário tem o controle para ajustar o andamento desse pulso de forma personalizada. Utiliza-se aqui o fenômeno acústico de batimentos, que ocorre quando duas oscilações - neste caso senoidais - de frequências próximas são adicionadas. A modulação em amplitude causada por esta superposição gera o pulso grave de base para as outras seções do sintetizador. Além disso, é possível ajustar a faixa de frequência do oscilador entre 40 Hz e 80 Hz, de acordo com a preferência do usuário.

Na segunda seção, dedicamos atenção aos sons percussivos de uma bateria eletrônica, destacando duas peças essenciais: o bumbo e a caixa. Os sons destes componentes são gerados por processos simples de síntese sonora, e as técnicas empregadas neste contexto têm como meta proporcionar à pessoa surda não apenas a experiência dos sons de forma individual, mas também quando integrados com mais camadas sonoras presentes nas outras seções do sintetizador, proporcionando assim uma abordagem integral para a percepção tátil do áudio.

Após analisar os dados consolidados em nossa revisão bibliográfica, os quais apontam que o limiar de percepção da vibração é uniforme dentro da faixa de 20 a 40 Hz, independentemente da frequência, optamos por criar o som do bumbo utilizando um oscilador de onda senoidal configurado na frequência fundamental de 40 Hz, reservando a faixa superior até 80 Hz para ser explorada pela seção Pulso Grid Vibrotátil.

O som da caixa, por sua vez, foi gerado utilizando uma combinação de ruído branco, para emular o som das esteiras e um oscilador de onda senoidal fixado na frequência fundamental 180 Hz para simular o som do “corpo” do instrumento acústico. Em ambas as peças, o som é modulado por um envelope de amplitude que simula a característica de decaimento rápido típica de um bumbo e caixa acústicos.

Além disso, para proporcionar maior controle e personalização, disponibilizamos controles de volumes individuais, permitindo ao usuário ajustá-los de acordo com suas preferências e necessidades sensoriais.

Vale destacar que essa bateria eletrônica possui três padrões de ritmos que são reprogramáveis, oferecendo ao usuário a opção de escolher o estilo que mais lhe agrada para se envolver na criação melódica utilizando um sintetizador monofônico presente na terceira seção, o qual objetiva proporcionar uma experiência musical mais ativa e participativa.

Para o desenvolvimento da 3ª seção, que é onde se encontra o sintetizador monofônico, aprofundamos ainda mais em questões sensoriais táteis, mais especificamente, no limiar de percepção de intervalos musicais. Em *Haptic Display of Melodic Intervals for Musical Applications*, Egloff, Wanderley e Frissen, (2018) abordam a capacidade humana de discriminar intervalos melódicos exclusivamente por meio da estimulação vibrotátil. Os resultados deste estudo revelaram que, recebendo estímulos vibrotáteis na ponta do dedo, os participantes foram capazes de identificar intervalos melódicos de segunda maior, a partir da frequência fundamental 65Hz.

Com base nesses dados, incorporamos ao nosso sintetizador monofônico uma escala de tons inteiros a partir da nota Dó1⁵ com frequência de 65,4 Hz. Em sequência, definimos as notas Ré 1 = 73,4 Hz, Mi 1 = 82,4 Hz, Fá# 1 = 92,5 Hz, Sol # 1 = 103,8 Hz, Lá# 1 = 116,5 Hz e Dó2 = 130,8 Hz.

Na concepção do timbre deste instrumento, optou-se pela forma de onda dente de serra, gerada pelo objeto *Phasor* do Pd. Essa abordagem buscou enriquecer a textura com harmônicos proporcionando mais vibração em cada nota. Para controlar o som complexo

⁵ Esclarecemos que nossa referência de alturas é o Lá3, sintonizado a 440 Hz, seguindo o padrão internacional de afinação.

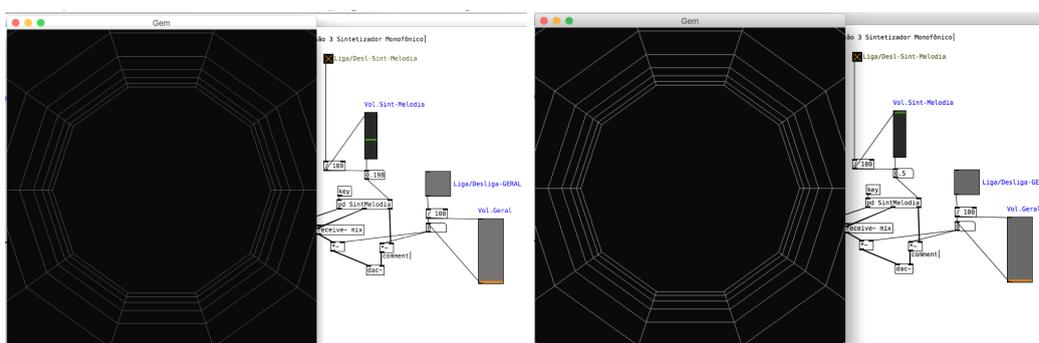
resultante dessa escolha, desenvolveu-se um envelope de amplitude, caracterizado por uma "rampa" de subida linear seguida por uma queda exponencial, com duração total de aproximadamente 600 milissegundos. Este controle é acionado toda vez que uma nota da escala hexafônica é tocada assegurando uma dinâmica consistente. O volume desta seção é controlado por um fader específico, que por sua vez alimenta o fader mestre do dispositivo.

Nesta seção, nosso objetivo também foi oferecer ao usuário um elemento que permita experimentar a criação de melodias combinadas aos sons dos outros dois instrumentos: o contrabaixo e a bateria. Para enriquecer essa experiência e considerando os dados sobre Plasticidade Compensatória, incorporamos ao protótipo um recurso visual utilizando o objeto GEM, uma biblioteca gráfica presente no *Pure Data* que permite a criação e interação de elementos visuais, como gráficos e imagens, associados aos eventos sonoros.

Com a utilização deste recurso, incorporamos uma imagem que reage à variação da amplitude e da frequência fundamental. Dessa forma, o usuário pode realizar uma performance com o sintetizador monofônico, acionando as notas musicais da escala e observando a resposta visual da imagem na tela do computador, à medida que os níveis de amplitude e frequência variam.

Figura 10 - Interação da amplitude do som do sintetizador com a imagem gerada pelo objeto GEM

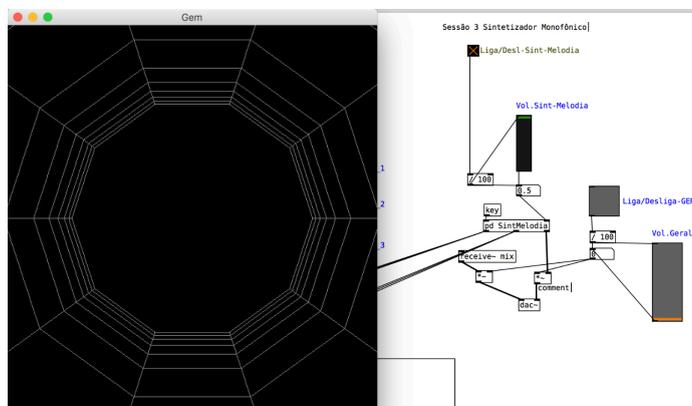
a) amplitude baixa (linhas com pouco destaque) **b) amplitude alta (linhas com mais destaque)**



