

Musi

Interfaces musicais  
experimentais

Nicolas Torresan (Nº USP 8922031)  
Orientadora: Giselle Beiguelman

Trabalho de conclusão de curso II  
FAU - USP | Design | São Paulo | 2023

NICOLAS TORRESAN

**MUSI:**

Interfaces musicais experimentais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo, campus Butantã, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Design.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Giselle Beiguelman

**SÃO PAULO**

**2023**



## Agradecimentos

Agradeço a todos os professores do Curso de Design da FAUUSP, e todos os amigos que tive o prazer de conhecer durante o curso. Além de aprender a ser designer, também aprendi a ser uma pessoa melhor com todas experiências compartilhadas.

Agradecimentos especiais à:

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Giselle Beiguelman, que orientou este trabalho com sua capacidade única de expandir nossos horizontes em todas as conversas.

Caroline, pelo carinho, por suas ideias originais e por todo seu apoio. O resultado deste TCC seria muito diferente sem você.

Minha mãe, pela ajuda na montagem do protótipo final, por me ajudar a organizar minhas ideias durante o desenvolvimento deste trabalho e por ser uma ótima mãe.

A todos que participaram dos testes de protótipo, sua atenção e disponibilidade foram extremamente importantes.

# Índice

1. Introdução.....	6	Diversão nos jogos .....	26
Resumo .....	7	Materiais sobre composição .....	27
Abstract .....	7	3. O hardware.....	28
Por que música para explorar interfaces?.....	8	Ideia central .....	29
Metodologia .....	8	Desenvolvimento e construção do protótipo .....	30
2. Pesquisa.....	10	Desenvolvimento .....	30
Análise de instrumentos acústicos.....	11	Construção .....	31
Amplitude .....	11	Resultado final .....	32
Frequências .....	12	4. O software.....	38
Timbre .....	13	Ideia central .....	39
Organização visual das notas e outras observações	13	Programação .....	40
Sistemas de notação visual .....	15	Interface visual .....	41
A introdução da eletrônica e da computação na música	20	Modos de jogo .....	43
Jogos digitais para o ensino de música .....	22	5. Testes de usuário.....	46
Jogos de ritmo .....	22	Testes de usuário .....	47
Testes de conhecimento .....	23	6. Conclusão.....	56
Brinquedos musicais .....	23	Considerações Finais .....	57
Oportunidades .....	24	Referências .....	58
Interatividade em jogos de música .....	25	Bibliografias consultadas .....	59



# 1. Introdução

## Resumo

## Abstract

## Por que música como interface?

## Metodologia

## Resumo

Este trabalho parte de um desejo de pensar em novas possibilidades de interfaces para criação de música, resultando em um instrumento eletrônico e em um software companheiro, que tem como objetivo ser um ambiente virtual para estimular o aprendizado de música de forma engajante.

O objetivo principal é explorar possibilidades de novas interfaces para a linguagem musical através de sensores eletrônicos, com o intuito de quebrar barreiras da fisicalidade na criação musical, fazendo com que seja mais acessível para iniciantes, além de estimular a criatividade de músicos experientes, proporcionando novas formas de interagir com o som.

O projeto tem como inspiração o questionamento do uso de interfaces de interação com diversas linguagens, principalmente para sistemas complexos. Entre outras questões, o projeto interroga: nós usamos algumas ferramentas apenas por tradição? Há formas diferentes de fazer a mesma tarefa? Algumas linguagens são inacessíveis para alguns grupos de pessoas? São ergonômicas as interfaces que usamos? Nos restringimos de experiências melhores por limitações em interfaces? Podemos adaptar interfaces de outras áreas para melhorar certas atividades? Há interfaces que poderiam sacrificar precisão para se tornarem mais versáteis? E o contrário?

Palavras-chave: música, interface, jogos

## Abstract

This work comes from a desire to think new interface possibilities for musical creation, resulting in an electronic instrument and in a companion software that has the goal to be a virtual environment that stimulates engaging musical learning.

The main objective of this work is to explore the possibilities of new musical language interfaces through electronic sensors, with the purpose of breaking physical barriers in musical creation, making it more accessible to beginners and stimulating creativity in experienced musicians through new ways of interacting with sound.

It is born inspired by the questioning of the use of interfaces with multiple languages, especially for complex systems. Do we use some tools only because of tradition? Are there different ways of accomplishing the same task? Are the interfaces we use ergonomic? Do we restrict ourselves from better experiences because of interface limitations? Can we adapt interfaces from other knowledge areas in order to improve certain activities? Are there interfaces that could sacrifice precision in order to become more versatile? What about the other way around?

Keywords: music, interface, games

# Por que música para explorar interfaces?

A música é uma linguagem com diversas variáveis, que pode ter como propósito a expressão individual, e sua interpretação é sempre subjetiva. Esses parâmetros fazem dela uma linguagem complexa e que pode ser construída de infinitas formas, dependendo da criatividade individual.

Isso apresenta um desafio interessante na construção de interfaces, pois torna-se necessário o uso de diversos gestos que podem ser combinados em qualquer ordem. Ao criar um instrumento, é importante pensar quais variáveis o usuário poderá manipular, quais podem ser manipuladas simultaneamente, e o que não valeria a pena para o propósito do instrumento. O quanto de precisão o usuário precisa ter para se expressar também é um fator a ser analisado, pois há instrumentos experimentais que facilitam muito a expressão, porém, em contraposição, sacrificam a precisão sonora.

Outro fator é pensar que muitos instrumentos possuem uma curva de aprendizado, cujo começo é bem desgastante. O design do instrumento está diretamente relacionado a isso, seja pela dificuldade física de tocá-lo ou como sua forma nos faz entender conceitos relacionados à teoria musical.

O maior interesse no desenvolvimento do projeto foi pensar uma ferramenta que permitisse a pessoas sem nenhuma experiência, sentirem-se convidadas a expressar-se musicalmente. Isso resultou no hardware Musi, aqui apresentado. O software que o acompanha decorreu da percepção sobre como a leitura da música e a educação musical também influenciam na forma que os instrumentos são usados.

Com esse objetivo, foi necessário ouvir feedbacks de pessoas sem conhecimento teórico de música durante as ideações. Uma abordagem empática, entendendo sugestões e tentando traduzi-las na construção das interfaces contidas no projeto foi fundamental para o resultado do projeto.

## Metodologia

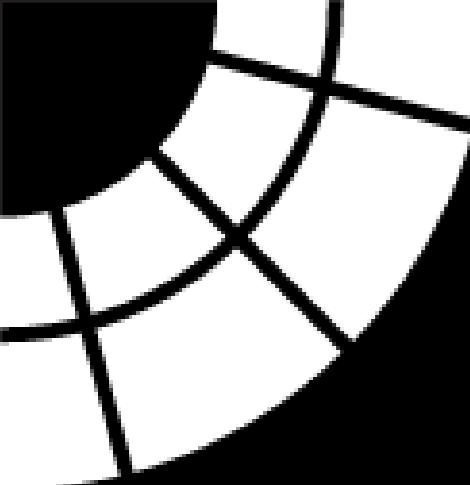
O desenvolvimento do projeto inicia-se com uma pesquisa sobre como diferentes instrumentos acústicos são manipulados para a alteração de características físicas do som, o que permite entender porque certas escolhas de design são feitas na criação de instrumentos. Com o desenvolvimento da pesquisa, sentiu-se a necessidade de explorar formas de escrita musical. Para complementar, foi realizada uma breve pesquisa da história da eletrônica e computação na música. A partir disso, foi possível entender oportunidades para criação de instrumentos eletrônicos que conseguem quebrar esses padrões de design com a separação entre os gestos usados para tocar e a produção física do som.

Em seguida foram iniciadas ideias de diferentes projetos de instrumento, com um foco em um instrumento que tanto iniciantes quanto músicos mais avançados poderiam aproveitar, o que também resulta na ideia de um software companheiro ao instrumento, que funciona tanto como guia para iniciar o uso do instrumento, quanto como uma ferramenta pedagógica para o estímulo à composição musical. Para entender como fazer isso de forma lúdica, foram lidos artigos sobre jogos com essa temática. Também foi muito importante o estudo de artigos sobre composição musical, para conceituar formas de estimular pessoas sem conhecimento técnico a compor usando o instrumento desenvolvido.

A etapa seguinte foi a ideação do instrumento, análise dos conceitos, testes com hardware (para entender a viabilidade da construção de um protótipo com componentes comerciais), criação de protótipos simples e, finalmente, a construção do protótipo final.

Durante esse processo também foi estudado o desenvolvimento de um software que pudesse ser um ambiente virtual que estimule a expressão de ideias musicais.

Na etapa final do projeto, foram realizados diversos testes com usuários de diferentes níveis, para entender oportunidades de melhoria do instrumento, análises sobre em que medidas o método de tocar estimula novas ideias, e se o software traz motivação e tem sucesso em transmitir os conceitos de composição de forma não técnica.



## 2. Pesquisa

### Análise de instrumentos acústicos

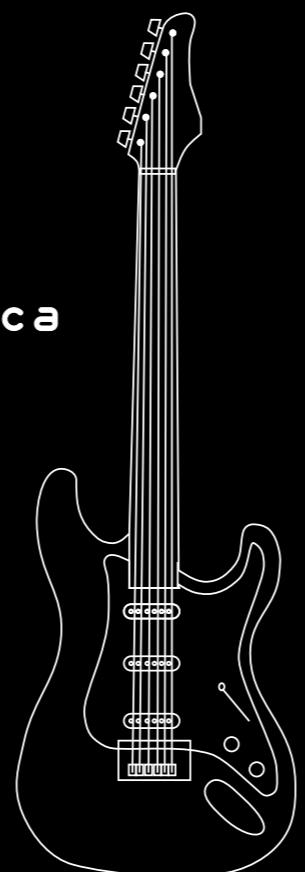
#### Sistemas de notação visual

#### A introdução da eletrônica e da computação na música

#### Jogos digitais para o ensino de música

#### Interatividade em jogos de música

#### Materiais sobre composição



### Análise de instrumentos acústicos

A análise dos instrumentos se baseou em entender como a produção de som influencia o design e a forma como são tocados. Para isso, foram escolhidos alguns instrumentos com diferentes formas de excitação para obter um panorama bem amplo.

De acordo com Roads “Uma excitação é uma ação que causa vibração, como o golpe de um arco, o impacto de uma baqueta ou um sopro de ar. Uma ressonância é a resposta do corpo de um instrumento à vibração da excitação.” (ROADS, 1996, p. 268).

Também se utilizou o sistema Hornbostel-Sachs de classificação de instrumentos para basear a escolha dos instrumentos a serem analisados com detalhes. No fim, foram escolhidos os instrumentos violão, violino, triângulo, piano, bumbo, flauta, trombone e ocarina. Expor a análise detalhada de cada instrumento individualmente seria muito extensa e repetitiva, portanto aqui estão registradas as conclusões gerais.

A análise teve foco em entender como o instrumentista consegue localizar as notas nos instrumentos, seja se baseando no tato ou na visão, e também como consegue manipular três características físicas do som: amplitude, frequência e timbre.

Deve-se destacar também que durante todo o trabalho, a análise é feita com o foco em música ocidental. Enquanto muito poderia ser apreendido com o uso dos instrumentos em culturas não ocidentais, isto tornaria a pesquisa muito extensa.

#### Amplitude

A amplitude de uma onda sonora é a variação na pressão do ar causada pela onda, nosso cérebro interpreta essa informação física como o volume do som. Boa parte dos instrumentos necessitam de caixas de ressonância para aumentar a amplitude e se tornarem mais audíveis. Formas ovas geram uma caixa de ressonância em que as ondas sonoras são refletidas múltiplas vezes, e consequentemente se sobrepõem. Quando essa sobreposição é construtiva, isso resulta no aumento da amplitude. Isso resulta na necessidade de uma estrutura oca na maioria dos instrumentos tradicionais, podendo citar exceções como o triângulo, sinos, entre outros em que o material do instrumento naturalmente produz sons de alto volume no impacto. Essa necessidade explica o formato de instrumentos com grandes espaços ocos na estrutura.

Normalmente isso é manipulado nos instrumentos tradicionais com o aumento da força da excitação. Seja ao tocar um tambor com mais força ou soprar mais intensamente um instrumento de sopro.

## Frequências

Na música é chamada de altura musical e é nossa percepção da frequência de vibração da onda sonora no ar que é medida em hertz. Na linguagem musical, frequências específicas são associadas à notas para organização. A emissão de uma nota no meio físico costuma gerar uma frequência principal, e múltiplas frequências que medidas em hertz são números múltiplos inteiros da frequência principal. Essas sub frequências são chamadas de harmônicos. Esse fenômeno natural foi observado por civilizações antigas e tentativas de replicar esse fenômeno serviram de base para escala maior (dó-ré-mi-fá-sol-lá-si) (SCHOENBERG, p. 61). Se comparar uma frequência base, com uma frequência duas vezes maior, a percepção da característica intrínseca delas será muito semelhante, apenas mais aguda, então percebe-se que o sistema de notas pode ser considerado cíclico (Exemplo, a nota na frequência 440hz é percebida como Lá, e a nota da frequência 880hz também é percebida como Lá, porém mais aguda, essa diferença na percepção dos dois Lás na música ocidental é chamada de uma oitava).

Na música ocidental são usadas doze notas, a relação de uma nota para a próxima é chamada de “semitom”, quando as doze notas estão organizadas por semitons, pode-se dizer que estão organizadas em uma sequência cromática.

Nos instrumentos de corda, encontramos duas categorias principais. Instrumentos com múltiplas cordas em ordem linear, em que cada corda é usada para tocar uma única nota e elas são dispostas em ordem crescente de frequências, sejam cromáticas ou em uma escala. A outra são instrumentos com poucas cordas, posicionadas em paralelo contra uma superfície. O instrumentista pressiona o dedo contra a superfície de forma a reduzir o comprimento da onda a ser tocada quando a corda vibra (e consequentemente aumentar a frequência). Alguns desses instrumentos limitam as notas a serem tocadas através de trastes ao longo do instrumento, enquanto outros não possuem esse impeditivo e possibilitam tocar as frequências entre as notas.

A estrutura dos instrumentos aerofones se baseia na formação de colunas de ar de diferentes comprimentos, que ao interagem com o fluxo de ar e outros componentes do instrumento vibram e emitem som. A frequência do som gerado pode ser manipulada através da mudança dos comprimentos dessas colunas de ar. No caso de instrumentos semelhantes a flauta, há múltiplos buracos, que ao serem tampados aumentam o tamanho da coluna de ar. Também há casos de instrumentos como o trombone em que um mecanismo deslizante permite ao instrumentista alterar o tamanho total do tubo. Outros instrumentos como o trompete, usa um sistema de válvulas, em que o caminho do ar é alterado para se tornar mais curto ou extenso.

