Faculdade de Design,
Tecnologia e Comunicação
Universidade Europeia

2017/2019

Gonçalo João de Miranda
Rosa Guerra Beringuilho

Mula Controllers: Interface de Controlo Musical em Dispositivos *Touchscreen*

Gonçalo João de Miranda Rosa Guerra Beringuilho

Mula Controllers: Interface de Controlo Musical em Dispositivos *Touchscreen*

Projeto apresentado ao IADE – Universidade Europeia, para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Design de Interação realizado sob a orientação científica do Professor Doutor Fernando Martins (IADE – Universidade Europeia)

Dedico este trabalho à minha mãe,

agradecimentos

Começo por agradecer ao Professor Doutor Fernando Martins, pela sua orientação ao longo do projeto, por partilhar comigo o interesse e a motivação num projeto ambicioso. Agradeço a sua disponibilidade, sem a sua ajuda não teria sido possível realizar este projeto.

Agradeço ao Miguel, por me apoiar e aturar quase todos os dias durante o projeto, mas sobretudo pela amizade.

Agradeço à minha mãe, pela sua constante motivação em todas as alturas, por acreditar sempre nas minhas capacidades e porque sem ela seria impossível.

Agradeço ao meu pai por sempre me motivar a seguir os meus interesses e ambições.

Agradeço à minha avó Isabel, por sempre acreditar em mim e me apoiar incondicionalmente.

Agradeço à Mina e ao Carlos por todo o apoio e amizade.

Agradeço a minha família e amigos por sempre me apoiarem e ajudarem quando necessário.

Agradeço à Catarina pelo seu apoio constante, por toda a motivação e companheirismo, e por toda a ajuda.

palavras-chave

Interações Musicais; Interface Híbrida; Sistema Modular.

resumo

O presente projeto surge no âmbito do aprofundamento do tema *Musical Interactions* e consiste num projeto focado em interações com dispositivos *touchscreen*, nomeadamente através da utilização de interfaces híbridas, a partir do uso de tecnologia *multi-touch* e objetos TUI (*Tangible User Interface*) modulares para performance e controlo musical. O objetivo deste projeto foi criar e avaliar uma solução de interação que permite combinar as vantagens dos controladores tradicionais com as novas possibilidades dos dispositivos *touchscreen*, relevando uma característica indispensável na interação musical: o *feedback* háptico. Foi desenvolvida uma prova de conceito do sistema proposto, composta por protótipos de objetos TUI e por uma aplicação móvel funcional. A prova de conceito foi validada através de testes de funcionalidade e um questionário. *Design Science Research Methodology* (DSRM) e *Action Research* (AR) foram, pelas suas características iterativas e complementares, as metodologias escolhidas para o desenvolvimento da solução de design deste projeto.

Keywords Musical Interactions; Hybrid Interface, Modular System.

abstract

The present study emerges in the context of furthering the theme *Musical Interactions* and consists of a project focused on interactions with touchscreen devices, namely through the use of hybrid interfaces, using multi-touch technology and modular TUI (Tangible User Interface) objects for performance and musical control. Its main objective is to create an interaction solution from hybrid interfaces that allows to combine the advantages of the traditional controllers with the new possibilities of the touchscreen devices, emphasizing an indispensable characteristic in the musical interaction: the haptic feedback. A proof of concept of the proposed system was developed, consisting of TUI object prototypes and a functional mobile application. The proof of concept was valid through functionality tests and a questionnaire.
Design Science Research Methodology (DSRM) and Action Research (AR) were, due to their iteractive and complementary characteristics, the methodologies chosen for the development of the design solution of this project.

Índice

1. Introdução 19

1.1 Âmbito e contexto 19

1.2 Problemas Identificados 20

1.3 Propostas de Solução 20

1.4 Hipóteses de Investigação 21

2. Estado da Arte 22

2.1. MIDI 22
2.1.1 Origem dos Instrumentos Mecânicos até aos controladores MIDI 22
2.1.2 Tipos de Controladores 25

2.2 Impacto do MIDI na Indústria Musical 27

2.3 Mercado 29
2.3.1 Mercado MIDI 29
2.3.2 Mercado MIDI Personalizável e Modular 31

2.4 Controladores e Instrumentos Musicais *Touchscreen* 35
2.4.1 Análise de projetos 35
2.4.2 Mercado Musical *Touchscreen* 36