Fonte: Acervo do autor (2023)

Figura 11 - Interação da frequência 65,4 Hz - Dó 1 com a imagem gerada pelo objeto GEM

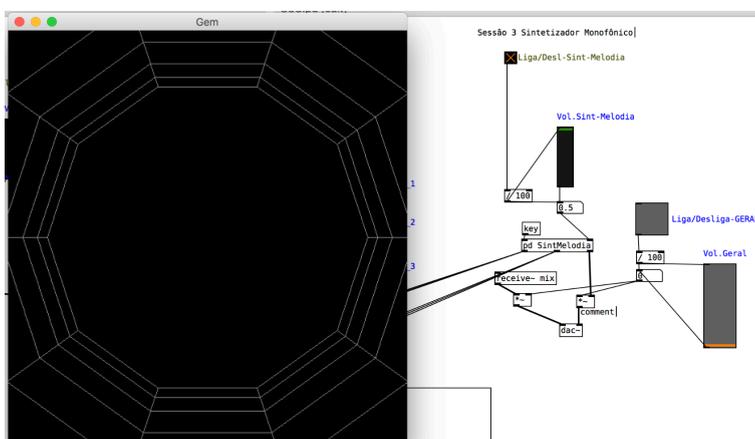
Nota mais grave, arestas mais próximas, dando a sensação de uma figura mais "fechada".



Fonte: Acervo do autor (2023)

Figura 12 - Interação da frequência 130,8 Hz - Dó 2 com a imagem gerada pelo objeto GEM

Nota mais aguda, com arestas um pouco mais distantes, dando a sensação de uma imagem mais "aberta".



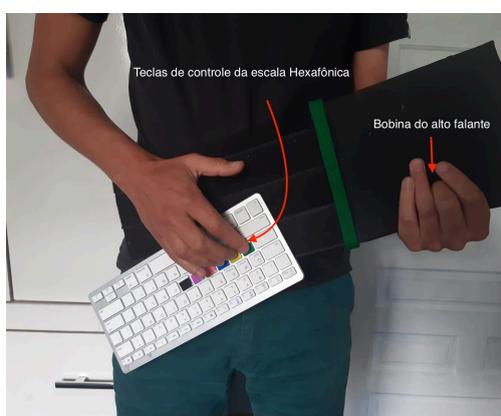
Fonte: Acervo do autor (2023)

Além disso, buscando ampliar a percepção dos intervalos melódicos por meio tátil, criamos uma superfície de controle que se conecta ao *Pure Data*, permitindo a especialização do som do sintetizador monofônico até a ponta de um dos dedos do usuário. Essa superfície é composta por um teclado de computador que se conecta via *Bluetooth*, possibilitando tocar as notas musicais com uma das mãos e, com a outra, sentir a vibração das notas através da ponta de um dos dedos, acoplada à bobina de um alto-falante amplificado de 3 *Watts* de potência e

impedância de 4 *Ohms*. Neste dispositivo, é relevante considerar que as notas fundamentais da melodia possivelmente não são reproduzidas pelo alto-falante em questão, mas sim seus harmônicos, ainda perceptíveis dentro da faixa de sensibilidade tátil.

Essa abordagem tem como objetivo proporcionar uma experiência multimodal, permitindo que usuários com diferentes níveis de surdez possam experimentar a música de forma tátil e visual.

Imagem 4 - Superfície de controle do sintetizador monofônico

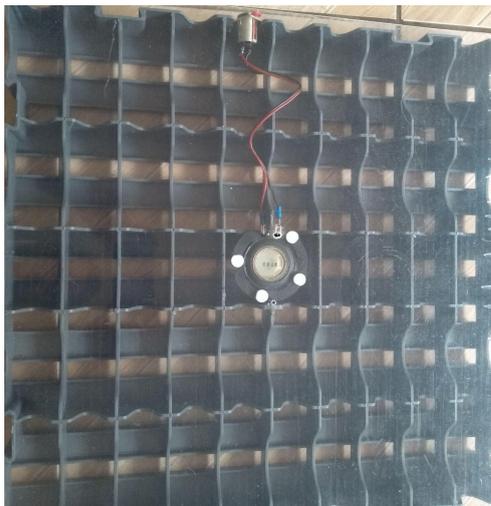


Fonte: Acervo do autor (2023)

4.2 - Plataforma de *Feedback* Tátil

Para ampliar o *feedback* tátil do usuário, desenvolvemos uma plataforma com uma estrutura composta por um palete de plástico de 50x50 cm, com piso de acrílico de 2 mm de espessura. Nesse piso, acoplamos um transdutor de contato portátil da marca *Dayton Audio*, modelo DAEX32QMB-4 *Quad Feet Mega Bass*, com um diâmetro de 32 mm, potência de 40W e impedância de 4 Ohm.

Imagem 5 - Plataforma de *feedback* tátil



Fonte: Acervo do autor (2023)

Esse atuador foi selecionado com base nas faixas de frequência mencionadas anteriormente no tópico “Fundamentos neurocientíficos da percepção musical de pessoas surdas” e também, através do estudo *Qualidade da Percepção Sonora em Sala de Música para Surdos* (PIRES, J. L. G. *et al.*, 2022).

Através de um amplificador também portátil, a plataforma é amplificada e recebe o sinal de áudio dos instrumentos desenvolvidos no *Pure Data*.

Quando o sintetizador monofônico é utilizado em conjunto com o teclado controlador mostrado na imagem 4, o sistema requer duas saídas de áudio para espacializar o som dos instrumentos. A primeira saída recebe exclusivamente o sinal do sintetizador e o envia para o alto-falante que o usuário irá posicionar na ponta de um dos dedos para sentir a vibração. Já a segunda saída é direcionada aos sinais de áudio do contrabaixo e da bateria, os quais são enviados para o transdutor de contato presente na plataforma feita sobre o palete de plástico. Dessa forma, o usuário poderá posicionar-se sobre essa plataforma e sentir a vibração desses dois instrumentos com a sola dos pés, e com a ponta de um dos dedos da mão esquerda, sentir a vibração das notas tocadas no sintetizador monofônico. Esse procedimento foi desenvolvido para proporcionar ao usuário uma experiência tátil significativa ao interagir com diferentes elementos musicais através do sistema.