Em boa parte dos casos analisados, as frequências estão organizadas de forma linear devido à natureza física da produção de som. Manipular a extensão de vibração da corda e alterar o tamanho da coluna de ar de forma linear, resulta em uma geração de frequências organizadas de forma linear. O fato da percepção das notas dentro de um eixo de “graves” para “agudas” também é simples de entender, o que resulta na natureza de organizar de forma linear as notas que podem usar múltiplas fontes geradoras de som (Exemplo: múltiplas cordas).

Um caso especial de instrumento de sopro analisado seria a ocarina, em que o formato não tubular da ocarina faz com que as frequências sejam controladas através da superfície de abertura. Quanto mais espaço para o ar escapar, mais agudas as frequências. Isso torna importante o tamanho de cada buraco para o controle de frequência e gera uma quebra na organização linear das

notas no instrumento. Não há uma sequência visualmente explícita da ordem em que os dedos devem ser levantados para tocar todas as notas possíveis de forma linear devido à influência do tamanho dos buracos. Do ponto de vista do design, isso pode por um lado trazer uma dificuldade no aprendizado do instrumento, mas pode ser uma oportunidade para tornar o uso do instrumento mais ergonômico, fazendo posições das mãos mais simples. Também se torna possível a criação de uma casca com uma estética única.

Quanto mais grave a frequência dos sons emitidos, maiores os instrumentos costumam ser. O baixo precisa de uma escala maior que a do violão para poder emitir as frequências mais graves, além de cordas maiores. Tambores de membrana precisam de mais área para gerar sons graves. Instrumentos de sopro precisam de tubos de ressonância mais longos para emitir sons graves.

## Timbre

O timbre é a característica de um som que torna um instrumento distinguível de outro com o mesmo volume e frequência. Ele é determinado pela mistura da frequência principal com harmônicos e sobretons em uma onda sonora, que é percebido por nós como um único som.

O timbre dos instrumentos tradicionais costuma ser a característica que o músico possui menos controle sobre, pois ela depende principalmente dos materiais utilizados na construção, impossíveis de se alterar, e do formato das caixas de ressonância, que altera quais harmônicos são amplificados, mas que sua manipulação seria mecanicamente muito complicada para ter efeitos significativos sobre o timbre, além de afetar a afinação em alguns instrumentos de sopro. Portanto, costumam haver poucos mecanismos para alterar essa característica.

Entretanto, são criadas muitas técnicas para manipulação dessa característica, como abafar as cordas de um cordofone ou as saídas do instrumento de sopro, ou usar outros materiais em contato com partes dos instrumentos. Também são emprestadas técnicas de outros instrumentos, como o uso de arcos em instrumentos de cordas não criados para isso. Há a possibilidade de trocar componentes não fixos em instrumentos para a manipulação (como boquilhas em alguns instrumentos de sopro). Em instrumentos percussivos que não necessitam de manipulação de notas, surgem inúmeras possibilidades de técnicas inusitadas, considerando todas as variações possíveis de gerar a excitação desses instrumentos.

## Organização visual das notas e outras observações

Percebe-se que alguns instrumentos usam marcações visuais para indicar a localização de certas notas, como no caso dos violões e outros instrumentos de corda com traste em que é possível ver marcações de trastes específicos, facilitando a localização das notas pros músicos nos instrumentos com várias cordas.

Um caso extremo em que a marcação visual é evidente no design do instrumento são as teclas do piano, em que as notas brancas representam a escala de dó maior e um mesmo padrão se repete a cada oitava. Nesse caso é muito clara a influência da cultura na construção do instrumento, pois esse sistema é baseado em uma teoria musical já existente.

Não foram encontrados muitos casos de marcação além desses, mas é possível encontrar vários exemplos onde os instrumentistas fazem sua própria marcação, como no caso de algumas harpas, em que é comum ver cordas coloridas para representar notas diferentes.

É possível notar que uma grande quantidade de instrumentos analisados aqui estão limitados a tocar as doze notas da harmonia ocidental, outros, apenas as sete notas de uma escala maior. Não são muitos casos em que é possível tocar naturalmente as frequências intermediárias, mas vale ressaltar que outras culturas usam diferentes sistemas de harmonia que utilizam diferentes notas.

Nota-se que em grande parte dos instrumentos o principal meio de manipulação é o uso das mãos. Isso abre a questão, o que seria possível fazer com instrumentos que focassem no uso de outras partes do corpo?

Foi marcante perceber o grande potencial dos músculos da boca e da garganta como interface ao analisar instrumentos de sopro. Cada um possui formas específicas para soprar, sendo possível alterar o timbre deles se soprados de outras formas. Esse potencial é realizado totalmente pela voz humana. Também seria uma oportunidade de exploração temática.

## Sistemas de notação visual

A representação visual da música está intrinsecamente ligada ao design do instrumento por ser uma forma de aprendermos a tocar, e a registrar formas de tocar. Diante disso, sentiu-se a necessidade de explorar alguns sistemas de representação.

A representação visual mais comum de uma peça musical é a partitura. Ela é composta de conjuntos de símbolos, que representam a duração da nota, em relação ao ritmo da peça musical. Esses símbolos são dispostos em uma malha de cinco linhas, a posição desse símbolo em relação às linhas representa uma nota diferente. Em algumas partituras há instruções escritas para o instrumentista manipular o volume ou o timbre do instrumento.

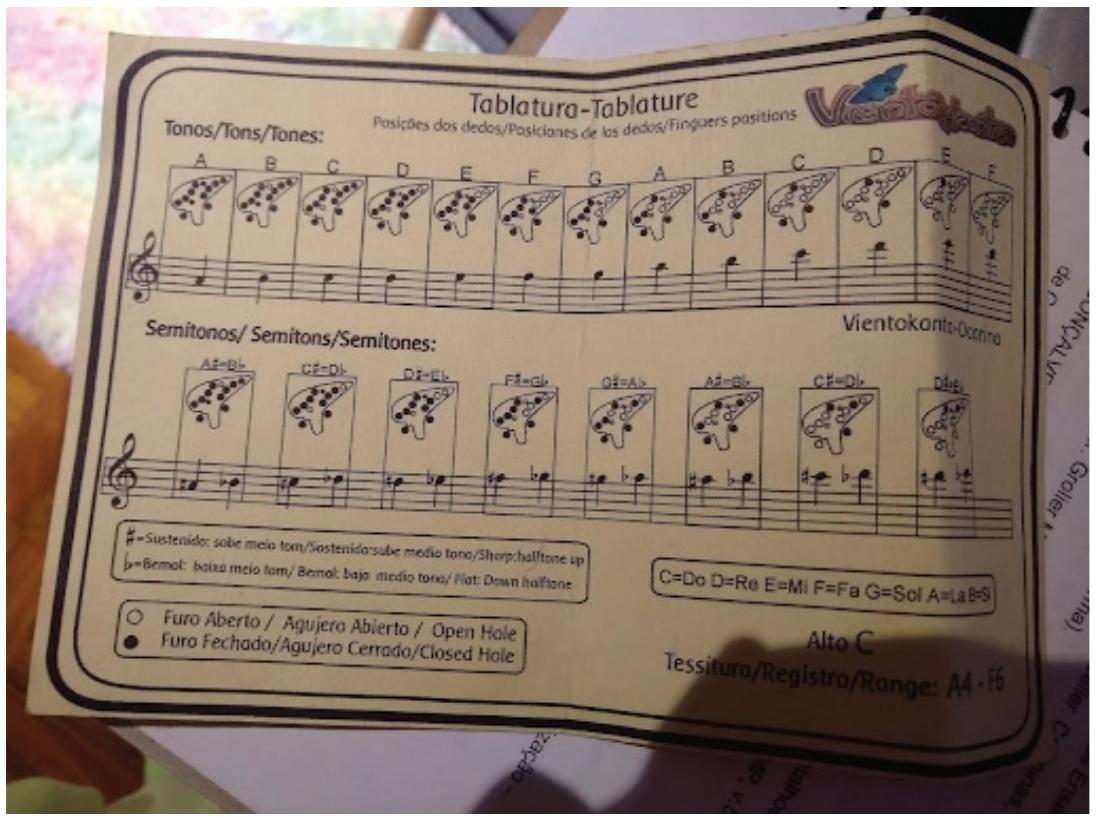
A partitura tem o foco em expressar a frequência e duração das ondas sonoras, tornando possível sua interpretação em qualquer instrumento, o que consequentemente desassocia o som da forma física do instrumento. Entretanto, não há como entender uma partitura sem conhecimento de teoria musical, devido a ser baseada na escala maior da harmonia tonal.



**Figura 1:** Partitura. Foto por Hermaion

**Fonte:** <https://www.pexels.com/photo/musical-notes-104084/>

Para ensinar instrumentos aos músicos, muitas vezes são usados desenhos dos instrumentos para indicar as ações para conseguir as notas.



**Figura 2:** Exemplo de indicação das notas em uma ocarina.

Acervo Pessoal.

Há um grupo de alternativas a esse sistema que é baseado em abstrações da forma de instrumentos musicais. O exemplo mais popular seriam tablaturas para instrumentos de corda com trastes, no qual cada linha representa uma corda, e são colocados números para representar a casa em que a nota deve ser tocada. Alguns símbolos mostram também formas de tocar que podem influenciar o timbre, ou o uso de gestos específicos para alcançar sons com mais facilidade. Normalmente não há uma duração de notas explicitamente indicada, mas a distância entre as notas pode ser usada para pressupor a duração e quando começar a tocar a próxima. Devido à simplicidade e popularidade desse sistema, muitos músicos ignoram o aprendizado da partitura.

#### Intro (They play the same thing twice, but the end changes)

```

Eb---3---2---0---0-----2p0-----|  

Bb---3---3---3-----0h3-----|  

G#---2---2---2---0-----0-----|  

Eb---0---0---0---2---2h3-----2-----2h3-----2---|  

Bb-----0-----0-----3-----0-----|  

Eb-----|  

                                         end

```

**Figura 3:** Tablatura da música Lucia, da banda Polvo

Acervo Pessoal

Percebeu-se uma oportunidade interessante de analisar sistemas não tradicionais e podemos usar alguns brinquedos e jogos para mostrar isso.

O brinquedo Cadete Melodia oferece muitas alternativas de representação visual das notas musicais na sua interface. O brinquedo possui uma série de botões que ao serem pressionados emitem notas musicais. Ele vem com um conjunto de cartões impressos que devem ser colocados na frente de sua interface; o cartão sobrepõe símbolos únicos à botões na parte inferior, e na parte superior mostra uma sequência dos símbolos, que ao serem tocados na parte inferior, correspondem à uma música popular. Existem vários cartões com símbolos diferentes, esses podem ser apenas cores, formas geométricas, ou números, mas poderiam ser usadas qualquer forma de representação visual e seu uso continuaria simples.