2.5 *Feedback* Háptico e a sua importância na Interação Musical 43

3. Metodologias 44

3.1 Primeira Fase: 44

3.2 Segunda Fase: 45

3.3 Avaliação da solução: 46

4. Desenvolvimento 49

4.1 Objetos TUI 50

4.2 DIY e Open-Source 53

4.3 Sistema Modular 55

4.4 Interface 57
4.4.1 Interface Tangível 57
4.4.2 Interface *Touchscreen* 84

4.5 Exploração de diferentes interações musicais 91

4.6 Personalização: Ergonomia e Estética 92

4.7 Arte e Design 93

4.8 Gaming 94

4.9 Crianças 95

4.10 Identidade: Mula Controllers 96

5. Avaliação, Resultados e Análise 98

5.1 Teste de funcionalidade 98

5.2 Questionário 98

5.3 Análise de Resultados 101

5.3.1 Resultados do Teste de Interfaces 101

5.3.2 Resultado dos Questionários 105

6. Conclusão 109

Referencias 111

APÊNDICES 114

APÊNDICE DIGITAL

Índice de Figuras

Figura 1. Órgão Hidráulico por Banu Musa (*Banu*, Hill, 1979).....23
Figura 2. Rolo de Piano Mecânico Figura 3. Rolo MIDI de sistemas DAW.....24
Figura 4. Teclado Controlador MIDI M-Audio.....25
Figura 5. Controlador MIDI Drum pad Akai MPD218 26
Figura 6. Guitarra MIDI Starr Lab Ztar 26
Figura 7. Instrumento de sopro MIDI Roland AE-05.....26
Figura 8. Controlador MIDI Joué.....31
Figura 9. Controlador MIDI Mine.....32
Figura 10. Controlador Palette.....32
Figura 11. Instrumento e controlador MIDI Roli Blocks 33
Figura 12. Controlador MIDI Grid.....33
Figura 13. A. Korg Mono Poly; B. Korg iMono.....37
Figura 14. A. Akai MPC 200; B. Akai iMPC.....37
Figura 15. Garage Band, Braço de Guitarra Eléctrica 38
Figura 16. A. Fl Studio Desktop; B. Fl Studio Mobile.....39
Figura 17. A. Novation Launchpad; B. Novation LaunchPad iOS.....40
Figura 18. Interface do TouchOsc.....40
Figura 19. Interfaces do Lemur.....41
Figura 20. Interface do GeoShred.....42
Figura 21. Processo metodológico de Ciência do Design (Peffer et al.,2008).....46
Figura 22. Interação entre utilizador, objeto TUI e *touchscreen* (Fitzmaurice et al., 1995) 50
Figura 23. Interação e composição de um modulo TUI.....52
Figura 24. Diversidade de *Knobs* modulares 55
Figura 25. Exemplos de grelhas possíveis no sistema.....56
Figura 26. Comparação entre o mecanismo de um piano acústico e o do protótipo 60
Figura 27. Protótipos de Mecanismo do teclado (2.ª Etapa) 61
Figura 28. Teclado em Modelo 3D (3.ª Etapa).....62
Figura 29. Teclado Protótipo (3.ªEtapa).....62
Figura 30. Teclado em Modelo 3D (4.ª Etapa).....63
Figura 31. Teclado Protótipo (4.ªEtapa).....63
Figura 32. Teclado (Teclas intercaladas) em Modelo 3D (4.ª Etapa) 64
Figura 33. Teclado (Teclas intercaladas) Protótipo (4.ªEtapa).....64
Figura 34. Teclas Intercaladas (Medidas).....65
Figura 35. Demonstração de interface híbrida com o modulo teclado.....66
Figura 36. *Knob* Modelo 3D (1.ª Etapa) 67
Figura 37. Knob Protótipo (1.ª Etapa).....68
Figura 38. *Knob* Modelo 3D (2.ª Etapa) 69
Figura 39. *Knob* Protótipo (2.ª Etapa).....69
Figura 40. Encaixe entre engrenagens e bases dos *Knobs* 70
Figura 41. Encaixe entre engrenagens e cabeça do *Knob*.....71
Figura 42. *Knob* Modelo 3D (3.ª Etapa) 71
Figura 43. *Knob* Protótipo (3.ª Etapa).....71
Figura 44. *Knob* Modelo 3D (5.ª Etapa) 73
Figura 45. *Knob* Protótipo (5.ª Etapa).....73
Figura 46. *Slider* Modelo 3D (1.ª Etapa) 74
Figura 47. *Slider* Protótipo (1.ª Etapa) 74
Figura 48. *Slider* Modelo 3D (2.ª Etapa) 75
Figura 49. *Slider* Protótipo (2.ª Etapa) 75
Figura 50. *Slider* Modelo 3D (3.ªEtapa) 76
Figura 51. *Slider* Modelo 3D (4.ª Etapa) 77
Figura 52. *Slider* Protótipo (4.ª Etapa) 77