4.3 - O 2º protótipo

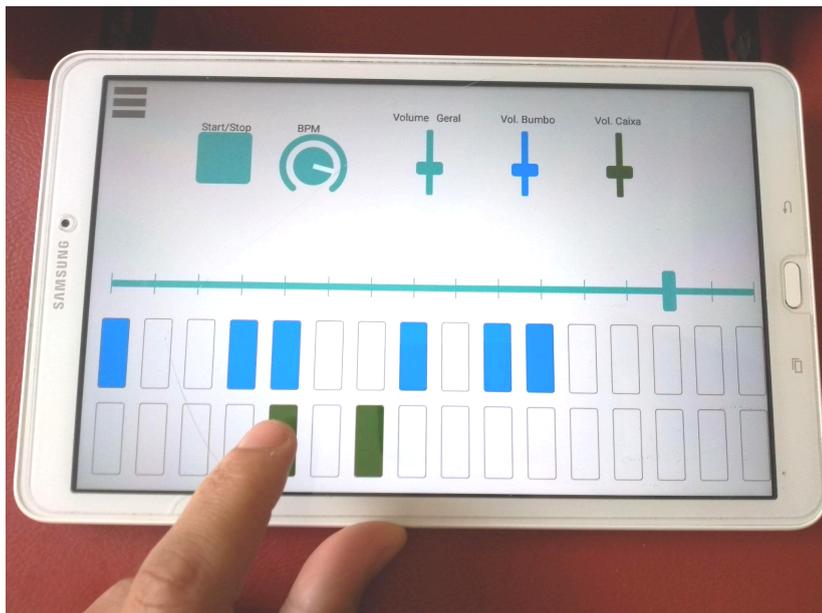
O segundo protótipo foi desenvolvido com base nas sugestões de um colaborador⁶ que nos auxilia nas questões relacionadas à inclusão de pessoas surdas por meio da prática musical. Sua experiência e conhecimento foram fundamentais para nos orientar na criação deste segundo protótipo, que apresenta uma abordagem mais simplificada em comparação ao protótipo anterior. Nele, foi adotada uma configuração mais intuitiva, oferecendo apenas dois instrumentos percussivos, além de elementos táteis e visuais integrados em uma interface gráfica mais funcional desenvolvida no *MobMuPlat*. Isso permite o uso do instrumento em um tablet, tornando-o mais prático e facilmente transportável.

Essa abordagem minimalista visa proporcionar uma interação mais agradável e eficiente, atendendo melhor às necessidades específicas do público surdo. Tal estratégia também é respaldada pelo estudo de Fourney e Fels (2009, p. 943), que destaca que softwares de interação musical com muitos recursos visuais em uma única tela podem desinteressar usuários surdos, tornando essa experiência "chata".

Sendo assim, no aprimoramento, os recursos disponibilizados no instrumento foram controles de Liga/Desliga (Start/Stop), Bpm (batidas por minuto) e volumes gerais e individuais para o bumbo e a caixa. Além disso, acrescentamos a visualização de uma linha do tempo com 16 passos. Essa adição possibilita ao usuário posicionar os sons do bumbo e da caixa ao longo dessa linha, permitindo a criação de diversas células rítmicas com um simples toque na tela.

⁶ Mais detalhes desta colaboração serão apresentados no capítulo 5.

Imagem 6 - O segundo protótipo instalado em um tablet Android



Fonte: Acervo do autor (2023)

Considerando que o *software* do instrumento foi desenvolvido para uso em *tablets*, dispositivos que frequentemente possuem apenas um alto-falante integrado, optamos por não limitar as frequências do bumbo a 40 Hz, ao contrário do que foi feito no primeiro protótipo. Assim, espera-se que a percepção sonora do instrumento seja possível tanto através da plataforma vibrotátil quanto apenas com o alto-falante do *tablet*, permitindo que a vibração do som também seja sentida pelas mãos.

Embora a exposição textual desta dissertação seja linear, o curso da pesquisa tem um caráter interativo, no qual ações são planejadas, avaliadas e modificadas, em um ciclo que se repete a cada etapa. Assim, trataremos na próxima seção de duas inclusões tecnológicas realizadas como consequência dos primeiros encontros de prática musical com o grupo colaborador.

4.4 - Equipamentos adicionais

A prototipagem de dispositivos e recursos neste trabalho também incluiu a adaptação de um dispositivo comercial composto por *hardware* e *software*. Trata-se da superfície de controle *Maschine Mikro Mk3*, da fabricante *Native Instruments*. Conectada ao computador via porta

USB, esta superfície comunica-se com um *software* nativo, permitindo ao *performer* acessar uma biblioteca sonora e tocar diferentes instrumentos virtuais.

Este dispositivo foi gentilmente doado à Escola de Música da UFMG por um colaborador da pesquisa⁷ e foi selecionado para ser utilizado em dinâmicas musicais com pessoas surdas devido à presença de 16 *Pads* individuais que podem ser tocados e integrados em uma performance coletiva. Além disso, os *Pads* possuem uma luz reativa sincronizada com o som emitido, um recurso significativo para pessoas surdas identificarem o som, conforme apresentado em nossa revisão bibliográfica.

Imagem 7 - Superfície de controle Maschine Mikro Mk3



Fonte: Site do fabricante Native Instruments:

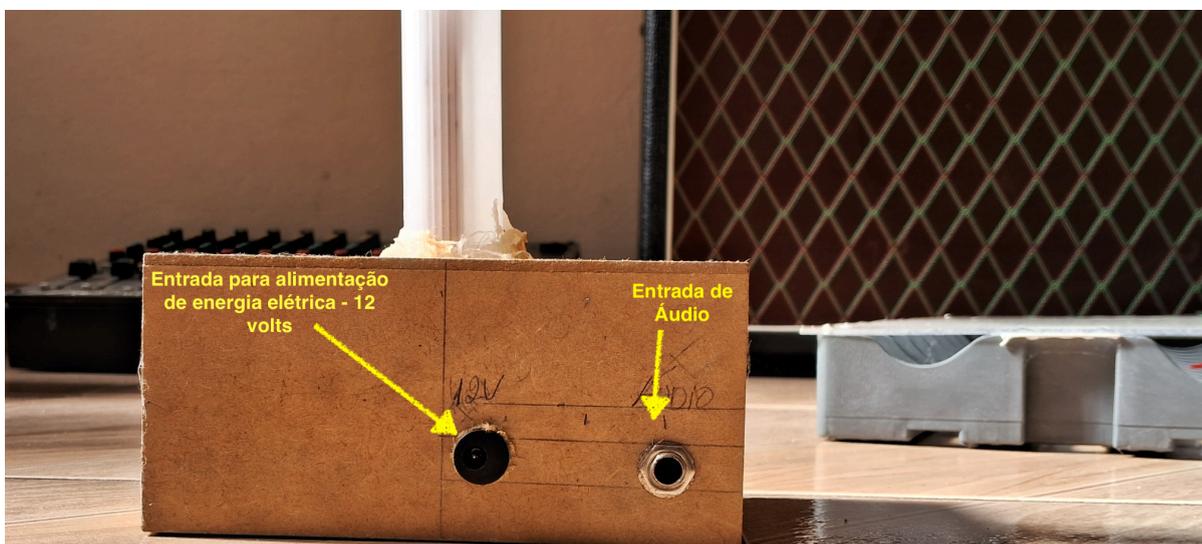
<https://www.native-instruments.com/en/products/maschine/production-systems/maschine-mikro/>

Considerando que o cenário de uma performance musical pode incluir participantes na plateia, fomos desafiados a criar recursos que também proporcionam uma representação visual para o público surdo. Assim, concebemos dois refletores de Tubo LED que se acendem de forma sincronizada com as divisões rítmicas tocadas pelo performer utilizando o protótipo 2 (bateria eletrônica).

⁷ Rodolfo Caesar, professor aposentado da UFRJ.