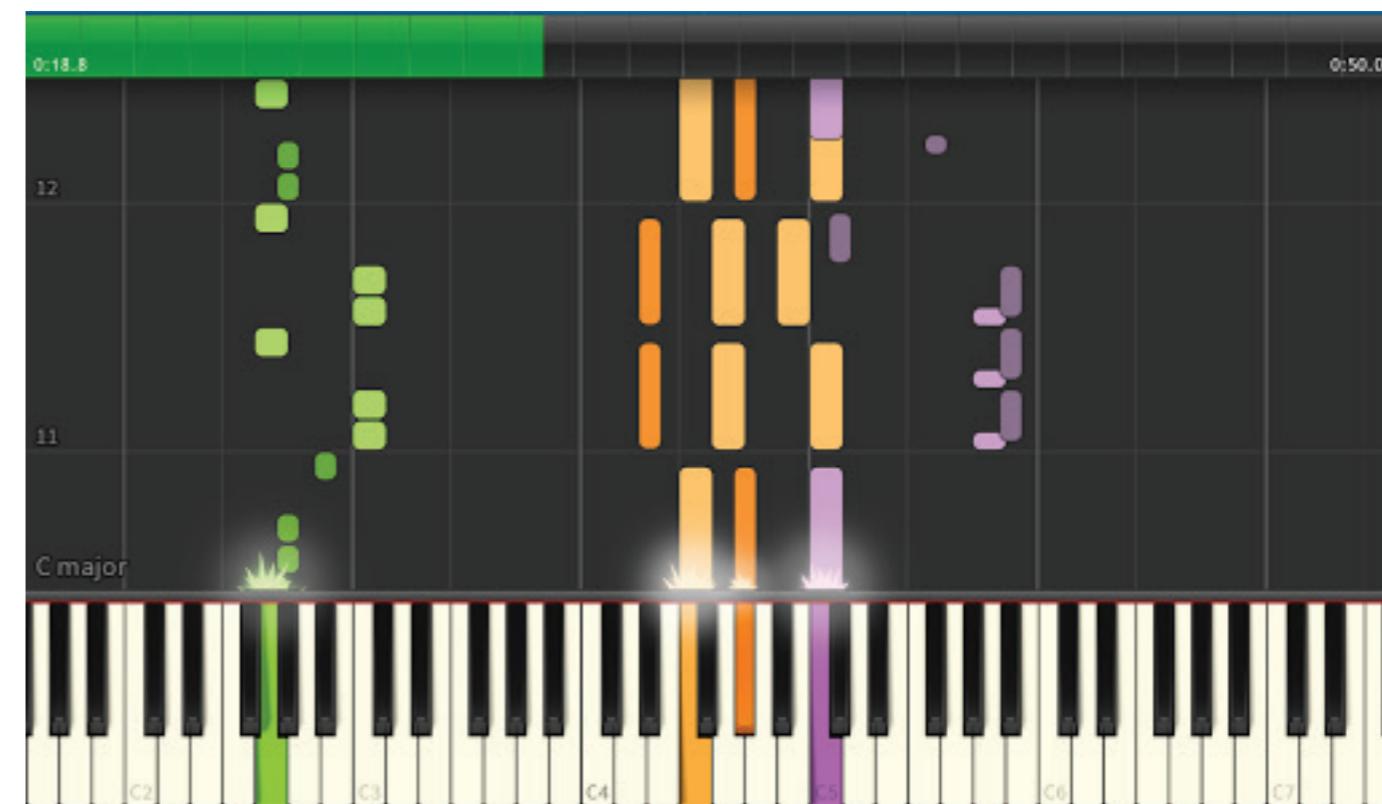


**Figura 4:** Brinquedo Cadete Melodia

**Fonte:** <<https://www.youtube.com/watch?v=5xDa-JfcoA>>

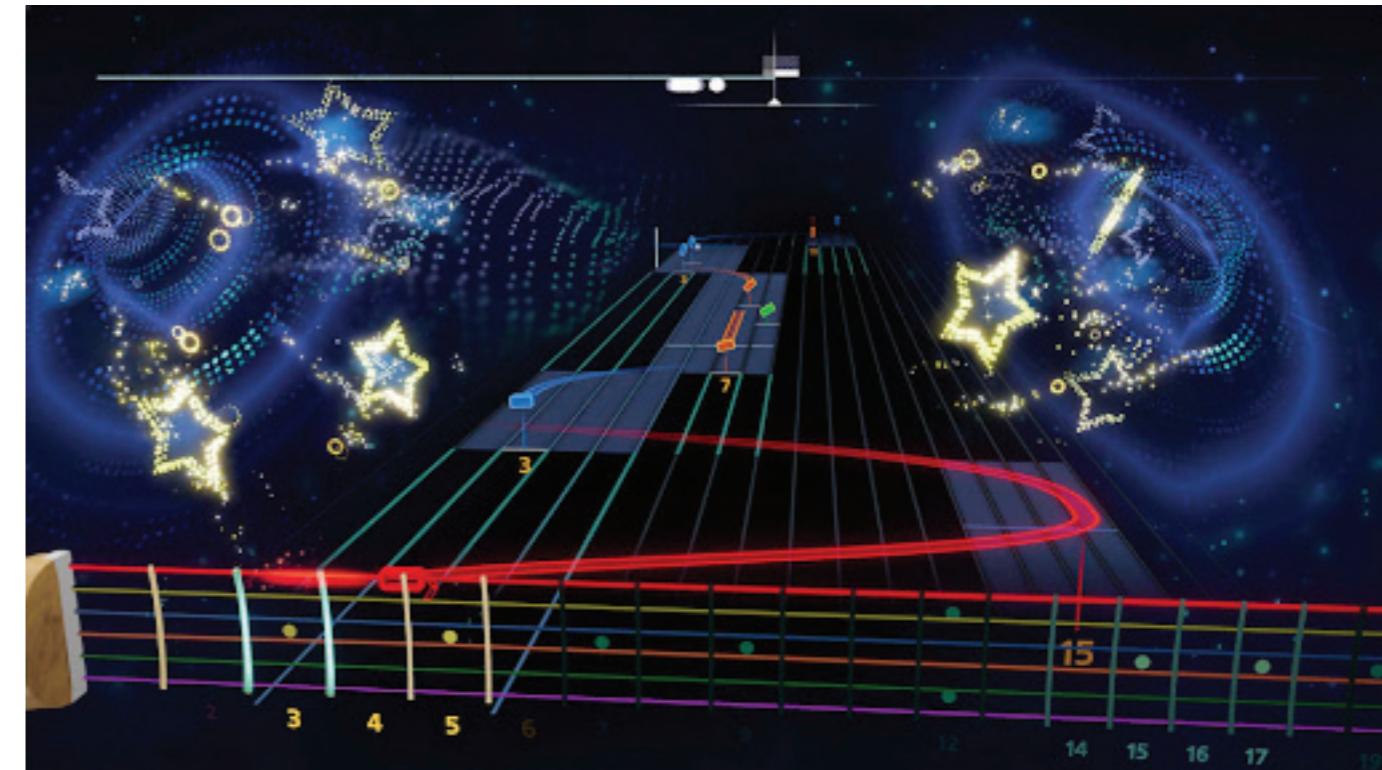
É interessante destacar o uso de softwares para fazer essa representação. A possibilidade do movimento na representação visual, resulta em uma representação mais simples de ritmos. Podemos mencionar o software Synthesia, onde é mostrado um desenho de um piano, e as notas aparecem como retângulos na parte superior da tela, e seguem um caminho descendo até encostarem no piano, indicando o momento em que a tecla deve ser pressionada. A duração das notas é representada pelos seus respectivos tamanhos.

Outra referência é o jogo Rocksmith, em que o jogador usa uma guitarra como controle, e o objetivo é tocar músicas populares. A interface é uma imitação de um braço de guitarra com baixa opacidade, e as notas se aproximam até colidirem com o instrumento, indicando o momento em que devem ser tocadas. O tamanho das notas indica a duração e a cor representa a corda em que elas devem ser tocadas. Nas versões mais atuais, também são mostrados números das casas abaixo das notas, facilitando a visualização ao dialogar com tablaturas. Apesar da especificação de cordas, o jogo funciona detectando a frequência emitida pelo instrumento, sendo possível tocar a mesma nota em cordas diferentes e ter sucesso.



**Figura 5:** Software Synthesia

**Fonte:** <<https://synthesiagame.com/>>



**Figura 6:** Imagem do jogo Rocksmith.

**Fonte:** <<https://www.ubisoft.com/pt-br/game/rocksmith/plus>>

# A introdução da eletrônica e da computação na música

A eletrônica passa a influenciar a música com a criação dos transdutores eletroacústicos. Segundo Agarwal, 2005, “Um transdutor é um dispositivo que converte energia de uma forma para outra”. Quando se torna possível a conversão de sons em sinais elétricos, e a reversão desse processo (que resulta em alto falantes), se torna possível manipular o som como sinais elétricos e a criação de instrumentos eletrônicos analógicos.

Uma das possibilidades marcantes é a substituição de caixas de ressonância por microfones. Um exemplo notável seria a criação da guitarra elétrica, que elimina a caixa de ressonância do design do violão e substitui por captadores eletromagnéticos. O som transformado em energia é enviado para um alto-falante, onde seu volume pode ser aumentado. O uso do processamento de sinais elétricos para controlar o volume é apenas um dos usos da manipulação do sinal elétrico, pois com o uso de outros componentes eletrônicos que atuam sobre o sinal, se torna possível alterar timbres de formas que seriam quase impossíveis mecanicamente.

Os transdutores também tornam possível a criação de sons através de sinais elétricos produzidos por osciladores e outros componentes, que são traduzidos em sons reais. Isso resulta em um impacto significativo sobre a interação entre excitação e ressonância, de acordo com Valente:

“Se por um lado, a relação necessária e unívoca entre gesto e som está desfeita, por outro o emprego da eletricidade em processos de geração de sons torna possível o engendramento de outras interfaces gestuais. Tal é a situação daqueles que podemos

identificar como instrumentos analógicos. Neste caso, não há mais necessariamente um gesto corpóreo que produza vibrações mecânicas ao interagir com um corpo sólido, mas sim um movimento que é convertido em energia elétrica, produzindo modulações em um sinal que, ao final do processo, é reconduzido à forma de vibrações acústicas de natureza mecânica por meio da membrana de um alto-falante.”

(VALENTE, 2020, p. 33)

Posteriormente, com a computação, o desenvolvimento de instrumentos eletrônicos digitais se torna possível utilizando dados binários em sinais elétricos que se transformam em som.

“Se o sinal analógico consiste em uma variação contínua da corrente elétrica, que mantém uma conexão energética com sua origem ao transmitir estruturas ondulatórias complexas pela variação de sua amplitude no tempo, o sinal digital é essencialmente descontínuo. Sua natureza é a da ruptura intermitente, que produz uma representação informacional do sinal recebido, que não mais a ele se assemelha energeticamente, mas é resultado de sua conversão a um sistema de lógica simbólica que lhe é completamente estranho. Se no campo analógico, observamos a transdução como operação fundamental, o campo digital é erigido sobre uma operação generalizada de tradução, de conversão da informação de acordo com um código específico, sendo unicamente possível reconstruir o sinal original se for realizado um processo de descodificação correspondente, capaz de realizar a conversão da informação binária em continuidade sensível. Em

um instrumento digital, não é possível estabelecer uma conexão direta e inequívoca entre gesto e resultado 40 sonoro. Todo gesto é convertido em uma variação de voltagem, amostrada em sinais binários e convertida em sinal de controle.”

(VALENTE, 2020, p. 39-40)

O desenvolvimento da tradução de informações binárias em sons, resulta na criação de programas sintetizadores que têm controle absoluto sobre os harmônicos, sendo possível criar infinitas variações de timbres. Esses sintetizadores muitas vezes são baseados em osciladores eletrônicos, gerando ondas simples que podem ser combinadas quantas vezes o usuário quiser para gerar timbres mais complexos. Muitas vezes também são construídos com base no funcionamento de instrumentos reais, simulando como as variações de excitação e o sistema ressonante influenciam o timbre ao longo do tempo. Como não há dependência da materialidade, o timbre passa a se tornar o foco no estudo dos instrumentos digitais.

Percebe-se uma necessidade do controle dos sintetizadores através de gestos, e de um sistema universal para recepção das informações binárias que ativam os sintetizadores. Assim, foi criado o protocolo MIDI. Esse sistema recebe múltiplas informações de uma interface, principalmente qual nota deve ser tocada, volume a ser tocado e se a nota está pressionada ou não (para controlar a duração). Essas informações são baseadas em números de 0 a 127. A adoção da indústria de instrumentos e software a esse sistema e sua versatilidade o manteve relevante até hoje, apesar do surgimento de inúmeras alternativas que tentam melhorá-lo.

O formato de interface mais comum de Controlador MIDI, são controladores que imitam pianos e possuem sensores que detectam a velocidade em que cada nota foi tocada. Normalmente são acompanhados de potenciômetros em diversos formatos para o envio de outras informações MIDI que permitem o usuário alterar características do timbre do instrumento.

Também se torna possível a criação de arquivos com informações MIDI ordenadas em sequência, que podem ser usados para reproduzir uma música inteira em um sintetizador. Com isso, também são criados programas para transformar esses dados em representações visuais.

A consequência de uma interface em que dados são traduzidos e transformados em som por um programa de computador, é a possibilidade de tocar timbres completamente diferentes com os mesmos gestos. Outro ponto relevante, o feedback da ação do usuário acaba se tornando indireto. Não há mais vibrações no instrumento. O aparecimento do som depende da velocidade de processamento do computador. Para contornar isso podem ser criados feedbacks artificiais ao processar os dados enviados, por exemplo uma luz no instrumento acender ao tocar certas notas, e a cor da luz variar de acordo com a nota tocada, ou componentes que simulam uma vibração tátil.

# Jogos digitais para o ensino de música

“O maior desafio que os instrutores de música encontram é transformar a admiração inata dos jovens pela música em interesse contínuo e foco no aprendizado. Mesmo quando os estudantes possuem sorte o suficiente de ter acesso à educação musical, muitos desanimam, e muitos abandonam o estudo formal de música completamente” (Mota, 2013).

Ao perceber a oportunidade de criação de um software para complementar o uso do Musi, com o propósito de estimular o usuário a explorar a criação de sons, surgiu a necessidade de pesquisar softwares e jogos digitais voltados ao ensino de música.

Um dos artigos mais influentes nessa pesquisa foi o texto Music Games in Education, de Ethan Hein (2014), que através de estudos de caso e pesquisas na área de ensino de música e jogos, mostra uma visão geral do potencial de jogos no ensino de música, e oferece sugestões de como professores de música podem usar essas ferramentas para o ensino.

Hein usa como referência Ruthmann (2006) para medir parte do sucesso dos jogos como ferramentas de ensino musical. Ruthmann lista três objetivos que tecnologias para educação musical devem alcançar, eles incluem:

1. Ampliar a participação em atividades musicais
2. Permitir criatividade musical através do improviso
3. O ensino amplo de composição musical

Hein usa uma divisão de jogos de música em três categorias: jogos de ritmo, softwares de ensino e brinquedos musicais; com o intuito de analisar o sucesso dessas categorias ao alcançar os objetivos.

## Jogos de ritmo

Os jogos de ritmo são aqueles que focam no jogador acertar notas no tempo correto. Podem funcionar desde o apertar de um único botão no tempo correto, como os jogos da série Rhythm Heaven, como podem ser mais complexos e até tentar simular instrumentos reais, como os jogos Guitar Hero e Rock Band. Essa é a categoria que tem maior sucesso comercial, e tem um efeito positivo na melhoria do ritmo dos jogadores, mas raramente tem outros efeitos na aquisição de conhecimento musical. Entretanto, os jogos que tentam simular instrumentos reais, estimulam os jogadores a querer aprender os instrumentos, mesmo em casos que nunca sentiram vontade de aprender anteriormente.

Parte do grande sucesso comercial dessa categoria é o uso de músicas populares nos jogos, uma oportunidade para o jogador mesmo sem nenhuma experiência se sentir um gênio da guitarra tocando hits de sua banda favorita.

## Testes de conhecimento

São jogos voltados exclusivamente ao ensino, principalmente através do uso de questionários. Eles conseguem se aprofundar muito nos conceitos teóricos e testar o quanto foi aprendido com sucesso. Se aproximam muito do ambiente de uma sala de aula, então são adotados mais que as outras categorias por professores de música.

Entretanto, o maior prazer do jogador nesta categoria costuma ser o desenvolvimento pessoal, há pouca diversão no ato de jogar, o que resulta em pessoas que ainda não tem habilidades musicais se sentirem pouco estimuladas a usá-los, funcionando melhor como um complemento. Muitas vezes são como cadernos de perguntas e respostas digitais.

Esses softwares têm mais sucesso quando aproveitam o fato de estarem em interfaces interativas, com faixas de som mostrando o conceito a ser ensinado dentro de um contexto, e feedbacks imediatos das ações do jogador.

Um dos fatores que limita o interesse de jogadores é que a linguagem técnica é desestimulante para iniciantes, pois no início de seu aprendizado, quando ainda não se sabe como aplicar os conhecimentos, pode ser bem desgastante.

## Brinquedos musicais

Brinquedos musicais digitais são, basicamente, instrumentos virtuais. Eles produzem som com a interação do usuário, desde uma tentativa de simular um piano dentro de uma tela até métodos totalmente inovadores de produzir som num contexto virtual.

A diversão do usuário nesta categoria normalmente se resume à exploração do instrumento virtual e o prazer de produzir sons, raramente tendo algum objetivo a ser alcançado ou orientações de caminhos a serem seguidos. Enquanto essa liberdade excessiva pode ser muito boa para alguns usuários, outros se sentem facilmente desestimulados.