Figura 53. *Joystick* Modelo 3D (1.ª Etapa) 78
Figura 54. *Joystick* Protótipo (1.ª Etapa) 78
Figura 55. *Joystick* Modelo 3D (2.ª Etapa) 79
Figura 56. *Joystick* Modelo 3D (3.ª Etapa) 80
Figura 57. *Joystick* Protótipo (3.ª Etapa) 80
Figura 58. *Drum Pad* Modelo 3D (1.ª Etapa) 81
Figura 59. *Drum Pad* Protótipo (1.ª Etapa) 81
Figura 60. *Drum Pad* Modelo 3D (2.ª Etapa) 82
Figura 61. *Drum Pad* Protótipo (2.ª Etapa) 82
Figura 62. *Drum Pad* Modelo 3D (3.ª Etapa) 83
Figura 63. *Drum Pad* Protótipo (3.ª Etapa) 83
Figura 64. Exemplo do tamanho digital das peças modulares 85
Figura 65. Módulo de *Knob* e a sua representação digital 85
Figura 66. Módulo de *Knob* Mini e a sua representação digital 85
Figura 67. Módulo de *Slider* e a sua representação digital 86
Figura 68. Módulo de *Slider* Mini e a sua representação digital 86
Figura 69. *Joystick* e a sua representação digital 87
Figura 70. *Drum pads* e as suas representações digitais 88
Figura 71. Martelos do teclado e a sua representação digital 89
Figura 72. A. Modulo *Knob* Aumentado, *Stick* de Expressão e Botões; B. *Knob Slider* e Teclado *Drum pad* 91
Figura 73. *Knobs* com diferentes cabeças e cores 92
Figura 74. Conjunto de *Knobs* 93
Figura 75. Exemplo de módulos “Comando de Jogos” e módulos “Teclado Mecânico” 94
Figura 76. Exemplo de módulos com encaixes para brinquedos de blocos 95
Figura 77. Mula Controllers e Elementos Visuais 96
Figura 78. Mula Controllers 97
Figura 79. Mula Controllers, Variante de Cores 97
Figura 80. Teste de Funcionalidade 99
Figura 81. Interface do *software* de teste de funcionalidade 100
Figura 82. *Layout* de Interface Híbrida de Teste 100
Figura 83. Questionário 101
Figura 84. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa 114
Figura 85. Protótipo Tecla Piano 3.ª Etapa 114
Figura 86. Protótipo Tecla Piano 3.ª Etapa 114
Figura 87. Protótipo Tecla Piano 3.ª Etapa 114
Figura 88. Protótipo Tecla Piano 4.ª Etapa 115
Figura 89. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa 115
Figura 90. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa 115
Figura 91. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa 116
Figura 92. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa 116
Figura 93. Interação com o protótipo de teclado 117
Figura 94. Interação com o protótipo de teclado e aplicação móvel 117
Figura 95.Protótipo Knob 1.ª Etapa 118
Figura 96. Protótipo Knob 1.ª Etapa 118
Figura 97. Interação com modulo Knob 118
Figura 98. Interação com Knob Mini 119
Figura 99. Protótipo *Joystick* 2.ª Etapa 119
Figura 100. Layout de Teste de funcionalidade 120
Figura 101. Interação com a Interface híbrida no *layout* de teste de funcionalidade 120
Figura 102. Interface de aplicação móvel de teste de funcionalidade 121
Figura 103. Personalização de *layout* 128
Figura 104. *Layout* de Teste em Modelo 3D 128

Figura 105. Modelo 3D de módulo *Knob*.....129

Índice de Tabelas

Tabela 1. Controladores MIDI (Especificações) 30
Tabela 2. Hipóteses Nulas Rejeitadas 105
Tabela 3. Hipóteses Nulas Não Rejeitadas 105
Tabela 4. Resultados SUS 124
Tabela 5. Resultados NASA Load Index 126
Tabela 6. Resultados: Teste De Funcionalidade 127

Lista de Siglas

Musical Instrument Digital Interface (MIDI)

Tangible User Interface (TUI)

Windows, Icon, Menu, Pointer (WIMP)

Do It Yourself (DIY)

System Usability Scale (SUS)

1. Introdução

1.1 Âmbito e contexto

Um controlador MIDI (*Musical Instrument Digital* Interface), tal como o nome indica, é uma interface de controlo musical que não produz som, mas faz *trigger* do mesmo, através de uma comunicação digital de linguagem própria, permitindo que diferentes *hardwares* e *softwares* comuniquem entre si. De forma elementar, este controlador é um gerador de mensagens digitais através da tradução de algum tipo de *performance* ou controlo, e um transmissor das mesmas mensagens para outro dispositivo habilitado de receção MIDI, que as usa para a produção de som ou controlo de certos parâmetros (p. ex. pressionar certa tecla de um teclado MIDI para fazer o *trigger* de certa nota no piano num *software* MIDI). Estes controladores oferecem aos artistas elevada flexibilidade e coordenação em termos de expressividade, dando-lhes a hipótese de dirigir vários instrumentos e parâmetros com o mesmo controlador MIDI (Huber, 2007). Estes são, aliás, tão versáteis ao ponto de serem utilizados noutros âmbitos artísticos, nomeadamente na produção fotográfica e cinematográfica, e ainda em design e arte digital.