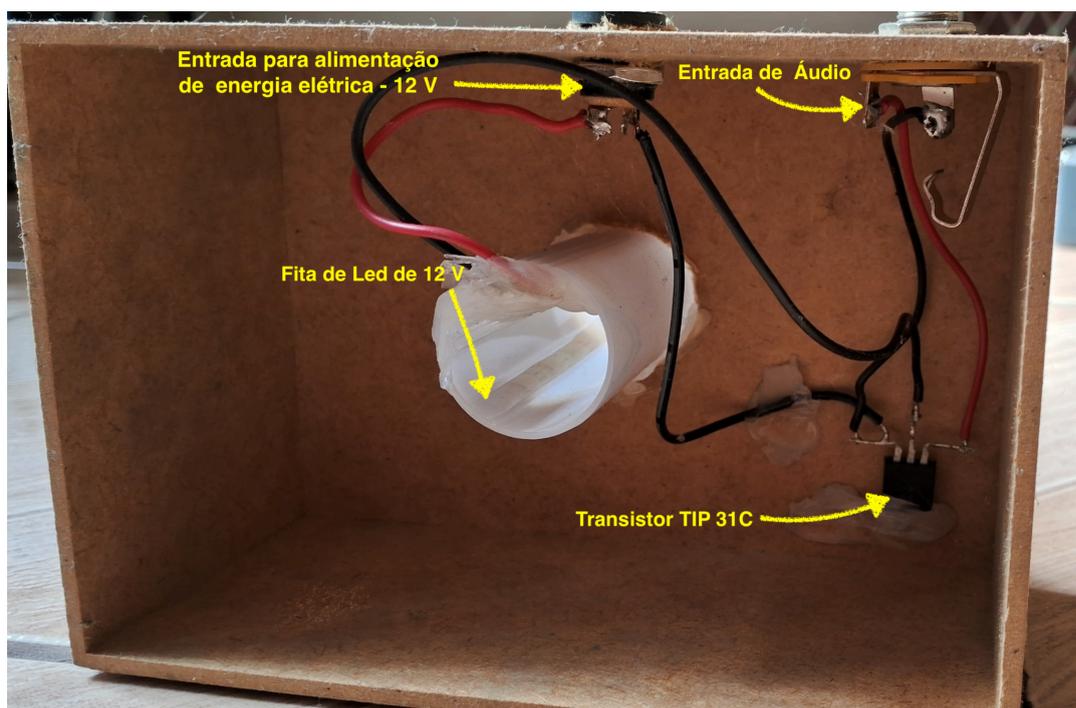
Cada refletor foi equipado com uma fita de LED de 12 volts: uma azul para representar o bumbo e outra verde para representar a caixa, refletindo as cores desses instrumentos na interface gráfica da bateria eletrônica. Para alimentar essas fitas de LED, desenvolvemos pequenos circuitos eletrônicos específicos, compostos por uma fonte externa de 12 volts e uma entrada de áudio que recebe o sinal da saída estéreo do *tablet*. O canal 1 é direcionado para o refletor azul (bumbo) e o canal 2 para o refletor verde (caixa). Utilizamos um transistor TIP31C em cada circuito para amplificar o sinal de áudio recebido, garantindo a sincronização entre o áudio e a iluminação.

Imagem 8 - Base e conexões de um dos refletores Tubo LED



Fonte: Acervo do autor (2023)

Imagem 9 - Circuito eletrônico dos refletores Tubo LED



Fonte: Acervo do autor (2023)

As adaptações feitas na controladora *Maschine Mikro Mk3* e os *insights* que geraram a criação dos refletores de tubo LED, serão detalhadas no capítulo 5.

5 ESTUDO DE CASO (PASSOS INICIAIS)

Na condução dos estudos de campo que exploram a interseção entre música e surdez, tornou-se claro que o contato direto é um elemento essencial para uma compreensão mais profunda das nuances da cultura surda. Neste contexto, a primeira experiência significativa para este estudo ocorreu em 2018, durante a participação na oficina "Criação de Material Didático para Práticas de Musicalização para Surdos", realizada no 12º Festival de Verão da UFMG e conduzida por Flávio Teixeira Maia, tradutor e intérprete de LIBRAS. Flávio, filho de pais surdos e imerso na comunidade surda, desempenha um papel fundamental em projetos de acessibilidade, incluindo o projeto "Todos estão Surdos".

O "Todos estão Surdos" constitui um grupo de poetas surdos que se dedica à produção artística no âmbito da cultura surda, destacando-se por suas performances poéticas no formato de *Slam*. Nesse contexto, os membros do grupo apresentam trabalhos originais que abordam temas sociais, políticos e pessoais, proporcionando uma expressão criativa e participativa. Essa abordagem oferece uma plataforma para o compartilhamento de experiências, perspectivas e reflexões, contribuindo para uma narrativa coletiva que destaca a diversidade e a profundidade da comunidade surda.

A expertise de Flávio desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento do segundo protótipo, guiando a seleção dos recursos de um instrumento musical digital que se alinhassem de maneira mais efetiva às necessidades e preferências das pessoas surdas que integram o grupo "Todos estão Surdos". Este contato mais próximo estabeleceu um vínculo intrínseco entre o estudo em questão e gerou um convite para uma participação mais ativa nas performances do grupo, facilitando a promoção de atividades musicais de improvisação rítmica em colaboração com os membros, como será detalhado nos próximos subtópicos do presente capítulo.

5.1 - Primeiro Encontro

O "Primeiro Encontro" ocorreu em 24/09/2023 no Complexo Cultural Inhotim, na cidade de Brumadinho - Minas Gerais, durante as celebrações do mês de visibilidade da comunidade surda. Na ocasião, a proposta deste estudo foi apresentada ao grupo, desencadeando uma dinâmica de improviso musical centrada na percussão corporal.

Reunidos em uma sala, os participantes foram guiados na execução de um ostinato rítmico como base. Durante o processo, cada um foi convidado a ir à frente e contribuir com uma nova célula rítmica através da improvisação, enriquecendo assim a experiência musical compartilhada e criando de forma orgânica um lastro artístico desta pesquisa com o grupo "Todos estão surdos".

Imagem 10 - Prática de improvisação rítmica corporal - Frame retirado do vídeo: Sarau Todos Estão Surdos no Inhotim



Fonte: Perfil do grupo Todos Estão Surdos na rede social Instagram

<https://www.instagram.com/p/CxqwB7XvNYJ/>

Através da prática de improvisação coletiva, observou-se o genuíno interesse dos membros do grupo pelo envolvimento ativo com a música. Após o encerramento, vários expressaram esse interesse ao buscar orientações sobre como aprimorar os gestos propostos na improvisação com a percussão corporal. Com base nesses *insights*, surgiu a iniciativa de desenvolver os refletores de Tubo LED apresentados na seção 4.4 para serem integrados ao protótipo 2 (bateria eletrônica). Este novo recurso visa promover uma interação mais envolvente entre o instrumentista e a plateia.

Imagem 11 - Refletores Tubo Led com luz reativa aos sons da bateria

a) Azul - Bumbo



b) Verde - Caixa



Fonte: Acervo do autor (2023)

5.2 - Segundo Encontro

Para entendermos melhor as necessidades artísticas do grupo e avaliarmos um possível interesse por parte de seus integrantes em utilizar os recursos desenvolvidos em uma performance, organizou-se um segundo encontro na Escola de Música da UFMG no dia 01/11/2023. O evento contou com a presença e apoio de dois intérpretes de LIBRAS do grupo "Todos Estão Surdos" e também do *performer* surdo Ademar Alves Júnior; poeta, escritor e estudante de cinema, que demonstrou interesse espontâneo em conhecer os instrumentos e recursos dessa pesquisa. Este encontro, assim como o primeiro, foi documentado por meio de material audiovisual e compartilhado pelo grupo no *Instagram*, (<https://www.instagram.com/p/C7wvUbEOBRL/>) criando uma base sólida para futuros estudos sobre Música e Surdez.