## Oportunidades

É perceptível que há diversas oportunidades a serem exploradas no desenvolvimento de jogos, principalmente tratando-se de estimular a criatividade e fazer um ensino mais técnico que ao mesmo tempo seja estimulante. Hein deixa quatro orientações para o sucesso da educação musical através de softwares:

- 1. Interação com música generativa:** criar ambientes virtuais em que o jogador pode fazer ações que criam música mas não estão necessariamente relacionadas ao uso do instrumento em si, mas sim com interações de elementos que produzem som, pois isso abre liberdade criativa de uma forma não tradicional
- 2. Evitar o quadro branco:** em softwares que têm o principal intuito de compor uma peça, fazer o estudante começar do vazio é muito intimidador. É necessário estímulos para que as ideias iniciais sejam produzidas rapidamente, seja através de um uso muito simples ou do próprio software sugerir pontos de partida.
- 3. Estimular a interação com softwares que não são propriamente jogos:** usar ferramentas que a música possa ser produzida ou traduzida como uma experiência sinestética.
- 4. Motivar a criação de jogos musicais:** dar ferramentas ao estudante para criar seus próprios jogos, sejam digitais ou não.

## Interatividade em jogos de música

Além de entender os potenciais de jogos na educação musical, também é necessário entender quais elementos de design são usados para estimular o jogador e desenvolver uma interação que faça sentido. Todos os autores pesquisados enfatizam a importância de induzir um estado de flow para o engajamento do jogador. Coincidentemente, esse estado é muito importante para o aprendizado musical (HEIN).

Cinco elementos são necessários para induzir o flow nos jogos (Csíkszentmihályi, 2009):

1. Feedback imediato e direto na balança entre habilidade e desafio
2. União entre ação e percepção, preenchendo totalmente a atenção
3. Concentração e foco contínuo
4. Sensação de controle pessoal da situação e liberdade de gerar possibilidades
5. Perda do sentimento de auto-consciência

Focando principalmente em jogos de música, encontramos sete elementos que motivam a interação (Kayali & Pichlmair), que podem ser utilizados de referência ao pensar a criação de um jogo ou software musical:

- 1. Combinação de elementos musicais:** permitir ao jogador usar elementos musicais previamente criados para criar peças completas.
- 2. Ação rítmica:** a forma de jogabilidade que motiva jogos de ritmo, fazer interações ao ritmo da música.
- 3. Quantização:** permitir que as notas só sejam tocadas em divisões específicas de um compasso rítmico. Enquanto isso limita a criatividade, torna muito mais simples a geração de sons que “façam sentido” dentro da música ocidental e ajuda jogadores que ainda possuem dificuldade com o ritmo se sentirem estimulados a criar.
- 4. Sinestesia:** a transformação do som em outras sensações físicas. Há muitas possibilidades nos jogos digitais traduzir sons em gráficos compatíveis, que adicionem à sensação de ação do jogador, além do som.
- 5. Simular uma performance:** o jogo imita uma situação de tocar um instrumento, cantar ou dançar ao vivo. Além da sensação de prazer que o jogador sente, isso também tem grande potencial em eliminar o medo de palco. Um relato sobre isso: “I have never sung in front of anyone before, but this was the best way to do it, I guess, because everyone was watching the screen” (Richardson & Kim, 2011, p. 288).

**6. Tocar livremente:** enquanto a maior parte dos jogos possuem objetivos pré definidos, os casos em que o jogador pode tocar o que quiser têm muito valor para a criatividade.

**7. Agentes sonoros:** são elementos visuais que ao serem interagidos pelo jogador geram sons. Isso torna possível interações inusitadas para a criação de brinquedos musicais e música generativa.

## Diversão nos jogos

Um dos materiais mais importantes para o desenvolvimento do software deste projeto foi o texto *The Four Fun Keys* de Nicole Lazzaro (2008), que traz a análise do que é diversão, do que torna uma experiência divertida e múltiplas formas como esse divertimento acontece. Há múltiplas formas de diversão e elas são divididas em 4 grandes grupos.

“Emoções diferentes surgem de mecânicas de diferentes estilos de jogos. Ao apresentar um objetivo e dividi-lo em pequenos passos alcançáveis, jogos criam emoções da Hard Fun, onde a frustração de tentar é compensada pelos sentimentos de conquista e maestria de superar obstáculos. Saindo dos objetivos, jogos promovem novas oportunidades de interação, exploração e emoção, que cria a Easy Fun. Jogos que usam emoção no jogo para promover benefícios ao jogador no mundo real, para ajudá-los a mudar como pensam, se sentem e se comportam, ou para fazer trabalho de verdade geram Serious Fun. Finalmente, jogos que convidam amigos para participarem, conseguem um estímulo de emoções interpessoais através da People Fun” (Lazzaro, 2008)

Lazzaro ressalta a importância da diversão e outras emoções nos jogos e como isso influencia positivamente em áreas da vida do jogador não diretamente relacionadas ao jogo. O aprendizado é influenciado positivamente através de um estímulo dos jogos, auxílio na memória e recompensa do progresso.

## Materiais sobre composição

Houve um grande desejo em passar conceitos de composição musical através de uma linguagem não técnica. Para tanto, o livro *A Practical Guide to Musical Composition* do professor canadense Alan Belkin foi usado como base. No começo do livro é constatado:

O livro supõe que o leitor já tenha um conhecimento básico de harmonia tonal para passar alguns conceitos mais detalhados em seções específicas, mas a maioria das ideias passadas não precisam de conceitos de teoria musical para serem compreendidas. Esses conceitos funcionam sem conhecimentos de harmonia pois, como o próprio autor sugere, muitas ferramentas de análise de composição musical são difíceis de aplicar durante o processo de criação. Portanto o livro está cheio de sugestões mais abertas sobre como desenvolver e conectar ideias musicais. Muitas das sugestões focam no contraste entre ideias: Por exemplo, começar a música com acordes sonando lentamente e para uma próxima seção com mais intensidade, fazer esses acordes alternarem mais rapidamente. Conceitos assim podem ser facilmente passados para pessoas que ainda estão começando e serão usados como base para a parte de aprendizado do software.

Também foi usado como referência o livro *Harmonia* de Arnold Schoenberg, que ensina harmonia total de forma extremamente detalhada. É muito útil para entender a relação entre notas, principalmente na questão de progressão de acordes, que está um pouco além do que o software se predispõe a abordar inicialmente; porém, é possível simplificar a forma como transmitimos essas relações ao usuário sem experiência.

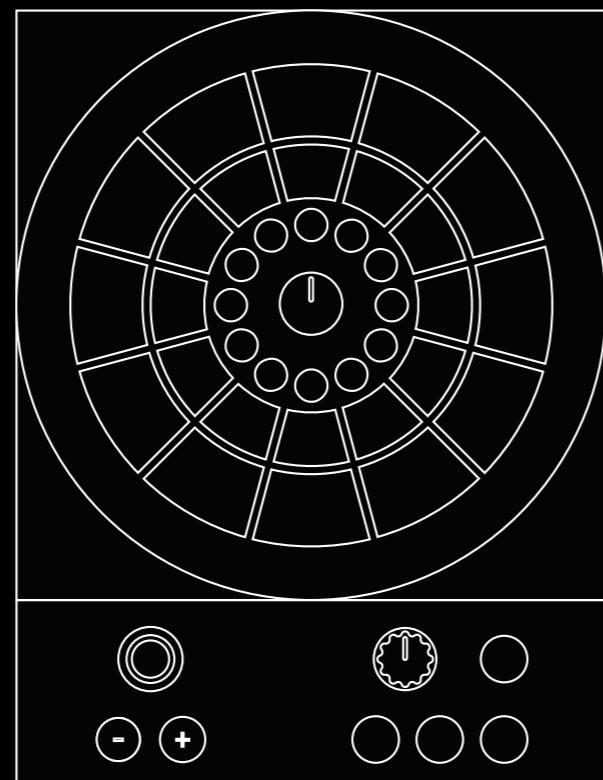
## 3. O hardware

Ideia central

Desenvolvimento e construção do protótipo

Circuito eletrônico

Resultado final



### Ideia central

A ideia central do Musi é repensar a organização linear das notas, encontrada em grande parte dos instrumentos tradicionais. Para isso, as notas são reorganizadas de forma circular, inspirado no conceito musical do ciclo das quintas. O ciclo das quintas é uma ferramenta que organiza as doze notas a partir do movimento de uma quinta justa. Na teoria musical é usado principalmente para entender a relação entre diferentes escalas, ajuda na criação de progressões de acorde, e modulações.

É possível fazer uma analogia com o conceito de círculo cromático nas artes visuais, o que pode tornar o entendimento mais fácil apesar de não ser equivalente devido às notas musicais terem uma relação linear intrínseca. Se baseando nas associações populares da música ocidental, podemos dizer que com essa organização ao pegar uma nota de referência, as notas mais próximas teriam uma sonoridade mais consonante, enquanto as mais distantes soam mais dissonantes. Claro que como tudo no universo da música, depende do contexto, mas de forma geral funciona bem.

Ao quebrar a linearidade da organização crescente por frequência, nós damos prioridades a relação das notas dentro da harmonia tonal. A partir disso é introduzido um certo problema ao usuário não acostumado com instrumento: torna-se incerto se a nota tocada em seguida será mais grave ou aguda que a anterior. Entretanto, pode-se argumentar que as vantagens do usuário ao visualizar de forma intuitiva as relações de tonais tornam essa organização mais interessante.

Pensando na visualização das notas, também foi criado um sistema de indicação físico em que o usuário pode colocar os indicadores desejados para as notas que serão utilizadas. Isso abre portas para criar um sistema visual lúdico para passar alguns conceitos a usuários iniciantes. Nesse sistema, as notas são substituídas por personagens, e no software poderia ser explorada uma relação entre as personagens que ajude a passar conceitos de composição de forma não técnica.

Também é importante que o instrumento seja bem acessível e convidativo para tocar. Em muitos instrumentos há uma grande dificuldade inicial derivada da própria interface do instrumento. Por isso foi decidido usar sensores grandes ativados com um simples toque, sem a necessidade de pressionar. Isso foi pensado para evitar problemas de precisão para iniciantes, percebidos no uso de outros instrumentos polifônicos ou com notas muito próximas. Portanto, foi escolhido o uso de sensores de toque capacitivo, cuja interface de interação consiste de uma fita adesiva de cobre, que pode ser cortada em qualquer formato bidimensional, tornando o toque em sua superfície detectável.

# Desenvolvimento e construção do protótipo

## Desenvolvimento

Foi feito um desenho inicial da parte superior do instrumento, onde as notas estão localizadas. Em seguida foi construído um modelo de papelão com o objetivo de testar o circuito eletrônico e validar as seguintes questões:

- A reorganização das notas com base no ciclo das quintas faz sentido para um instrumento?
- A ergonomia do toque de ativação das notas é precisa e simples?
- O tamanho dos símbolos que representam as notas está legível?

Os resultados pareceram promissores, a resposta do circuito eletrônico ao toque era precisa e rápida. Apesar da dificuldade de ter usado papel alumínio ao invés de fita de cobre, o sistema de notas parecia interessante de usar (opinião reforçada com feedback de terceiros). Devido à fragilidade do papelão, não foi possível testar tão bem a ergonomia, mas foi percebido que as notas da oitava mais aguda estavam um pouco pequenas, houve uma certa preocupação sobre o instrumento ficar muito grande, mas devido ao conforto do toque, o protótipo final manteve-se com um tamanho bem semelhante. A legibilidade dos símbolos foi ajustada com mais algumas impressões até chegarem a um tamanho aceitável. Foi pensada a possibilidade desses símbolos ficarem dispostos na borda do instrumento, para terem um tamanho maior e as notas agudas ganharem espaço no centro, mas os benefícios ganhos seriam mínimos e não facilitava na leitura dos símbolos em conjunto.



Figura 7: Protótipo de papelão do Musi

Para desenvolver a carcaça, foram decididos quais seriam os botões necessários para o uso do software e para as funções do instrumento MIDI em si. Foram criados modelos 3D pensando no posicionamento aproximado desses botões e na montagem em acrílico, material pensado devido à sua estética e facilidade de trabalhar com corte a laser. Alguns ajustes foram feitos até chegar em um resultado satisfatório. Foi muito necessário considerar as peculiaridades de montar um protótipo com Arduino ao invés de placas de circuito impresso e com o uso de uma cortadora laser.

Decididos os componentes finais a serem usados como botões, foi feito um corte inicial da carcaça em MDF para entender quaisquer necessidades de alteração do desenho antes de cortar o modelo final em acrílico. Houveram alguns erros imprevistos devido às diferenças entre os materiais e seria interessante, em um possível desenvolvimento futuro, pensar em uma construção de carcaça mais fácil de desmontar para possíveis manutenções e alterações.



Figura 8 e 9: Modelo 3D rascunho e corte de protótipo em madeira

## Construção

Para construir o instrumento foram usados acrílicos transparente e fumê, cortados através de uma cortadora a laser CNC. Em seguida, a fita de cobre que funciona como botões sensíveis ao toque foi cortada e colada nas posições corretas, e os componentes eletrônicos foram encaixados em seus devidos lugares. As conexões foram feitas e testadas antes do fechamento da caixa, que envolve o uso de cola em algumas partes.

## Círcuito eletrônico

Para construir o instrumento foi usada uma placa de Arduino Leonardo, devido à facilidade de usar a biblioteca MIDIUSB. Os módulos MPR121 foram usados para transformar fitas de cobre em sensores capacitivos, possibilitando que fossem usados como botões de toque com formato totalmente customizável.

Para o knob no centro foi usado o módulo de encoder rotativo KY-040, ao invés de um potenciô-

metro comum para permitir rotação infinita para ambas direções, entretanto, esse módulo é pouco preciso, seria interessante repensá-lo em uma continuação do projeto.

O módulo KY-023 foi usado para o direcional analógico, os botões são do modelo DS-212, e o potenciômetro seletor de modos é linear de 50k.