Tradicionalmente, os controladores MIDI eram apenas dispositivos analógicos, mas com o avanço das novas tecnologias, passaram a ser também digitais e virtuais. O que era inicialmente um artefacto constituído por botões, teclas, *knobs* e *sliders*, hoje consegue mimetizar qualquer instrumento acústico e não só, como é o caso de controladores MIDI com sensores de movimento (Podles, 2019). Com a democratização dos dispositivos *touchscreen* com interfaces *post-WIMP* (Jacob et al, 2008), como é o caso dos *smartphonese tablets*, surgiram as primeiras aplicações de controladores MIDI. Exemplos destas aplicações incluem o TouchOSC da Hexler[1] e o Lemur da Liine[2].

Os controladores musicais em dispositivos *touchscreen* não possuem, em geral, o *feedback* háptico adequado às suas funcionalidades de controlo, resultando num problema de usabilidade para os seus utilizadores. Este tipo de controladores é, frequentemente, uma peça essencial de criação e produção musical e assume, geralmente, as formas de interfaces físicos e tangíveis constituídos por peças e mecanismos semelhantes a instrumentos acústicos. Com o desenvolvimento tecnológico surgiram as suas primeiras aplicações no mundo virtual e, mais concretamente, em dispositivos *touchscreen*, como *smartphones* e *tablets*. Esta opção, relativamente recente, é mais acessível (pelo seu baixo custo e compatibilidade multi-plataforma), portátil (por se tratar de objetos do dia-a-dia de pequenas dimensões) e apresenta maior versatilidade (por conter todas as funcionalidades de um controlador tradicional e acrescentar a possibilidade de personalização, apenas possível em dispositivos deste tipo).

[1] Touch Osc, Hexler. Fonte: https://hexler.net/products/touchosc [Acedido a 10/11/19]
[2] Lemur, Liine. Fonte: https://liine.net/en/products/lemur/ [Acedido a 10/11/19]

1.2 Problemas Identificados

A. Falta de Feedback Háptico:

Para músicos que dependem essencialmente de instrumentos e interfaces musicais tradicionais, desenvolvidos e refinados durante várias eras da história, e que resultaram de um entendimento profundo da sua interação, estas novas interfaces virtuais podem ser desafiadoras ou até inúteis, pela sua falta de *feedback* háptico, uma característica fundamental na *performance* e controlo musical (Strylowski et. al, 2014). Quando um instrumento musical acústico (ou eletroacústico) produz um som, esse som é consequência da vibração dos seus componentes, causada pela interação do músico com o mesmo. Durante essa interação existe um *loop* constante de *feedback* háptico entre o músico e o instrumento, criado pela troca de energia entre os dois. Esse *loop* determina a dinâmica de cada instrumento, que é fundamental na determinação da *playability* de um instrumento (Pappeti & Saitis, 2018).

B. Personalização não eficiente

Embora existam aplicações que permitem a personalização de interface e de interações como é o caso da *app* TouchOSC, essa personalização só é possível recorrendo a ferramentas externas de criação de *layouts*, o que requer conhecimentos extra e se torna pouco prático. Para os utilizadores que procuram personalização e flexibilidade na interação, é necessário transpor sistemas modulares encontrados em alguns controladores MIDI físicos, como é o caso do *Mine* desenvolvido pela *Special Waves*, um controlador MIDI que contém uma grelha modular personalizável a partir de vários módulos, com diferentes tipos de interações.

1.3 Propostas de Solução

A. Interface Híbrida

Para resolução dos problemas identificados foi desenvolvida uma interface híbrida física e digital, através do uso de objetos TUI (*Tangible User Interface*), um tipo de interface que possui *feedback* visual, físico e háptico. Estes objetos tomam partido da tecnologia *touchscreen* presente em *smartphones* e *tablets*, através de propriedades condutoras térmicas, semelhantes à de uma *stylus pen*. Com esta tecnologia híbrida é possível criar interações semelhantes às de um controlador MIDI físico.

B. Modularidade e Personalização

O sistema de peças TUI desenvolvidas pelo projecto (modular, personalizável e *open-source*) deve-se adaptar a qualquer *smartphone* ou *tablet touchscreen*, e deve ter as proporções de forma e tamanho apropriadas. À semelhança de controladores modulares,

como o *Mine* da *Special Waves*[3], este sistema deverá dar ao utilizador a possibilidade de rearranjar cada peça modular de forma rápida, eficaz e intuitiva, sendo esta última particularmente relevante. Adotando uma filosofia de projeto *open-source*, permite-se ao utilizador que crie as suas próprias peças modulares de forma DIY (*Do It Yourself*), ou, em alternativa, que modifique simplesmente as peças existentes, consoante a sua preferência (Shaer, 2009).