Durante a apresentação, Ademar utilizou instrumentos digitais (sintetizador e bateria eletrônica) e instrumentos tradicionais da música popular, como violão e contrabaixo elétrico de 4 cordas conectados à plataforma de *feedback* vibrotátil. O primeiro instrumento utilizado

foi o sintetizador (Protótipo 1), no qual foram demonstradas as duas primeiras seções: o pulso grid vibrotátil e, em seguida, a seção de ritmos pré-programados. Nessa etapa, Ademar percebeu nitidamente as alterações de andamento e os padrões rítmicos apresentados, evidenciando a eficácia dos dispositivos em transmitir essas variações.

Posteriormente, na terceira seção do instrumento, ele executou as notas da escala hexafônica na sequência estabelecida pelas teclas da superfície de controle. Ademar observou que as notas graves da escala eram mais fracas, enquanto as notas mais agudas produziam uma vibração mais intensa, especialmente a partir da quinta nota, Sol Sustenido, 103,8 Hz. Após utilizar o Protótipo 1 ligado à plataforma, Ademar perguntou se seria possível conectar outros instrumentos de corda ao equipamento. Ele relatou que durante a adolescência teve uma experiência de aprendizado deste instrumento. Dessa forma, para proporcionar um novo contato, conectamos um violão à Plataforma de Feedback Vibrotátil, calibrado com a afinação "padrão" correspondente às frequências: Mi 4 - 330 Hz, Si 3 - 247 Hz, Sol 3 - 196 Hz, Ré 3 - 146 Hz, Lá 2 - 110 Hz e Mi 2 - 82 Hz, respectivamente, para as seis cordas.

Sentado em uma cadeira de madeira, Ademar explorou o violão, tocando livremente. Ele relatou que a utilização deste tipo de cadeira contribuiu para ampliar sua percepção sonora, sugerindo uma adaptação da plataforma para uma segunda via de *feedback*, possibilitando sentir vibrações tanto nos pés quanto no assento. Essa alteração foi sugerida por ele visando também *performers* que tenham a necessidade de tocar sentados. Dessa forma, a plataforma vibrotátil foi colocada no assento da cadeira e, ao tocar o instrumento, ele relatou ter tido uma melhor percepção da vibração dos sons.

Outro ponto a ser destacado deste contato com o violão é o seu relato em relação a sensibilidade tátil na percepção sonora. Na percepção de Ademar os sons das cordas graves do violão são mais fortes, diferente das agudas que são menos intensas.

Após o contato com o violão, Ademar manifestou interesse em outro instrumento, desta vez um contrabaixo elétrico de 4 cordas. Ele teve a oportunidade de experimentar esse instrumento, também calibrado com uma afinação padronizada, correspondente a: 1ª corda mais aguda Sol 1 (98 Hz), 2ª corda Ré 1 (73,4 Hz), 3ª corda Lá 1 (55 Hz), 4ª corda, a mais grave Mi 1 (41,2 Hz).

Com o instrumento conectado à plataforma de *feedback* vibrotátil, assim como na proposta com o violão, Ademar se sentou na plataforma e, de forma intuitiva, pressionou algumas notas no braço do instrumento. Ele descreveu ter uma percepção mais abrangente das vibrações das notas musicais através da plataforma e menos através do tórax, diferente do violão, que possui caixa acústica e, por natureza própria, emite mais vibrações sem a necessidade de amplificação.

No segundo momento, além da plataforma vibrotátil, este instrumento também foi conectado a uma caixa de som amplificada sub grave, reforçando frequências abaixo dos 60 Hz. Nesse cenário, um dos intérpretes de LIBRAS, que também é músico, tocou alguns ostinatos no contrabaixo, proporcionando uma experiência mais investigativa onde Ademar, como apreciador, avaliou a eficiência da vibração de ambos os dispositivos. Ao final desta proposta ele relatou que achou mais interessante apreciar a vibração emitida pelo contrabaixo utilizando a plataforma vibrotátil.

Por fim, foi apresentada a bateria eletrônica (Protótipo 2) instalada no computador, conectada à plataforma de *feedback* vibrotátil e interagindo com os protótipos de tubos de LED. Neste cenário, foram explicadas ao Ademar as funcionalidades do instrumento e, logo em seguida, ele interagiu com os dispositivos criando algumas divisões rítmicas. Ele relatou que utilizando a bateria eletrônica com os refletores, conseguiu dosar a dinâmica (forte e fraco) em acordo com suas necessidades, semelhante com o momento em que utilizou o contrabaixo elétrico e o violão.

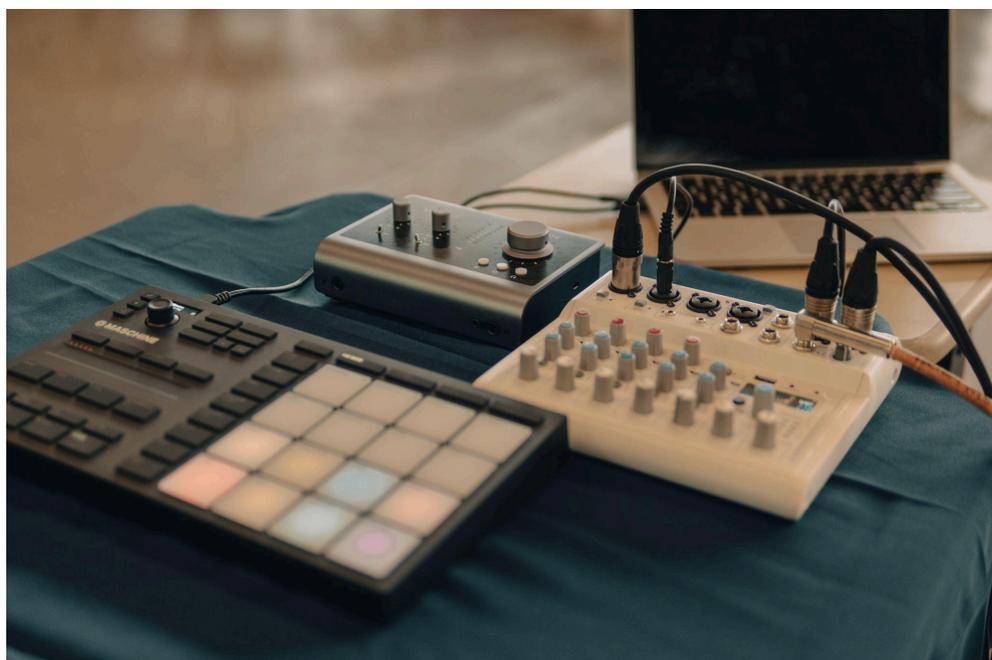
Ao final, Ademar expressou a vontade de, a partir deste encontro, pensar em outras possibilidades de interação do corpo surdo com o som.

5.3 - Terceiro Encontro

O terceiro encontro aconteceu durante o evento comemorativo ao Dia Nacional da LIBRAS, promovido pela Sociedade de Surdos de BH no dia 13/04/2024, no Centro Cultural Padre Eustáquio em Belo Horizonte, Minas Gerais. Na ocasião, a presente pesquisa foi novamente convidada pelo grupo “Todos Estão Surdos” para ser apresentada a membros da comunidade surda e a partir deste contato foi desenvolvida uma dinâmica musical, utilizando a plataforma vibrotátil e outros recursos sonoros.