Para programar o Arduino foram usadas as bibliotecas:

- **MIDIUSB** (Gary Grewal): para identificar o Arduino como um dispositivo MIDI;
  - **Adafruit\_MPR121** (Adafruit): para os módulos MPR121;
  - **RotaryEncoder** (Matthias Hertel): para ler o encoder rotativo KY-040 com facilidade;

# Resultado final

O protótipo final se mostra muito simples de usar, produzir o som é extremamente simples ao tocar nas fitas de cobre. A responsividade é muito boa, mesmo quando múltiplas notas são

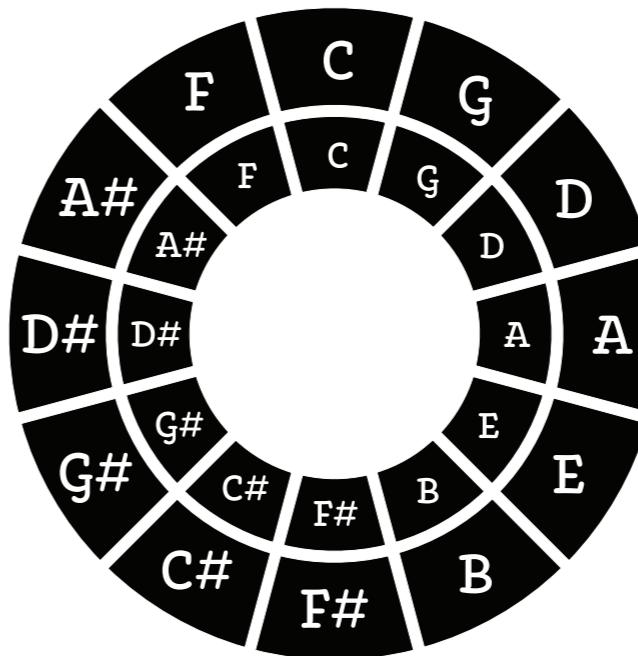


apertadas simultaneamente. O Musi também é reconhecido como um dispositivo MIDI por qualquer software, permitindo o uso de infinitos timbres.

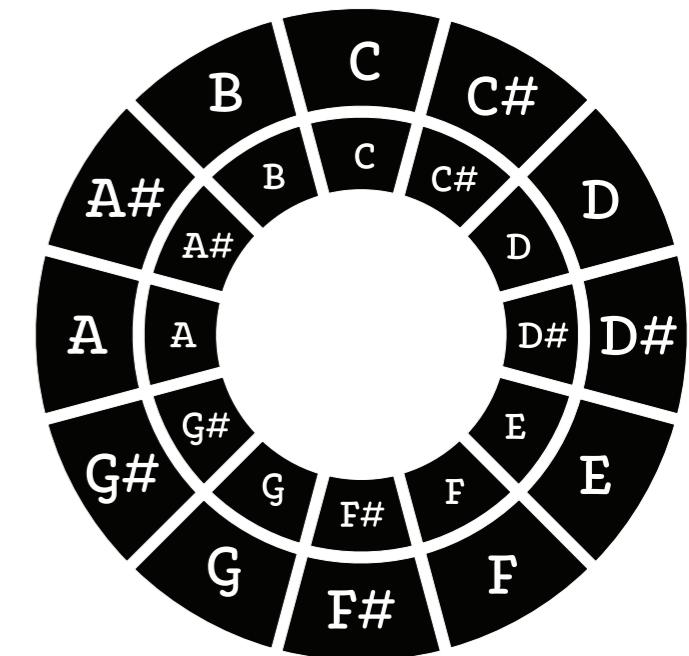
**Figura 10:** Foto do Musi

No Musi é possível tocar duas oitavas simultaneamente, e há botões que permitem subir ou descer as oitavas, permitindo tocar todas as frequências possíveis de um sintetizador MIDI.

Uma de suas funcionalidades principais é o uso de um potenciômetro para alterar a ordem das notas. Seu modo principal é com as notas organizadas no ciclo das quintas, mas também foi adiciona a opção de tocar com as notas organizadas de forma cromática no sentido horário e dois modos que seriam para explorações mais incomuns que usam todas oitavas possíveis, sendo um deles com as notas organizadas em uma relação de quintas justas no sentido horário e outra em quartas justas no sentido horário.



## Ciclo das quintas



## Cromática

**Figura 11:** Organização das notas nos diferentes modos.

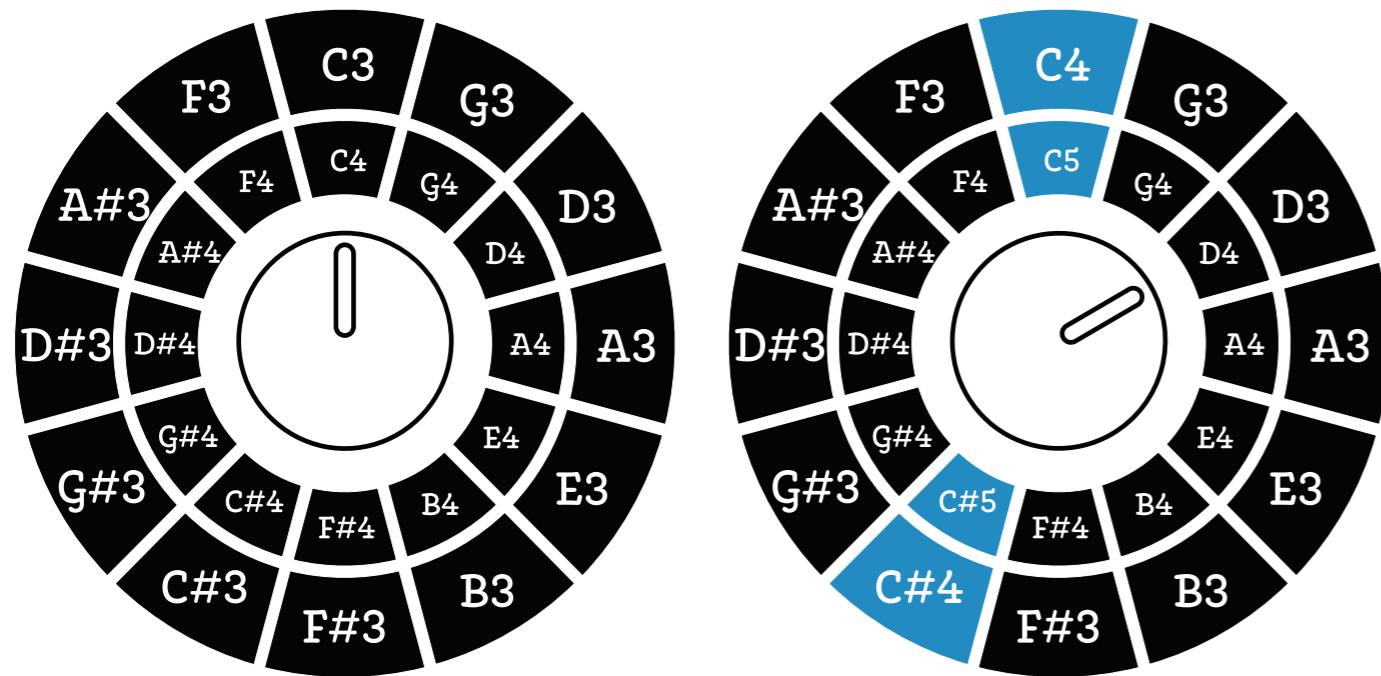


**Figura 12 e 13:** Fotos do Musi.

O usuário pode encaixar o sistema de notas que quiser através de discos de acrílico com diferentes sistemas de indicação, também podem ser encaixados de diversos modos, possibilitando os usuários iniciantes fazerem uma transposição de forma muito simples. Para ajudar na transposição e não limitar o uso do instrumento a apenas certas escalas, foi adicionado um potenciômetro no centro do instrumento que consegue alterar a nota mais grave da escala. No estado natural, a nota mais grave do instrumento seria um dó, mas se for necessário tocar notas mais graves simultaneamente, é possível girar o potenciômetro até a nota que se deseja que se torne a nova nota mais grave. É um conceito mais fácil de ser entendido visualmente.



**Figuras 14 e 15:** Rodas de acrílico com diferentes sistemas de nota.



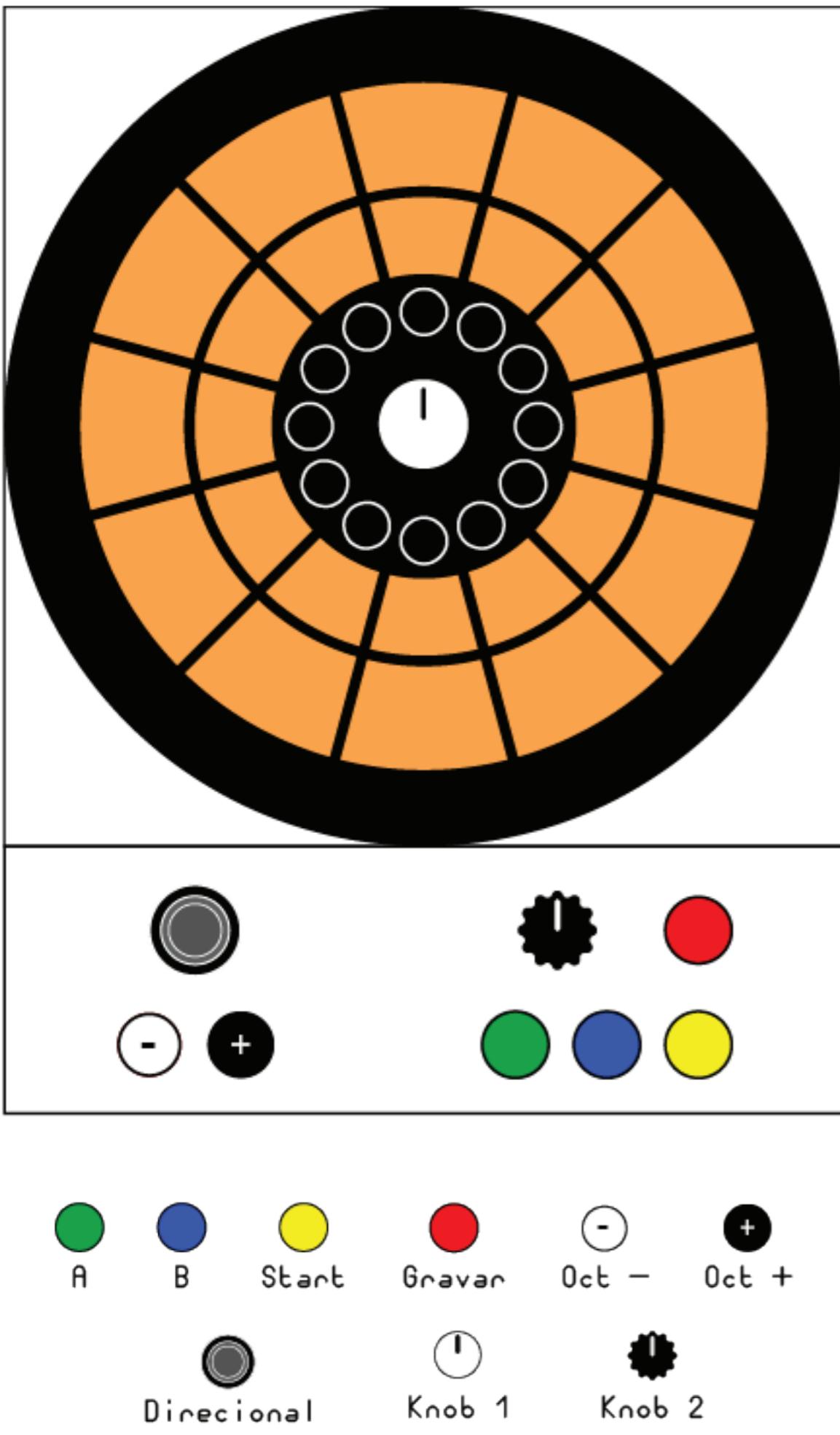
**Apontando para C**

**Apontando para D**  
(notas alteradas em destaque)

**Figura 16:** Exemplo de como as notas são organizadas ao alterar a nota mais grave.

O hardware possui um direcional analógico que pode ser utilizado para o controle de efeitos em canais MIDI quando mexido na horizontal e na vertical. Os botões são usados principalmente no software, entretanto o botão gravar (vermelho) ativa e desativa o pedal de sustain na maior parte dos sintetizadores (Altera entre 1 e 0 no canal de controle MIDI (CC) 64). Os outros botões estão associados aos CC 22 (Botão A, verde), CC 23 (Botão B, azul) e CC 24 (Botão Start, amarelo), que por padrão são canais vazios.

Quando os botões A e Start são pressionados ao mesmo tempo, o instrumento entra em outro modo, em que o potenciômetro de alterar o posicionamento das notas se torna o controle do CC MIDI 1, normalmente associado à mod wheel. Nesse modo o direcional analógico altera a frequência de forma microtonal quando mexido na vertical e pode alterar as propriedades do CC MIDI 74, travando a posição ao pressionar o analógico (que funciona como um botão ao ser pressionado). Esses comandos podem ser vistos de forma mais clara na página seguinte.



## Funções

### Modo simples

Instrumento	Software
CC Midi 22	Botão A
CC Midi 23	Botão B
CC Midi 24	Botão Start
Pedal hold (CC MIDI64)	Gravar
Ativar modo avançado	-/-
Subir uma oitava	-/-
Descer uma oitava	-/-
Alterar ordem das notas	-/-
Alterar nota mais grave	-/-
CC Midi 25/26/27/28	Navegação

### Modo avançado

Instrumento	Software
Desativar modo avançado	-/-
Mod Wheel (CC MIDI1)	-/-
Pitch Wheel	-/-
CC Midi 74	-/-



## 4. O software

Ideia central

Programação

Interface Visual

Resultado final



### Ideia central

A ideia inicial do software surgiu durante o processo de geração de alternativas do Musi. Para algumas alternativas que utilizam controles de movimento, seria interessante ter um indicador visual das notas, que provavelmente funcionaria melhor com um software em uma tela. Com isso, percebeu-se uma oportunidade de ir além e criar um ambiente em que o usuário pudesse, além de aprender a usar o instrumento, se sentir estimulado a tocar e ter sugestões de novas ideias musicais.

Foi pensada a oportunidade de desenvolver um ambiente que se aproxima de um jogo digital, que estimularia o jogador a praticar e aprender conceitos de forma interativa. Para isso foram feitas pesquisas dentro da área de games, com um foco em jogos musicais. Um dos aspectos que mais chamou a atenção na pesquisa foi a pouca quantidade de jogos que conseguem estimular a composição musical, caminho que dialoga com a ideia inicial do Musi de introduzir iniciantes à música. Mas como estimular pessoas que acabaram de começar a compor? Ainda mais se essas pessoas não possuem conhecimentos teóricos de música?

A pesquisa de Ethan Hein(2014) apresenta algumas hipóteses sobre como alguns jogos fracassam em estimular e como evitar esse fracasso. O ponto principal é que pessoas sem experiência se sentem intimidados ao comporem em um espaço vazio de ideias. Elas têm muito mais sucesso quando há um ponto de partida, uma ideia inicial para ser trabalhada sobre. Também nota-se o poder da música generativa: os jogadores se sentem mais estimulados a produzir música com sistemas que não necessariamente remetem à ideia de tocar um instrumento. O conceito do hardware do Musi é pensar intencionalmente as interações entre as notas, então um caminho que seguisse pela música generativa, apesar de interessante, fugiria significativamente desse conceito. Portanto, escolheu-se pensar em um sistema cujo software oferecesse ideias e o jogador pudesse explorar livremente essas ideias e fosse aprendendo a usá-las intencionalmente.