1.4 Hipóteses de Investigação

H1: O nível de qualidade da experiência do utilizador varia de acordo com a qualidade da interface musical (p. ex. interação com ou sem *feedback* háptico)?

Objetivo: Entender as diferenças ao nível da usabilidade entre um controlador tangível tradicional e um controlador em dispositivo *touchscreen*.

- **Variáveis independentes:** Interações específicas (tarefas) com e sem *feedback* háptico.
- **Variáveis dependentes:** Tempo de execução e precisão na execução das interações (tarefas).
- Facilidade e qualidade da experiência na interação com interfaces com e sem *feedback* háptico.

H2: Uma interface híbrida (com tangibilidade e *feedback* háptico) em dispositivos *touchscreen* melhora a experiência do utilizador?

Objetivo: Contribuir para a melhoria da experiência do utilizador em interfaces híbridas no contexto musical.

- **Variáveis independentes:** Nível de experiência do utilizador e interações específicas (tarefas) de controlo musical com interface híbrida.
- **Variáveis dependentes:** Entusiasmo do utilizador no uso da interface, tempo de execução e precisão na execução das interações (tarefas).

H3: O design de um sistema modular e personalizável melhora a experiência de utilização?

Objetivo: Compreender a usabilidade de um sistema modular personalizável.

- **Variáveis independentes:** Utilização correta/incorreta da interface híbrida
- **Variáveis dependentes:** Graus de compreensibilidade do sistema e interesse.

[3] Mine, Special Waves Fonte: https://special-waves.com [Acedido a 10/11/19]

2. Estado da Arte

O presente capítulo proporciona o enquadramento e contextualização do trabalho no âmbito do tema desenvolvido, nomeadamente a definição de termos específicos, enquadramento histórico e definição do problema de projeto. A secção 2.1 apresenta a origem, definição e o motivo que impulsionou a criação da tecnologia MIDI. Segue-se a secção 2.2, com uma revisão sobre o impacto da criação desta tecnologia na indústria musical. Na secção 2.3 é analisado o mercado dos controladores MIDI tradicionais de forma a entender o que os seus utilizadores procuram e o tipo de ofertas existentes. Dando continuidade a uma análise dos controladores existentes, na secção 2.4 é desenvolvida uma análise à introdução dos controladores e instrumentos musicais no universo de dispositivos *touchscreen*, abordando-se projetos e o próprio mercado digital, referindo qual impacto desta tecnologia e os problemas já detetados nestes controladores, sendo a falta de *feedback* háptico o de maior relevância. Para terminar o capítulo, na secção 2.5 a ciência da háptica musical é abordada de forma a demonstrar a sua importância na Interação Musical.

2.1. MIDI

MIDI, acrónimo para *Musical Instrument Digital Interfac*e, quando referido como controlador MIDI, representa o objeto que tem como principal característica controlar parâmetros de *software*, e é geralmente usado para controlar parâmetros musicais, no entanto, esta tecnologia já se expandiu para outras áreas, como é o caso do controlo de imagem e vídeo (Huber, 2007).

2.1.1 Origem dos Instrumentos Mecânicos até aos controladores MIDI

Para se entender a importância dos atuais controladores MIDI é necessário saber os seus primórdios, a sua história (Huber*,* 2007*).* Numa era anterior à invenção da eletricidade, da computação e de sintetizadores, a história dos controladores MIDI começa com a invenção dos primeiros instrumentos mecânicos. Embora, na sua maioria, os controladores MIDI não sejam considerados máquinas automáticas, os seus automatismos, sejam eles mecânicos, eletrónicos ou digitais, fazem parte do mesmo universo e contribuíram para o seu desenvolvimento ao longo do tempo (MIDI Association, 2018).

Os primórdios

O primeiro instrumento musical mecânico inventado de que há registo é da autoria dos Irmãos Banu Mūsā, estando registado e descrito no livro *"Book of Ingenious Devices"*, publicado em 850 a.C. Os irmãos iraquianos são conhecidos pelos estudos a nível da astronomia, todavia, na categoria musical destacam-se como inventores: inventaram um órgão hidráulico que tocava música de forma automática a partir de cilindros intercambiáveis que continham padrões musicais formados por pinos embutidos nos mesmos, muito semelhante à tecnologia usada hoje em caixas de música (Figura 1); para além desse instrumento, os irmãos Banu Mūsā inventaram ainda uma flauta, que poderia ser tocada normalmente por um músico, porém tinha uma tecnologia que fazia ser semiautomática, pois as notas eram pré-programadas, podendo ter sido este instrumento a primeira máquina programável de que há registo (Banu, Hill, 1979).
A referida tecnologia, desenvolvida por Banu Mūsā, de cilindros ou carrilhões, atingiu o pico da popularidade no Oriente durante o período do século IX ao século XIII, enquanto na Europa só começou a ser usada no século XVI, tendo sido popular até ao século XX (MIDI Association, 2018).