Inspirados pelos *insights* adquiridos nos encontros anteriores, foi organizada uma prática musical em conjunto, centrada na exploração sonora e no improviso musical. Para esta prática, além da plataforma vibrotátil, também foi utilizado um par de caixas sub grave para proporcionar um melhor retorno do som para 3 participantes. Como recurso para a produção sonora, utilizou-se a superfície de controle *Maschine Mikro Mk3*, equipamento comercial apresentado na seção 4.4.

Imagem 12 - Superfície de controle Maschine Mikro Mk3 conectada ao computador e ao sistema de áudio



Fonte: Acervo do autor (2024)

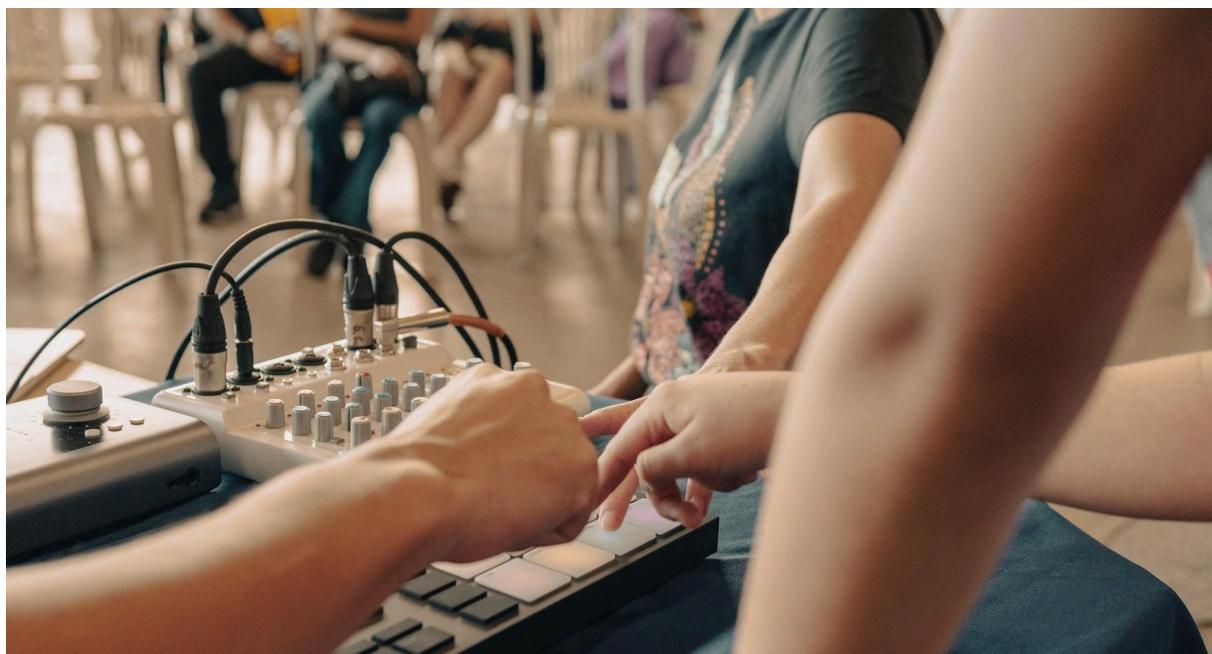
Considerando que a surdez abrange diversos níveis de perda auditiva, foram previamente selecionados, no *software* do dispositivo, instrumentos sintetizados com timbres graves, com alcance em torno de 250 Hz, uma região do espectro sonoro onde o tato é particularmente mais sensível, conforme discutido no Capítulo 2. Além disso, foram incluídos timbres cujos harmônicos ultrapassam essa faixa de frequências, permitindo que pessoas surdas com algum resíduo auditivo e ouvintes também pudessem combinar a percepção tátil com o sistema auditivo, experimentando novas formas de interação sonora. Sendo assim, a seleção incluiu o contrabaixo, juntamente com instrumentos percussivos como bumbo e caixa de bateria.

Na dinâmica proposta, seis pessoas da plateia se voluntariaram espontaneamente a participar, sendo duas ouvintes e quatro surdas. Foram organizados dois grupos de três pessoas, cada um

incluindo uma pessoa ouvinte. Além do retorno visual proporcionado pelos *Pads* da controladora Maschine Mikro, cada participante teve acesso a um retorno sonoro composto pela plataforma e por duas caixas de subgrave. Em seguida, individualmente, cada um manipulou os sons na superfície de controle, explorando os timbres selecionados e indicando ao intérprete de LIBRAS o som cuja vibração consideraram mais interessante. Observou-se que, nesta prática, os participantes surdos optaram pelos timbres percussivos e também por aqueles do contrabaixo que são mais ricos em harmônicos abaixo de 250 Hz.

Com os sons selecionados, cada participante colaborou na criação de ostinatos rítmicos, resultando em uma performance conjunta e criativa, conforme pode ser visto no vídeo postado pelo grupo em sua conta do *Instagram* (<https://www.instagram.com/p/C7w4NkfJnCG/>). Essa dinâmica não só proporcionou uma experiência musical enriquecedora, mas também demonstrou o potencial dos recursos e práticas desenvolvidos por este estudo para promover interações musicais mais inclusivas para pessoas surdas.

Imagem 13 - Prática musical coletiva



Fonte: Acervo do autor (2024)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos encontros realizados revelou resultados significativos derivados das percepções dos *performers*, contribuindo não apenas para a ampliação da compreensão atual do estudo, mas também para o direcionamento de aprimoramentos nas etapas subsequentes da pesquisa. Um ponto de destaque foi a observação do participante Ademar no segundo encontro, onde ele relatou suas percepções ao utilizar o violão e o sintetizador monofônico conectados à plataforma vibrotátil. Ao explorar o violão, Ademar notou uma maior sensibilidade às vibrações em determinadas cordas, destacando especialmente a 4ª corda (Ré 3 - 146 Hz), 5ª corda (Lá 2 - 110 Hz) e 6ª corda (Mi 2 - 82 Hz). Além disso, ao utilizar o sintetizador monofônico, ele descreveu uma percepção mais intensa das vibrações das notas musicais da escala hexafônica, a partir da quinta nota Sol Sustenido (103,8 Hz).

Esses relatos se assemelham às preferências sonoras manifestadas pelos participantes surdos durante o terceiro encontro, onde se observou uma tendência pela a escolha de timbres percussivos e sons de contrabaixo, ricos em harmônicos abaixo de 250 Hz. Essa convergência de percepções também está alinhada aos dados apresentados sobre a faixa de frequências onde o tato é mais sensível, conforme discutido no subtópico 3.1 - Percepção Musical de Pessoas Surdas por uma Perspectiva Biológica.

Ainda sobre o terceiro encontro, destaca-se a realização de duas performances concebidas com a participação de pessoas surdas de diferentes níveis de audição, bem como de ouvintes, todos sem experiência musical prévia. Através dos relatos dos participantes, ficou evidente que a experiência foi significativa tanto em termos sensoriais quanto sociais e culturais. Observou-se que a escolha dos equipamentos utilizados na prática proporcionou um retorno sonoro e visual eficiente, promovendo uma atividade de criação musical experimental compartilhada por surdos e ouvintes. Essa abordagem demonstrou potencial para ser replicada em eventos musicais, como festivais, e também em ambientes escolares dedicados ao ensino da música, abrangendo apreciação, criação e performance.