Escolher caminhos intencionais de composição musical está diretamente relacionado com familiaridade com o instrumento usado e com conhecimentos de teoria musical. Ensinar teoria musical através do software é uma proposta complexa, e que necessitaria de estudos muito aprofundados para o tempo disponível desse projeto. Além do mais, o ensino tradicional de teoria musical costuma ser desestimulante para iniciantes devido à curva de aprendizado íngreme no início (Harwood & Marsh, 2012). Para solucionar esse problema, foi pensada uma forma de passar ideias para atingir certas sonoridades ao compor melodias. Essas ideias são derivadas da harmonia tonal, mas passadas como relação entre as notas no contexto do instrumento, de forma que o usuário crie uma familiaridade com os sons gerados no instrumento. Um grande foco dessa proposta deve ser permitir ao usuário explorar suas próprias ideias, não há como passar essas ideias com sucesso se o usuário apenas repeti-las e não explorar possibilidades com elas.

Também sentiu-se a necessidade de explorar ouvir a relação entre as notas, pois a ideia de interface do Musi é justamente essa. Para isso seria interessante o desenvolvimento de um espaço em que o jogador a tentasse reproduzir os sons que ouvisse. Nos softwares que fazem isso, um dos maiores problemas costuma ser a grande dificuldade para um iniciante. Para tentar resolver isso, é proposto um ambiente em que a interação seja adaptada de acordo com o nível de habilidade do jogador.

Outro ponto central da pesquisa sobre jogos de música foi que os usuários querem escolher o que vão tocar. Jogos com músicas populares costumam ter mais sucesso do que jogos com músicas originais. Tocar músicas que um estudante não está familiarizado também é um grande fator de desestímulo no aprendizado (Harwood & Marsh, 2012). Para resolver isso, uma das soluções seria permitir ao usuário carregar as músicas que quer tocar no jogo.

Também é importante propor um espaço em que o usuário possa apenas explorar livremente o instrumento, para isso é necessário ter uma parte em que o software aja apenas como um sintetizador e mostre um feedback visual do que o jogador está tocando. Nesse contexto, é possível ver uma oportunidade para o jogador poder gravar o que está tocando, então foi criado o botão de gravar no hardware do Musi.

Sentiu-se uma vontade de explorar características inerentes aos jogos que podem amplificar o prazer na interação. Usando de referência The Four Keys of Fun (Lazzaro, 2012), podemos dizer que as ideias centrais do software apresentadas até agora estimulam a Hard Fun e a Serious Fun, através dos desafios do aprendizado e do aprendizado em si, respectivamente. Para passar os conhecimentos musicais através de forma não técnica, foi considerada a criação de um sistema de notação musical em que as notas são representadas por personagens, e suas relações interpessoais possam ser metáforas para suas relações musicais. Com isso há também a oportunidade de criar um universo para o ambiente virtual, através dos diálogos dos personagens. Isso seria usado para atiçar uma curiosidade adicional no jogador e fazer o software parecer mais acolhedor através da Easy Fun. Seria interessante explorar as oportunidades de múltiplas pessoas usarem o software simultaneamente, tanto para explorar a diversão com outras pessoas quanto do ponto de vista musical, mas isso não foi muito explorado devido às restrições de tempo.

Com essas ideias centrais, foi desenvolvido um software com 4 modos principais. Esses modos são “tocar livremente”, compor, transcrever e carregar músicas.

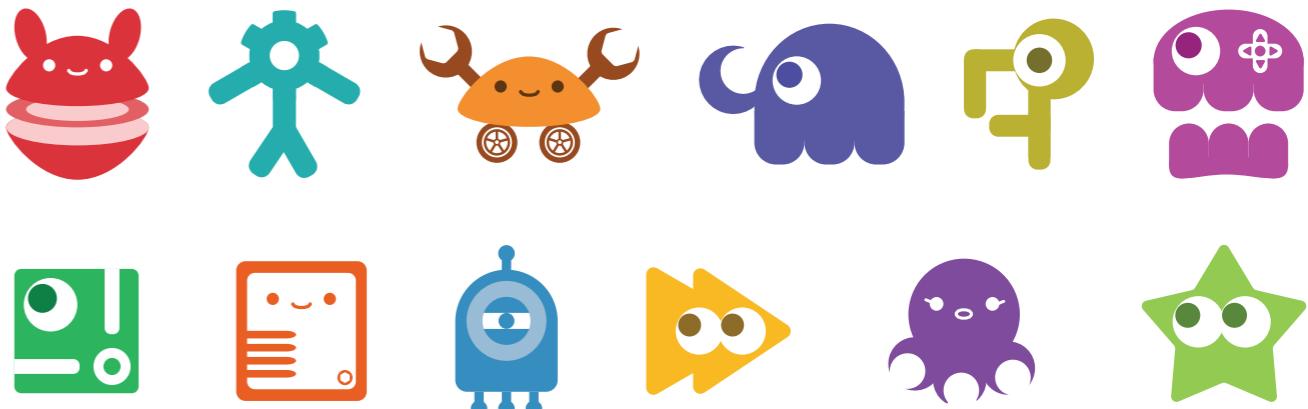
## Programação

O software foi programado na Unity em C#. Algumas bibliotecas foram usadas para o uso de MIDI, entre elas temos:

- **Minis** (Keijiro): essencial para conectar dispositivos MIDI na Unity;
- **DryWetMIDI** (Maxim Dobroselsky) : Usado para gerar os arquivos MIDI resultantes de gravações e tocar alguns arquivos.
- **Maestro - Midi Player Tool Kit - Free** : Usado como sintetizador de sons.
- **Unity Simple File Browser** : permite ao usuário navegar os arquivos no computador.

## Interface visual

Um grande desafio ao construir qualquer software de MIDI é o desenho de sua interface visual. O primeiro ponto que vale destacar nesse caso é a criação dos personagens como notas.



**Figura 17:** personagens para representar as notas

O desenho dos personagens não foi pensado em associações a notas ou emoções específicas, pois a sonoridade que remete à emoções é dependente de contexto, além de subjetiva.

O resultado de personagens com estilos relativamente diferentes foi importante para ajudar na diferenciação visual entre as notas. Com formas diferentes torna-se mais fácil identificá-los na tela e no hardware. Inicialmente os personagens foram desenhados em preto e branco para ter esse efeito e, posteriormente, eles foram associados a cores de acordo com a posição que ficariam quando organizados em círculo cromático.

Foram criadas versões vetorizadas deles para adicioná-los às tipografias usadas, assim é possível indicar notas durante o texto com a aparência dos personagens.

Durante os momentos destinados a tocar, os personagens estão organizados horizontalmente na parte inferior de um grid. Eles podem ser organizados na ordem que o Musi propõe, seguindo o ciclo das quintas, ou na ordem cromática. Os personagens aparecem de três formas diferentes:

- **Estado normal:** preto e branco, com baixa opacidade;
- **Com a nota que representa sendo tocada:** colorido, opacidade 100%;
- **Em alguns modos indicando que deve ser tocado em seguida:** preto e branco, opacidade 100%, com uma animação que altera o tamanho;

A animação que antecipa a próxima nota a ser tocada facilita o usuário a se preparar para tocá-la. O uso de opacidade baixa é muito útil para que a tela mostre apenas os elementos relevantes durante a interação.

Com exceção dos personagens, foi pensada uma paleta de cores muito simplificada, com foco no preto, branco, cinzas e um azul claro para uso como destaque. A única exceção é o uso de verde em um elemento específico.

Como mencionado anteriormente, nos momentos destinados a tocar, a tela está disposta como um grid em movimento. Na horizontal ela possui os 12 indicadores de notas, e está constantemente se movendo na vertical, com cada divisão vertical representando uma batida do ritmo na música. Quando há indicações de notas a serem tocadas, elas são representadas pelos seguintes elementos:



Figura 18: Nota.

Elas possuem quatro estados visuais:

- **Nota a ser tocada, ou produzida pelo jogador:** branco;
- **Nota acertada pelo jogador:** azul claro;
- **Nota perdida pelo jogador:** branco, opacidade muito 50%;
- **Nota que será gravada, produzida pelo jogador:** verde;

Foram feitos alguns testes dessas notas terem apenas uma forma retangular, inspirado em softwares de produção musical. Mas se percebeu que é muito mais fácil de tocar junto acompanhando visualmente quando elas possuem um ponto inicial claro e a duração tem outra aparência. Pode-se perceber que, em jogos que têm esse objetivo, a mesma técnica é usada.

As notas devem ser tocadas ao acertarem a barra que representa o momento atual do tempo da música, que fica no canto inferior da tela.

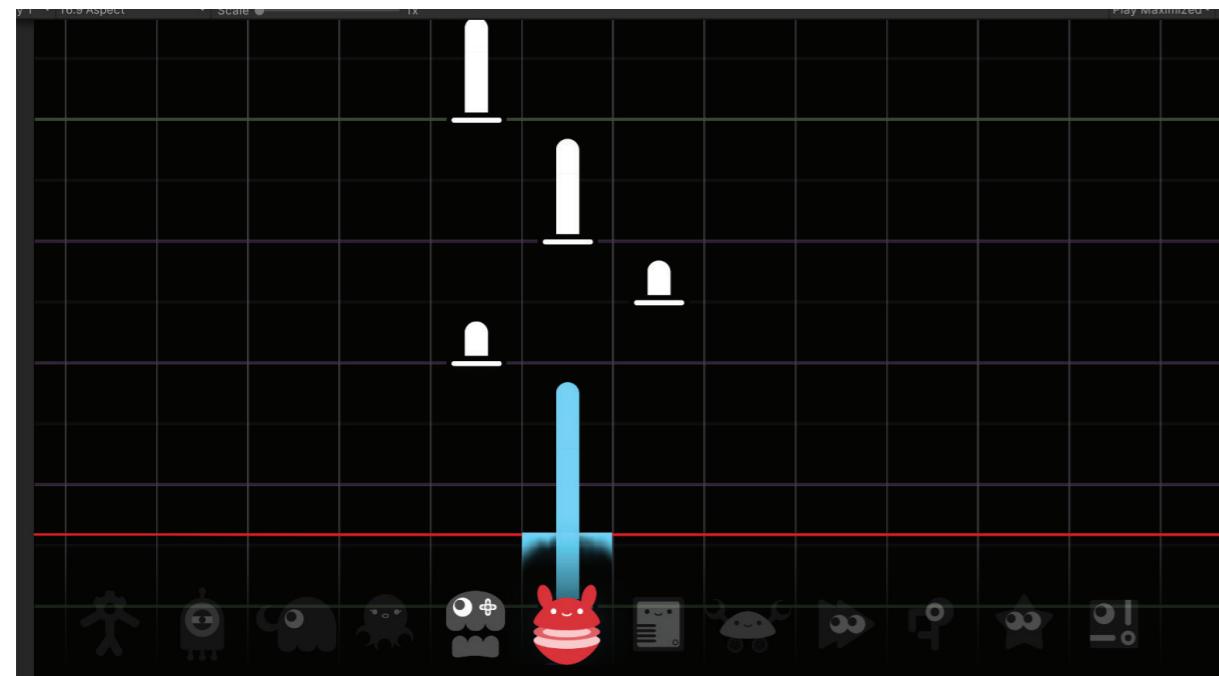


Figura 19: Imagem do jogo.

Além desses elementos usados nos momentos em que está tocando, foram criadas telas de menu e balões de diálogo dos personagens. De modo que seria interessante o uso de diferentes dispositivos como controle, foi criada uma interface customizável, alterando as indicações de ações de acordo com o dispositivo utilizado, e se aproveitou para fazer um experimento de interfaces customizáveis, que oferece dois modos: um com tipografia mais geométrica e elementos visuais mais leves, e um com tipografia mais orgânica e foco maior no uso de bordas.