Estes instrumentos mecânicos tinham a limitação de atuação, se fossem completamente automáticos, pois apenas poderiam executar uma vez. Mesmo aqueles que poderiam ser pré-programados, dependiam de força humana para funcionar e tinham carência de aspetos como a interpretação artística, a expressividade, e possíveis variações dinâmicas; em suma, estes instrumentos deixavam o músico sem possibilidade de improvisação (Fowler, 1967).

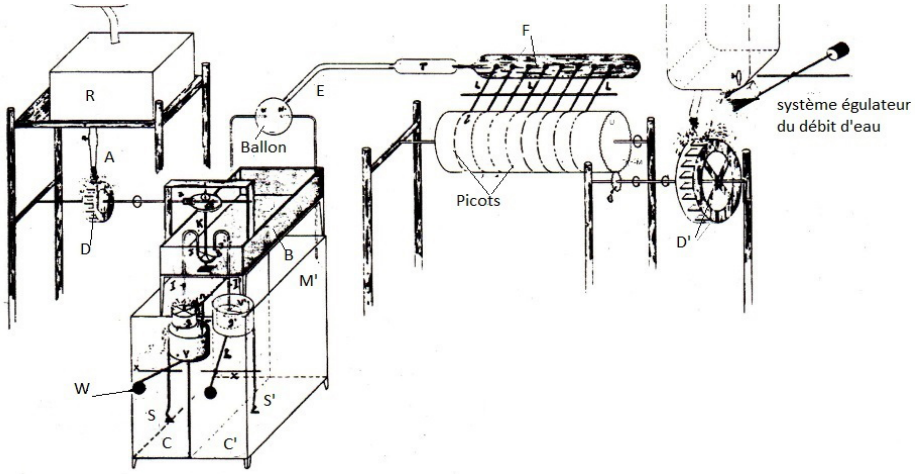


Figura 1. Órgão Hidráulico por Banu Musa (*Banu*, Hill, 1979)

Instrumentos Mecânicos

Entre o século XIX e o século XX, durante a época dourada da música mecânica ocidental, os instrumentos mecânicos conhecidos como *player* pianos eram muito comuns e populares, estes instrumentos eram semelhantes a pianos acústicos, porém eram tocados por mecanismos pneumáticos ou eletromecânicos que funcionavam como um pianista seguindo um documento musical pré-programado (Fowler, 1967). Estes

documentos musicais, intitulados de rolos de piano, continham perfurações que marcavam notas musicais e a forma como deveriam ser tocadas (tempo e duração). Estes rolos, ao passarem por os mecanismos do *player*, faziam com que o piano ativasse certas notas, produzindo assim a peça musical do documento (MIDI Association).

As interfaces digitais, hoje utilizadas para visualização de notas MIDI (Figura 3), foram influenciadas por estes rolos de piano (Figura 2), apresentando uma clara semelhança, transpondo o que inicialmente era mecânico para digital, não por uma necessidade mecânica de funcionamento, mas sim por necessidade de *feedback* visual, geralmente associadas a interfaces de sistemas DAW (Digital Áudio Workstation).