Considerando esses resultados e a crescente demanda por experiências musicais inclusivas entre os indivíduos surdos, torna-se evidente que a preferência por timbres específicos confirma a importância de considerar as características sensoriais dos participantes no desenvolvimento de ferramentas musicais inclusivas. A utilização de recursos de síntese

sonora e interação com o computador representa uma oportunidade significativa para expandir o acesso de pessoas surdas à música em várias modalidades, incluindo criação, apreciação e performance. Adaptar o timbre dos instrumentos musicais para torná-los mais perceptíveis pelo tato e oferecer diferentes formas de representação sonora que perpassam a percepção auditiva, não só amplia as opções de expressão musical para os performers surdos, mas também fortalece sua conexão e participação ativa na cadeia produtiva da música.

É importante destacar a necessidade de ampliar a pesquisa no que diz respeito à percepção de diferentes camadas sonoras junto ao público surdo. Na dinâmica musical coletiva do terceiro encontro, utilizamos apenas um instrumento, a controladora Maschine Mikro, que foi tocada por um grupo de três pessoas, sendo duas com diferentes níveis de surdez e um participante ouvinte, cada uma tocando um som diferente.

Observamos um sincronismo entre os participantes durante a performance; no entanto, essa abordagem ainda não nos permite compreender plenamente como uma prática musical coletiva se desenvolverá com cada *performer* atuando em instrumentos individuais com timbres diferentes, assim como a exploração de diferentes camadas sonoras por um mesmo músico.

No que diz respeito ao contato do participante Ademar com o protótipo 1, observamos que a seção 3 do instrumento, direcionada à criação melódica, foi a que ele menos explorou em termos de interação sonora e visual. Dessa forma, cabe em trabalhos futuros investigar se o feedback tátil direcionado às pontas dos dedos e o visual promovido pelo objeto GEM do Pd, implementado na parte computacional deste protótipo, são significativos para promover uma experiência criativa utilizando a vibração de diferentes notas musicais. Além disso, é importante compreender com mais profundidade as nuances da cultura surda em relação ao interesse por material melódico, uma vez que há uma lacuna significativa nas pesquisas que investigam a sensação de *Pitch* através do tato.

7 PRÓXIMOS PASSOS E TRABALHOS FUTUROS

A próxima fase da pesquisa envolverá o desenvolvimento de práticas musicais frequentes com participantes surdos, visando avaliar a eficácia dos recursos desenvolvidos até aqui e identificar áreas para melhorias. Para a promoção dessas práticas, planeja-se estabelecer novos encontros com o grupo "Todos Estão Surdos". Além disso, será conduzida uma avaliação dos princípios do Desenho Universal para Aprendizagem (D.U.A.), que é uma extensão do Desenho Universal aplicada à área pedagógica. No cenário pedagógico, o D.U.A. enfatiza a criação de currículos flexíveis que proporcionam múltiplas formas de engajamento, representação e expressão, princípios essenciais para implementar práticas musicais significativas que atendam às diversas necessidades dos participantes surdos em questões sensoriais, sociais e culturais.

Essa avaliação buscará adaptar e aperfeiçoar as ferramentas e metodologias utilizadas, garantindo que sejam acessíveis e eficazes para os participantes das práticas musicais, independente de seu nível de surdez. Ao fazer isso, espera-se criar um ambiente inclusivo onde todos possam se envolver ativamente com a música, explorando novas formas de expressão e comunicação. Espera-se não apenas utilizar instrumentos tradicionais com processamento sonoro específico para o usuário surdo, como também explorar a comunicação com as mãos (com softwares específicos de reconhecimento de gestos manuais) e ampliar recursos de visualização. Uma exploração mais sistematizada de diferentes camadas sonoras por um mesmo músico também faz parte do escopo dos futuros passos da pesquisa.

O objetivo deste estudo vai além da criação de instrumentos; busca-se ampliar recursos que possibilitem um envolvimento ativo com a música, incentivando a criação e performance. Este estágio representa o ponto de partida para uma caminhada em direção a uma abordagem musical mais inclusiva, enfatizando o compromisso contínuo com práticas que enriqueçam a participação de pessoas surdas na música.

REFERÊNCIAS

- BIAP. Recomendação BIAP 02/1: Classificação Audiométrica de Deficiências Auditivas, 1996. Disponível em: <https://www.biap.org/fr/recommandations/recommendations/tc-02-classification/213-rec-02-1-en-audiometric-classification-of-hearing-impairments/file>. Acesso em: 8 jun. 2024.
- BIRNBAUM, D. M.; WANDERLEI, M. M.. A Systematic Approach to Musical Vibrotactile Feedback. **Proceedings of the International Computer Music Conference**, Copenhagen, Denmark, p. 397-404, ago. 2007 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/239931382_A_systematic_approach_to_musical_vibrotactile_feedback. Acesso em: 8 jun. 2024.
- CARTERETTE, Edward C.; FRIEDMAN, Morton P.. **Pain and Touch: Handbook of Perception and Cognition**. 2. ed. San Diego, California : Academic Press, 1996.
- CERVellini, N. H. **A criança deficiente auditiva e suas reações à música**. São Paulo: Editora Moraes, 1986.
- CERVellini, N. H. **A musicalidade do surdo: representação e estigma**. São Paulo: Plexus, 2003.
- CLARK, J. G;. Uses and abuses of hearing loss classification. **Asha: a journal of the American Speech-Language-Hearing Association**, [s. l.], p. 493-500, ago. 1981 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/16145943_Uses_and_abuses_of_hearing_loss_classification . Acesso em: 8 jun. 2024.
- EGLOFF, Deborah C.; WANDERLEY, Marcelo M.; FRISSEN, Ilja. Haptic display of melodic intervals for musical applications. **IEEE: Haptics Symposium (HAPTICS)**, San Francisco, p. 284-289, mar. 2018 DOI: <https://doi.org/10.1109/HAPTICS.2018.8357189>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8357189>. Acesso em: 8 jun. 2024.
- FINCK, Regina. **Ensinando Música ao Aluno Surdo: perspectivas para a ação pedagógica inclusiva**. Orientadora: Esther Beyer. 2009. Tese (Doutorado) - Curso de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18266/000727762.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 jun. 2024.
- EVELYN GLENNIE. **Evelyn Glennie**. [S.l.]. Evelyn Glennie, 2015. Disponível em: <https://www.evelyn.co.uk/hearing-essay/?fbclid=IwAR0vSOz->. Acesso em: 9 jun. 2024.
- FOURNEY, David; FELS, Deborah. - Creating access to music through visualization. **IEEE Toronto International Conference - Science and Technology for Humanity**, Toronto - Canadá , 26 set. 2009 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236660379_Creating_access_to_music_through_visualization. Acesso em: 9 jun. 2024.

FREIRE, S.; ARMONDES, A.; SILVA, R. Real-Time Symbolic Transcription and Interactive Transformation Using a Hexaphonic Nylon-String Guitar. **Computer Music Journal**, 45:4, 2021, pg. 20-39.

FRID, E.; LINDETORP, H. Haptic Music: Exploring Whole-Body Vibrations and Tactile Sound for a Multisensory Music Installation. **In Proceedings of the Sound and Music Computing Conference**, Torino, Italy, p. 68-75, jun. 2020 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343600888_Haptic_Music_-_Exploring_Whole-Body_Vibrations_and_Tactile_Sound_for_a_Multisensory_Music_Installation. Acesso em: 8 jun. 2024.