Figura 20 e 21: imagens das tipografias customizáveis

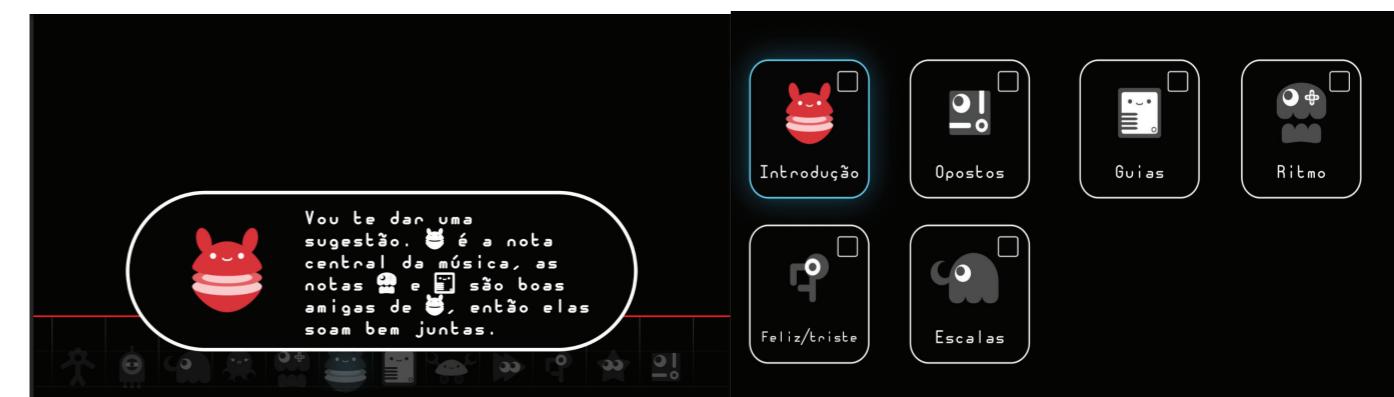


Figura 22 e 23: imagem do balão de fala e da seleção de fases

## Modos de jogo

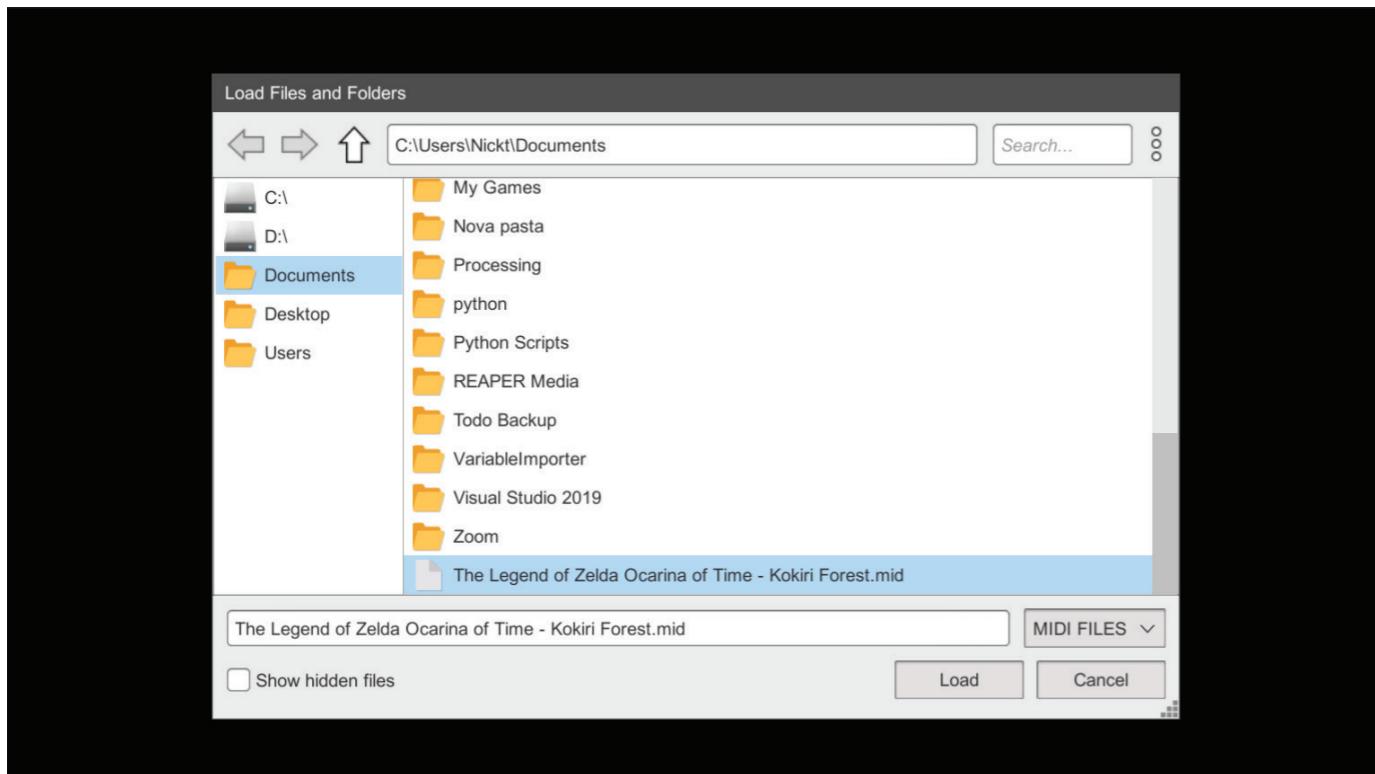
Nos modos de composição e de transcrição, o jogo possui “fases”, para marcar a conclusão das fases, é usada uma caixa que é preenchida, para o jogador saber quais fases já completou.

### Tocar livremente

No modo de tocar livremente, o jogador basicamente usa o Musi como sintetizador. É possível escolher entre as diferentes vozes MIDI disponíveis no software e tocar, além da possibilidade de usar o botão ‘gravar’ para começar a registrar uma sequência de notas em um arquivo MIDI, que é salvo automaticamente após apertar o botão novamente.

## Carregar música

Nesse modo é possível carregar um arquivo MIDI, o software lê as notas e as coloca dentro do grid para o usuário conseguir aprender a música. Enquanto o sistema é rudimentar e não funciona para arquivos MIDI com múltiplos instrumentos, ele supre a necessidade básica de aprender músicas já conhecidas pelo usuário.



**Figura 24:** interface de carregamento da música.

## Jogo de composição

O jogo, com o propósito de ensinar composição, tem o seguinte funcionamento:

- O jogo introduz uma melodia que deverá ser acompanhada pelo jogador
- O jogador toca a melodia com o jogo, quantas vezes quiser.
- Após o jogador tocar a melodia, algumas ideias usadas na composição dela são explicadas. Em seguida, o jogo propõe que o usuário componha uma continuação ou variação da melodia com ideias de notas.
- O jogador pode seguir a indicação do jogo ou explorar livremente outras ideias com base na melodia inicial
- O critério de sucesso do jogo é a satisfação pessoal do jogador com sua criação
- As melodias criadas ficam salvas como arquivo MIDI, então o jogador pode sempre revisita-las.

Para transmitir esses conceitos, foi pensada uma linguagem com foco na relação física da distância entre as notas do instrumento. Além disso, foi importante adicionar às tipografias os personagens, como caracteres, a fim de tornar as explicações dos comandos físicos mais claras. Todas as indicações do jogo são acompanhadas por uma descrição da sonoridade baseada na percepção emocional normalmente associada a elas na harmonia tonal.

## Resumo das fases do jogo de composição

- Fase 1: aprender a relação consonante entre as notas próximas no Musi.
- Fase 2: aprender a relação dissonante entre as notas opostas no Musi.
- Fase 3: mostrar a sensação de conclusão ao terminar a música na tônica da escala.
- Fase 4: aprender o efeito de diferentes ritmos na percepção de intensidade da música.
- Fase 5: mostrar como gerar alguns sons “felizes” e “tristes” no Musi.
- Fase 6: aprender a usar uma escala maior no Musi.

## Jogo de transcrição

Foi criado um jogo de transcrição, em que o jogador escuta uma melodia e em seguida deve reproduzi-la. A ideia inicial é que ele teria duas dificuldades, mas devido a restrições de tempo foi criada apenas a dificuldade fácil.

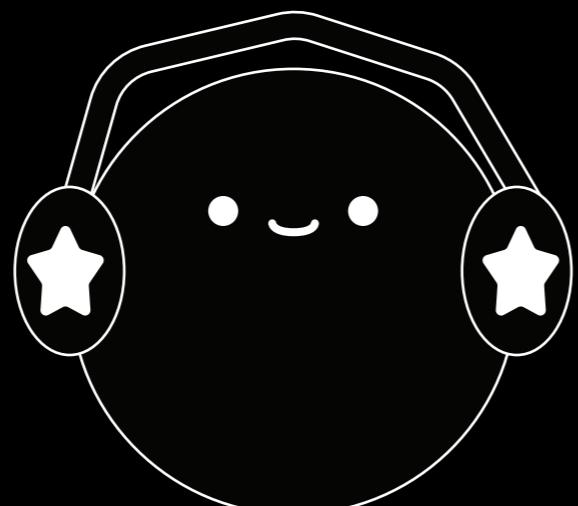
- O jogo funciona da seguinte forma:
- Jogador escuta uma melodia acompanhada visualmente pelo grid, onde há marcações de onde as notas estão localizadas, mas sem mostrar qual nota é;
- Em seguida, o jogador deve tentar descobrir as notas usadas nela no instrumento, para depois tentar tocá-la.
- Se o jogador tocar corretamente ele consegue prosseguir, senão, deve tentar novamente
- No modo fácil, as notas usadas na melodia estão em destaque, então as possibilidades de tentar e se frustrar são reduzidas, ao mesmo tempo que ainda há o exercício de ordenar essas notas, e treinar a audição.
- Após isso, o jogo tenta explicar parte da teoria musical utilizada para alcançar certa sonoridade.

Dentro do universo do jogo, o objetivo seria usar o Musi para transcrever linguagens alienígenas, adicionando camadas lúdicas na interação.

## 5. Testes de usuário

### Testes

### Síntese dos resultados



## Testes de usuário

Os testes de usuário ocorreram ao longo de duas semanas com 9 usuários. Duraram em média entre 30 minutos e 1 hora. Não houve um roteiro específico para cada teste, haja vista que se privilegiou oferecer liberdade de uso. Além disso, acredita-se que as informações mais importantes resultam da análise visual do uso do Musi. Entretanto, foram levantados alguns pontos focais de análise, durante os testes:

- Facilidade de uso do hardware
- Responsividade do hardware
- Exploração de diferentes ideias musicais no hardware
- Se as instruções do software estimulam a exploração na composição
- Acompanhamento visual das notas do software
- Dificuldade do exercício de transcrição
- Um resumo da análise pode ser encontrado na tabela das páginas seguintes.

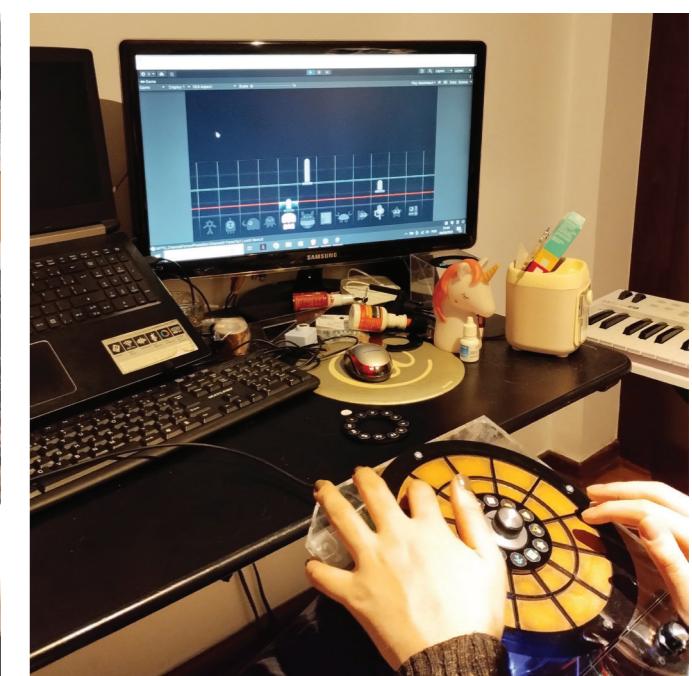
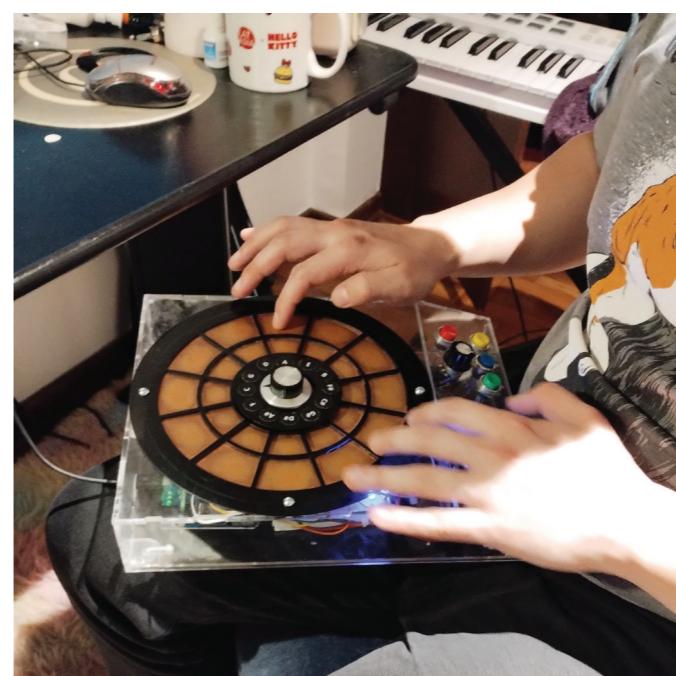


Figura 25 e 26: pessoas testando o Musi.

User	Perfil	Teste	Observações gerais	Comentários marcantes
1	23 anos, experiência com instrumentos musicais, não possui conhecimento de teoria musical	Uso livre do hardware	Entusiasmo na primeira interação. Tentou descobrir como tocar uma música de ouvido, achou mais fácil no modo de ordenar as notas em ordem cromática.	“Eu gostei que a interface é muito convidativa, a estética e os botões grandes das notas instigam curiosidade”
2	25 anos, sem experiência musical, jogou jogos de ritmo quando criança	Uso guiado do hardware, e uso do software em estado inicial.	<p>Esse teste foi feito aos poucos familiarizando o usuário através de sugestões de como alcançar certos sons, semelhantes às instruções que seriam passadas nos jogos de compor do software. Conseguiu explorar muito bem as ideias através das sugestões e também através de entusiasmo individual. Notou-se que as notas no canto superior esquerdo do instrumento não estavam sendo muito usadas, possíveis causas são as instruções dadas induziram a explorar melhor o instrumento em outras regiões, ou o fato do usuário ser destro fez com que a mão esquerda fosse menos usada.</p> <p>Durante o uso do software, com propósito de testar a interface, conseguiu acompanhar muito bem as notas da tela, mesmo com a interface em estágio inicial. Achou os símbolos como notas intuitivos e as silhuetas dos personagens fácil de diferenciar</p>	“Foi mais fácil de brincar intencionalmente do que no piano devido ao tamanho das ‘teclas’ e das divisórias. Por serem grandes e terem divisões físicas, isso evita que eu aperte notas que eu não quero, o que acontecia direto nas vezes que tentei usar o piano”
3	23 anos, experiência com instrumentos musicais, conhecimento intermediário de teoria musical, familiar com jogos de ritmo	Uso livre do hardware e uso do software em estado inicial	<p>Explorou diversas ideias durante o uso do instrumento, conseguiu se familiarizar rapidamente com as notas ordenadas no ciclo das quintas, mesmo com o uso dos personagens.</p> <p>Teve dificuldades com o uso do software no começo, mas depois conseguiu tocar. Através desse teste decidiu-se adicionar um tempo adicional antes das primeiras notas serem tocadas pelo jogador nos exercícios e no formato das notas.</p>	“Estou surpreso pela quantidade de funções que o hardware apresenta e pela alta responsividade dos inputs. Achei os modos de tocar muito estimulantes.”