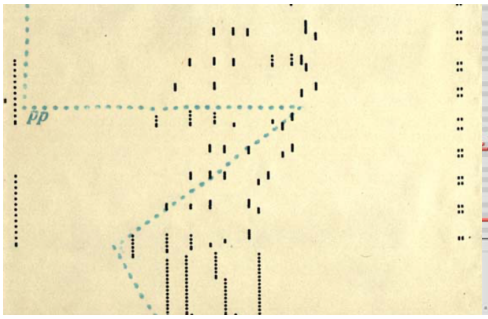


Figura 2. Rolo de Piano Mecânico

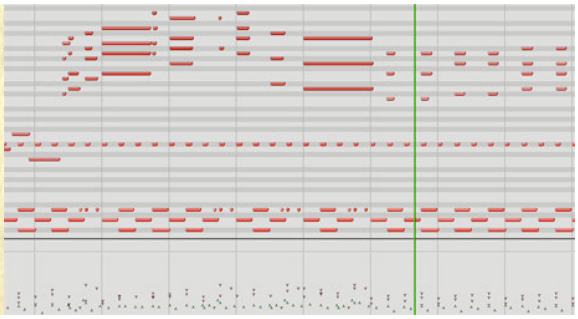


Figura 3. Rolo MIDI de sistemas DAW

Instrumentos Eletrónicos

Com o desenvolvimento dos instrumentos elétricos foi inventado o sintetizador, sendo que no início funcionava como os instrumentos acústicos mecânicos em termos de leitura musical, através de rolos de piano. Robert Moog foi quem democratizou o seu uso, transformando o sintetizador em algo tocável para os músicos, abandonando o controlo por rolos de piano, e adotando o controlo das notas musicais com teclas semelhantes às de piano acústico, dando aos músicos o controlo em tempo real e a possibilidade de improvisar, contribuindo assim para o aumento da expressividade musical. A democratização dos sintetizadores levou ao aparecimento de várias marcas de instrumentos eletrónicos como: a Moog[4]; a Roland[5]; a Korg[6]; e a Yamaha[7], que com o avanço da tecnologia digital tentaram criar interfaces que pudessem interligar vários sintetizadores. Desta forma os músicos teriam apenas um controlador para vários sintetizadores. Mas estas interfaces não eram universalmente adotadas por todas as marcas e, por isso, a sua versatilidade era bastante reduzida (MIDI Association, 2018; Bateman, 2012).

Necessidade da comunicação MIDI

David Smith e Ikutaru Kahehashi foram os primeiros a notar a restrição que os utilizadores sentiam ao utilizar estas interfaces, já que não eram universalmente compatíveis entre sintetizadores. Em 1981, David Smith e Chet Wood apresentaram na AES o primeiro conceito de Interface Universal de Sintetizadores. O conceito MIDI foi anunciado pela primeira vez em 1982 e implementado no sintetizador Sequential

[4] Moog. Fonte: https://www.moogmusic.com/visitmoog [Acedido a 10/11/19]
[5] Roland. Fonte: https://www.roland.com/global/company/history/ [Acedido a 10/11/19]
[6] Korg. Reid. G. (s.d.) The history of Korg. Fonte: https://www.soundonsound.com/music-business/history-korg-part-1 [Acedido a 10/11/19]
[7] Yamaha. Fonte: https://www.yamaha.com/en/about/history/ [Acedido a 10/11/19]

Prophet-600, criando um marco da história da música eletrónica e o início da era MIDI (Bateman, 2012).

2.1.2 Tipos de Controladores

Atualmente existem vários tipos de controladores MIDI com diferentes formas de interação. Embora estes controladores contenham as mesmas capacidades de controlo digital, cada um é desenhado para funções de controlo específicas: uns são mais apropriados para controlar parâmetros digitais (como efeitos musicais e o volume) e outros notas musicais (Huber, 2007). Os tipos mais comuns de controladores são:

Teclados MIDI

Os Controladores Teclados são a forma de controlo MIDI mais usual. Com apenas um teclado é possível ao músico o controlo de vários sintetizadores e *softwares* que usam comunicação MIDI. Um teclado controlador MIDI é uma interface semelhante às teclas de um sintetizador, que geralmente inclui entre 25 a 88 teclas, criadas para controlar notas musicais. Geralmente não é composto apenas por teclas, mas também por *faders*, *knobs*, *sliders*, botões, *pads* e *switches*, que são usados para controlar parâmetros musicais (Figura 4).



Figura 4. Teclado Controlador MIDI M-Audio

Drum pads e Baterias Electrónicas

Os *drum pads* e as baterias eletrónicas permitem o controlo de sons de instrumentos de percussão com uma interação semelhante aos instrumentos acústicos. Estes controladores consistem, geralmente, em superfícies de borracha com diferentes áreas de toque (ativando diferentes sons) e com sensores de força que medem a intensidade de cada toque. Os *drum pads* são tradicionalmente usados para *sampling*, associando-se a cada *pad* um som diferente (Figura 5).



Figura 5. Controlador MIDI Drum pad Akai MPD218

Instrumentos de Cordas MIDI

Os controladores MIDI de cordas simulam a interação de instrumentos, como a guitarra, o baixo, o violino e o violoncelo. Estes instrumentos são bastante expressivos e permitem ao utilizador a exploração de novas formas de composição e performance (que poderia não ter num instrumento de cordas acústico) (Figura 6).



Figura 6. Guitarra MIDI Starr Lab Ztar

Instrumentos de Sopro MIDI

Os controladores de sopro MIDI permitem uma interação semelhante à interação dos instrumentos de sopro acústicos: estes instrumentos procuram simular as dinâmicas e a expressividade permitidas nos instrumentos de sopro. Tradicionalmente são utilizados para controlar sons de saxofone, clarinete e flauta (Figura 7).