GOOD, Arla; REED, Maureen J.; RUSSO, Frank A.. Compensatory Plasticity in the Deaf Brain : Effects on Perception of Music. **Brain Sciences**, Toronto, Canadá., 28 out. 2014 DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/brainsci4040560>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4279142/>. Acesso em: 8 jun. 2024

INGOLD, Tim. Pare, Olhe, Escute! Visão, Audição e Movimento Humano. **Ponto Urbe: Revista do núcleo de antropologia urbana da USP, São Paulo**, v. 3, 2008. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.4000/pontourbe.1925>. Disponível em: <https://journals.openedition.org/pontourbe/1925>. Acesso em: 8 jun. 2024.

LACERDA, Catarina de Andrade. **Os “Batuqueiros do Silêncio”**: possibilidade de inovação pedagógica em ambiente não formal de aprendizagem com surdos. Orientador: Maria Fernanda Baptista Pestana Gouveia. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Educação, Ciências Sociais, Universidade da Madeira, Funchal, 2017. Disponível em: <https://digituma.uma.pt/bitstream/10400.13/1984/1/MestradoCatarinaLacerda.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2024.

MACE, R. L.; HARDIE, G. J.; PLACE, J. P. **Accessible environments toward Universal Design**. Reinhold, NY: Van Nostrand, 1991.

MOBMUPLAT: Mobile Music Platform. 0.39. USA: Iglesia Intermedia, 2013. Software de desenvolvimento de interfaces para aplicativos. Disponível em: <https://danieliglesia.com/mobmuplat/>. Acesso em: 8 jun. 2024.

MUSIC AND THE DEAF. Instituição de caridade voltada para o fomento da cultura surda através da produção musical, 2023. Disponível em: <https://www.matd.org.uk/resources/home.php>. Acesso em: 8 jun. 2024.

NATIVE INSTRUMENTS. Empresa de software e hardware para produção musical, design de som e performance, 2024. Disponível em: <https://www.native-instruments.com/en/products/maschine/production-systems/maschine-mikro/>. Acesso em: 8 jun. 2024.

ORTEGA, I. **Os efeitos da musicoterapia através do software Cromo™ Music em aspectos sensoriais, emocionais e musicais de crianças e jovens surdos: ensaio controlado randomizado**. Orientador: Prof. Dr. Mário Bernardes Wagner. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Médicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PEREIRA, Sarita Araújo. **A Utilização de Tecnologia para Ampliar a Experiência Sonora/Vibratória de Surdos**. Orientador: Cesar Adriano Traldi. 2016. Dissertação (Mestrado) - Curso de Música, Instituto das Artes, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/18027/1/UtilizacaoTecnologiaAmpliar.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2024.

PEREIRA, S. A.; SILVA, G. S. Performance da Banda Ab'Surdos:: desafios e possibilidades. **IX Encontro Regional Sudeste da ABEM: Educação musical: formação humana, ética e produção de conhecimento**, Vitória, ES, 2014. Disponível em: http://www.abemeducacaomusical.com.br/anais_ersd/v1/papers/925/public/925-2724-1-PB.pdf. Acesso em: 8 jun. 2024.

PIRES, J. L. G. *et al.* Qualidade da percepção sonora em sala de música para surdos. **XII Congresso Iberoamericano de Acústica**, Florianópolis, SC, ago. 2022. Disponível em: <https://sinteseacustica.com.br/wp-content/uploads/2023/09/9027.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2024.

PURE Data. 0.49. USA: Miller Puckette, 1996. Plataforma de desenvolvimento e linguagem de programação visual de código aberto. Disponível em: <https://puredata.info/>. Acesso em: 8 jun. 2024

REMACHE-VINUEZA, B. *et al.* Audio-Tactile Rendering: A Review on Technology and Methods to Convey Musical Information through the Sense of Touch. **Sensors**, [s. l.], v. 21, set. 2021 DOI: <https://doi.org/10.3390/s21196575>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/19/6575>. Acesso em: 8 jun. 2024.

REIS, Thiago Augusto Eugênio Guedes; CASTRO, Guilherme Augusto Soares de. Considerações na Criação e Produção de Música Instrumental para Pessoas Surdas: um relato de experiência composicional. **Sonora**, Campinas: Unicamp, ed. 13, Disponível em: <https://www.iar.unicamp.br/revista-sonora/revista/volume-7/edicao-13/consideracoes-na-criacao-e-producao-de-musica-instrumental-para-pessoas-surdas-um-relato-de-experiencia-composicional/>. Acesso em: 8 jun. 2024.

REIS, T. A. E. G.; FREIRE, S. Flexibilidade e adaptação: instrumentos musicais digitais para ampliar a participação ativa de pessoas surdas na música. **XXXIII Congresso da Anppom**, São João Del Rei, 2023. Disponível em: https://anppom.org.br/anais/anaiscongresso_anppom_2023/papers/1823/public/1823-7926-1-PB.pdf. Acesso em: 8 jun. 2024.

ROSSING, Thomas D.; MOORE, Richard F.; WHEELER, Paul A.. **The Science of Sound**. Inglaterra: Pearson, 2014.

SHIBATA, DEAN. Brains of deaf people rewire to 'hear' music (2001): University of Washington: Disponível em: <http://www.washington.edu/news/2001/11/27/brains-of-deaf-people-rewire-to-hear-music/>. Acesso em: 8 jun. 2024.

TODOS ESTÃO SURDOS. **Outro encontro marcado pela pesquisa do som no corpo surdo. Obrigado a Sociedade dos Surdos de Belo Horizonte pelo convite ao dia do Surdo e ao centro cultural Padre Eustáquio pelo espaço cedido**. Belo Horizonte, 3 jun. 2024.

Instagram: @todosestaosurdosbh. Disponível em:

https://www.instagram.com/reel/C7wvUbEOBRL/?utm_source=ig_web_copy_link&igsh=MzRIODBiNWFIZA==. Acesso em: 10 jun. 2024.

TODOS ESTÃO SURDOS. Sarau Todos Estão Surdos em Inhotim 24/09/2023.

Brumadinho, 29 set. 2023. Instagram: @todosestaosurdosbh. Disponível em:

https://www.instagram.com/tv/Cxqwb7XvNYJ/?utm_source=ig_web_copy_link&igsh=MzRIODBiNWFIZA==. Acesso em: 10 jun. 2024.

TODOS ESTÃO SURDOS. Um vídeo que faz parte de uma série de pesquisas voltada à experiência sonora no corpo surdo. Em breve traremos mais materiais e discussões sobre o assunto. Se liguem!! Belo Horizonte, 3 jun. 2024. Instagram: @todosestaosurdosbh. Disponível em:

https://www.instagram.com/reel/C7wvUbEOBRL/?utm_source=ig_web_copy_link&igsh=MzRIODBiNWFIZA==. Acesso em: 10 jun. 2024.

UNESP. Museu do Homem Nervoso. Disponível em:

https://www2.ibb.unesp.br/nadi/Museu2_qualidade/Museu2_como_funciona/Museu_homem_nervoso/Museu2_homem_nervoso_somestesia/Museu2_homem_nervoso_pele.htm. Acesso em: 9 jun. 2024