Usuário	Perfil	Teste	Observações gerais	Comentários marcantes
4	24 anos, experiência com softwares de produção musical, conhecimento básico de teoria musical	Uso livre do hardware	<p>Este usuário sentiu-se um pouco perdido com a ordem das notas no ciclo das quintas e a visualização com o uso dos personagens. Percebeu-se uma hesitação em testar novas ideias devido a isto.</p> <p>Entretanto, o usuário teve diversas ideias de usos adicionais do Musi em uma DAW (software de produção musical), dando funções aos botões que normalmente só são usados em conjunto com o jogo. Também fez muitos testes com sintetizadores com timbres generativos.</p>	“Não tinha percebido que os espaços das notas eram botões”
5	27 anos, experiência com instrumentos musicais, conhecimento intermediário de teoria musical, sem familiaridade com jogos de ritmo	Uso livre do hardware e software.	<p>Se mostrou extremamente hesitante em explorar ideias novas por não saber o nome das notas que estava tocando quando estava visualizando com o uso dos personagens. Quando trocou a visualização, se sentiu mais confortável em explorar ideias, principalmente focadas no uso da escala maior.</p> <p>Teve dificuldades em acompanhar as notas no software no jogo de composição. Fez comentários muito interessantes e sugeriu um modo em que ao tocar uma nota, fossem gerados acordes, foi programado rapidamente e testado, notou-se a sonoridade única de acordes ao serem sobrepostos e o potencial dessa ideia para música generativa.</p>	<p>“Eu gostei muito da proposta de ensinar através do software, achei que pode ser muito intuitivo o uso de personagens para crianças e pessoas sem experiência, mas com conhecimento prévio acho melhor usar com os nomes das notas. Compraria para um filho meu algum dia”</p> <p>“Achei muito bom poder usar o ciclo das quintas de forma interativa, eu sou muito visual, então consegui perceber uma relações que não tinha visto antes”</p>
6	27 anos, experiência com instrumentos musicais, conhecimento básico em teoria musical, sem familiaridade com jogos de ritmo	Uso livre do hardware e software.	<p>Se acostumou facilmente com o uso das notas com a visualização dos personagens. Explorou de forma significativa a criação no instrumento.</p> <p>Teve problemas em acompanhar as notas no jogo de composição, mas mostrou muito interesse no jogo de transcrição e conseguiu ter sucesso.</p>	Não houve nenhum comentário que se destacou.

Usuário	Perfil	Teste	Observações gerais	Comentários marcantes
7	49 anos, sem experiência com instrumentos musicais, familiaridade com jogos de ritmo, estava com pressa	Uso livre do hardware e software completo.	<p>Não explorou tanto o uso do hardware de forma livre, mas prosseguiu durante os 6 jogos de composição do software.</p> <p>Teve dificuldades em acompanhar as notas no jogo de composição, mas entendeu claramente as instruções. A dificuldade em acompanhar apareceu mais durante os últimos jogos, em que as melodias possuíam velocidades mais rápidas e mais variações de notas. Se mostrou particularmente entusiasmada pelo 5º jogo, onde é mostrado como fazer sons tristes ou felizes. Teve alta facilidade com o jogo de transcrição também.</p>	<p>“Verdade, eu consigo escutar isso.” Se referindo à instrução do 3º jogo de compor, que mostra como a transição da quinta pra tônica pode trazer uma sensação de conclusão.</p> <p>Esse comentário foi importante pois é um dos conceitos que eu mais imaginei que haveria problemas na comunicação para os jogadores.</p>
8	67 anos, sem experiência com instrumentos musicais, sem familiaridade com jogos de ritmo	Uso livre do hardware e software após otimizações de interface.	<p>Este usuário tocou usando principalmente a mão direita, afirmou ser mais fácil para ele e que o uso do polegar facilitava bastante.</p> <p>Após o último teste do usuário 7, as velocidades das melodias no software foram reduzidas pela metade para facilitar o acompanhamento. Ainda assim o usuário 8 teve muita dificuldade, mas conseguiu entender bem as sugestões de composição passadas pelos jogos, particularmente pelo 5º jogo. Durante o exercício de transcrição, teve dificuldade de tocar no tempo correto, mas conseguiu transcrever a melodia sem problemas.</p>	<p>Notou-se que o usuário teve dificuldade em lembrar certas notas recomendadas durante os jogos de composição. Quando questionado se as notas em destaque durante o jogo de transcrição foram importantes para o sucesso, ele respondeu “Sim”, quando questionado se esse mesmo destaque ajudaria no jogo de composição ele afirmou “Ajudaria muito!”</p>
9	25 anos, experiência com instrumentos musicais, conhecimento aplicado de escalas musicais, mas sem conhecimento teórico, familiaridade com jogos de ritmo	Uso livre do hardware e software após otimizações de interface.	<p>Usou o hardware com muita facilidade para experimentação.</p> <p>Acompanhou relativamente bem as notas no jogo de compor, elogiou as melodias em que é possível ouvir os conceitos das explicações claramente e apontou algumas que poderiam ser melhores. Mostrou claro interesse no 5º jogo de composição, e no 2º. Comparado com os outros usuários, imaginava-se que teria mais sucesso nos jogos de transcrição, conseguiu após algumas tentativas.</p>	<p>“É esse tipo de conhecimento que eu gostaria de ter aprendido quando comecei, como alcançar certos tipos de sons.”</p> <p>“Achei os exercícios apresentados aqui mais focados em iniciantes.”</p>

# Síntese dos resultados

O hardware foi extremamente bem recebido pelos usuários, todos gostaram da estética e os músicos elogiaram sua alta responsividade e quantidade de funções.

Notou-se que as pessoas com experiência musical sentiram-se mais hesitantes em explorar ideias musicais, por não saberem em que nota estavam especificamente. Os não músicos se sentiram mais livres, e até comentaram como tiveram mais dificuldade em experiências com outros instrumentos musicais. Alguns não haviam entendido, ao olhar o Musi, que as fitas de cobre eram usadas para acionar as notas, isso pode dizer muito sobre quais partes de um hardware são interativas e como sensores de diversos gestos podem ser mais bem explorados. Surpreendentemente não houveram reclamações sobre a disposição das notas no ciclo das quintas.

Percebeu-se um grande potencial de ensino visual do conceito de “ciclo das quintas” de forma interativa, como mencionado pelo 5º usuário. Durante meu uso, tive uma experiência similar ao 5º usuário, consegui visualizar claramente relações de modulação de escalas que não havia compreendido antes.

A forma de uso do usuário 4 e a sugestão feita pelo usuário 5 reforçam o potencial da sugestão de Hein (2014) sobre o uso de música gerativa. Existe um grande valor no estímulo em gerar sons sem saber o que pode ser produzido por cada interação. Isso pode ser percebido também analisando como os usuários sem experiência com música estão bem mais propensos a apertar qualquer nota apenas para ver qual será o som, como foi observado também durante a análise.

Em contraposição ao Musi, o software não teve uma receptividade tão positiva. Muitas pessoas sentiram dificuldade em tocar as notas ao acompanhar as melodias dos exercícios de composição. A dificuldade se apresentava diante de notas mais distantes em seu posicionamento no instrumento ou frente a notas em uma sequência muito rápida. Depois de algumas tentativas, as melodias mais simples eram tocadas repetidas vezes sem erros. Isso mostra um tempo de adaptação com o software. Pessoas com experiências anteriores com jogos de ritmo tiveram muito mais facilidade ao usar o software. Ao diminuir a velocidade das melodias obteve-se maior índice de sucesso. Portanto o maior problema está na curva de dificuldade das melodias usadas no software. Por isso, ajustes na interface devem ser apenas considerados após mais testes.

Os testes mostraram um resultado positivo sobre o potencial de ensino do jogo de compor. Enquanto os testes feitos não são suficientes para mostrar um sucesso a longo prazo, a reação positiva dos usuários sem experiências musicais anteriores evidencia potencial em introduzir conceitos musicais de forma não técnica. O destaque dos usuários ao jogo de compor número 5, é provavelmente justificado pela clareza em como a melodia traduz o que está sendo passado pelo texto. Um dos possíveis motivos disso acontecer é que o jogo possui duas melodias muito contrastantes, uma feliz e outra sombria. Ouvir esses contrastes provavelmente facilita o entendimento pelo usuário. A escolha de notas sugeridas durante o fim do jogo também pode ter influenciado no sucesso. Enquanto é possível afirmar um sucesso ao passar ideias de composição, não foi possível identificar se experimentar as ideias após a explicação delas obteve sucesso da forma que foi feita, seria necessário mais testes, de preferência focados apenas nesse aspecto, devido a dificuldade de medir o uso da criatividade e de estimular o usuário à uma atividade criativa.

Os jogos de transcrição foram muito fáceis de serem completados pelas pessoas que os testaram. Mostrar as notas usadas mas não mostrar a sequência que são usadas é uma decisão certeira. O uso de melodias bem simples nos estágios iniciais provavelmente são um fator de sucesso desses jogos nos testes (em contraste com o jogo de composição, que poderia ter mais sucesso com isso). Introduzir diferentes dificuldades para jogadores com diferentes níveis de experiência ajudaria a construir uma satisfação maior, mesmo com melodias simples.

**Figura 27:** pessoa testando o Musi.



## 6. Conclusão

### Considerações finais

### Referências



### Considerações finais

O Musi é uma interface bem sucedida ao explorar a linguagem musical, quebrando algumas convenções e convidando as pessoas a novos tipos de experimentação, e dando conforto aos iniciantes, que se sentem muito bem-vindos ao mundo da música. Alterar a disposição das notas e usar as fitas de cobre como botões facilitaram a interação de forma física e visual.

O software é um ótimo protótipo inicial e consegue validar sua utilidade, mas ainda tem muito potencial de ser desenvolvido para melhorar, principalmente com mais pesquisas sobre educação musical e experimentações com game design. Entre as oportunidades que poderiam ser mais exploradas é possível citar:

- Validar se os conhecimentos aprendidos são facilmente passados para outros instrumentos.
- Desenvolver outros modos de jogo, de preferência alguns que explorem a música generativa.
- Desenvolver o universo do jogo, adicionando uma camada lúdica de aprendizado.
- Testar outras interfaces visuais para representação da música no software, se aproveitando melhor de elementos 3D, e talvez testar um formato circular análogo ao instrumento.

De forma geral, conforme seus objetivos iniciais, o projeto explora extensamente as possibilidades de novas interfaces no mundo da música e de seu ensino.

## Referências

AGARWAL, Anant. Fundamentos de Circuitos Eletrônicos Analógicos e Digitais. Departamento de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação, Massachusetts Institute of Technology, 2005, p. 43

BELKIN, Alan. A Practical Guide to Musical Composition. 2008.

HEIN, Ethan. 2014. Music games in education. Learning, Education and Games, cap. 5. ETC Press, Pittsburgh, PA, USA.

LAZZARO, Nicole. Why We Play Games: Four Keys to More Emotion Without Story. XEODesign, Oakland, CA, 2004

Mota, G. (2013). Young children's motivation in the context of classroom music: An exploratory study. Bulletin of the Council for Research in Music Education, (141)

PICHLMAIR, Martin; KAYALI, Fares. Levels of Sound: On the Principles of Interactivity in Music Video Games. In: DiGRA Conference. 2007.

ROADS, Curtis. The Computer Music Tutorial. MIT Press, 1996.

Rocksmith. Ubisoft, 2011. Jogo eletrônico.

Ruthmann, A. (2006). Negotiating learning and teaching in a music technology lab: Curricular, pedagogical, and ecological issues. PhD dissertation, Oakland University, Rochester, Michigan.

SCHOENBERG, Arnold. Harmonia. 1922 Tradução de Marden Maluf, Editora Unesp 2a edição, 2011.

Synthesia. Synthesia LCC, 2007. Software.

TRAGTENBERG, João Nogueira. Instrumentos digitais de dança e música: uma proposta de paradigma para potencializar o design de instrumentos para expressão musical e corporal, 2017. Universidade Federal de Pernambuco.

VALENTE, Rodolfo Augusto Daniel Vaz. Composição por modelo físico: a concretude do instrumento na criação musical. 2020. 219 f. Tese (Doutorado em Música) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

## Bibliografias consultadas

BACON, Tony; HUNTER, Dave. Totally Guitar: The Definitive Guide. 2004 Thunder Bay Press.

CLASSIC FM. How Does The Trombone Work? | Discover Instruments | Classic FM. Youtube, 02/08/2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lewGkEluDnE>. Acesso em 14/06/2022.

DE LIMA, Wemerson Geisler; DE FREITAS, Alan Robert Resende; DE LIMA, Tiago França Melo. Design e desenvolvimento de um jogo sério para educação musical. In: Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital. SBC, 2021. p. 417-426.

FEIX, Giovana. O que é a síndrome do túnel do carpo e como ficar bem?. Revista Abril, 6 de fevereiro de 2018, saúde. Disponível em: <<https://saude.abril.com.br/coluna/boa-pergunta/o-que-e-a-sindrome-do-tunel-do-carpo-sintomas>>. Acesso em 30/06/2022.

FERREIRA, Joana Knobbe; MARTINS, Conceição Garcia; LUIS, Fabrício Casarejos Lopes. Introdução ao estudo da relação entre Design e Instrumentos Musicais. 2008. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina.

FLETCHER, Neville. Materials and Musical Instruments. 2012. Research School of Physics and Engineering, Australian National University, Canberra, publicado em Acoustics Australia, agosto de 2012. <https://acoustics.asn.au/journal/Vol40No2.pdf#page=34>

GOUZOUASIS, Peter; BAKAN, Danny. The future of music making and music education in a transformative digital world. The University of Melbourne refereed e-journal, v. 2, n. 2, p. 127-54, 2011.

JARZOMBEK, Elias. Elias Jarzombek, 2022. Disponível em: <<https://eliasjarzombek.com>>. Acesso em 23/06/2022.

LAGO, B.L.A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória. Revista Brasileira de Ensino de Física [online]. 2015, v. 37, n. 1 [Acessado 30 Junho 2022], 1504. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11173711663>>. Epub 30 Mar 2015. ISSN 1806-9126. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173711663>.

MARSHALL, Mark. Physical interface design for digital musical instruments. 2009.

MPR LAB. MPR Lab, 2022. Disponível em: <<https://mprlabblog.wordpress.com/>> Acesso em 24/06/2022

NIME. Nime: new interfaces for musical expression, 2022. Disponível em: <<https://www.nime.org/>> Acesso em 10/06/2022.

NORMAN, Donald A. Living with complexity. MIT press, 2016.

OGATA, Takumi. Sound Globe. Youtube, 26/11/2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lewGkEluDnE>. Acesso em 14/06/2022.

PINO, Mariana de Carvalho Oliveira et al. Melodia: Um Jogo Sério para o Ensino Inicial de Teoria Musical a Pessoas com Deficiência Intelectual. In: Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital. SBC, 2021. p. 529-538.

PINTO, Tiago de Oliveira. Som e música. Questões de uma antropologia sonora. Revista de Antropologia [online]. 2001, v. 44, n. 1 [Acessado 16 Junho 2022] , pp. 222-286. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-77012001000100007>>. Epub 23 Ago 2001. ISSN 0034-7701. <https://doi.org/10.1590/S0034-77012001000100007>

TAELE, Paul; BARRETO, Laura; HAMMOND, Tracy. Maestoso: An intelligent educational sketching tool for learning music theory. In: Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2015. p. 3999-4005.