Figura 7. Instrumento de sopro MIDI Roland AE-05

2.2 Impacto do MIDI na Indústria Musical

O impacto da criação do MIDI na música começou antes da sua implementação, ou seja, durante a sua projeção, numa época em que as marcas de sintetizadores desenhavam sistema fechados sem a possibilidade de uma comunicação universal. Como foi já referido, em 1982, Smith e Kahehashi foram os primeiros a notar este problema e a expô-lo, persuadindo assim os fabricantes a adotarem um sistema *standard*, sendo esta a primeira vez que várias marcas de instrumentos se juntaram para adotarem o mesmo sistema de comunicação. O MIDI passou a permitir a conexão entre sintetizadores, sequenciadores e outros instrumentos eletrónicos de diferentes fabricantes (MIDI Association).

Nos anos 80, os géneros de música mais populares - o *rock*, o *pop* e a *dance music* - eram constituídos por sintetizadores e sequenciadores, sendo estes uns dos principais responsáveis pela sonoridade peculiar desta década. No início da década, sintetizadores como o Prophet 5[8] e Roland Jupiter 8[9] eram bastante populares, tendo sido utilizados em músicas como "*Flashdance What A Feeling"* de Irene Cara[10], uma das músicas mais emblemáticas e no top 6 da Billboard[11] desta década. Estes instrumentos ainda não continham MIDI e receberam as primeiras atualizações de modelo que já possuíam uma conexão MIDI. Passou a ser possível usar *kits* de conversão MIDI para tornar qualquer instrumento eletrónico em um controlador MIDI. O sintetizador DX7[12] da Yamaha é um dos sintetizadores mais populares e mais vendidos, sendo o primeiro a fazer sucesso com conexões MIDI, marcando a geração da década 80 em *hits* como a *"Take On Me"* dos A-ha, *"The Final Countdown"* dos Europe e *"Open Your Heart"* de Madonna.

O sucesso na tecnologia MIDI, ainda durante a mesma década, não se restringiu apenas à conexão de diferentes instrumentos eletrónicos dos mais diversos fabricantes: a sua revolução foi amplificada com a criação do computador pessoal. Estes novos computadores, como o Atari St[13], Apple II[14] e Commodore 64[15] vieram permitir o uso de

[8] "Prophet 5 40th Anniversary". Fonte: https://www.sequential.com/2018/08/sequential-celebrates-prophet-5-40th-anniversary/ [Acedido a 10/11/19]
[9] "Roland Icon Series: The Jupiter-8 Synthesizer". Fonte: http://www.roland.co.uk/blog/roland-icon-series-jupiter-8-synthesizer/ [Acedido a 10/11/19]
[10] Irene Cara, "Flashdance What A Feeling". Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=ILWSp0m9G2U [Acedido a 10/11/19]
[11] Billboard's Top Song of the '80s. Fonte: https://www.billboard.com/charts/greatest-billboards-top-songs-80s [Acedido a 10/11/19]
[12] Yamaha Dx7. Fonte: https://www.yamaha.com/en/about/design/synapses/id_009/
[13] "Vintage Rewind: Atari St Computer". Fonte: https://www.musictech.net/reviews/vintage-rewind-atari-st-computer/ [Acedido a 10/11/19]
[14] "Os 40 anos do Apple II". Fonte: https://www.musictech.net/reviews/vintage-rewind-atari-st-computer/ [Acedido a 10/11/19]

MIDI na música digital, uma inovação que rapidamente se tornou popular nos estúdios de música, para composição e gravação musical. Pelo seu tamanho reduzido em comparação com os instrumentos de gravação tradicionais, e à sua acessibilidade, os *home studios* tornaram-se populares, contribuindo assim para o sucesso do MIDI com músicos e produtores amadores até profissionais.

O impacto desta nova tecnologia de computação aliado aos controladores MIDI foi notório na década de 90, uma era dourada para o género musical hip-hop, e uma continuidade da popularidade de *dance music* e outros géneros de música eletrónica. O *Hip-Hop,* que era caracterizado pelo *Beatmaking* (uma forma de criar música que usa a tecnologia como forma de fusão de vários géneros e subgéneros musicais), foi pioneiro no uso da tecnologia como centro da criação e composição musical. Estes *beats* são geralmente criados através do uso: de *drum machines*; sequenciadores (instrumentos musicais que substituem a parte rítmica da tradicional bateria reproduzindo um *fill* rítmico em *loop*: estes instrumentos podem ser utilizados com conexão MIDI para controlo do ritmo); mesas de mistura, que podem ser analógicas usando discos *vinyl* ou podem ser digitais, imitando a interação dos discos de *vinyl* mas controlando som proveniente de um *software*, sendo esta versão considerada um controlador MIDI; *samples pads* e MPCs (instrumentos de reprodução de *samples*, que são sons ou partes de sons) - estes pads podem ser também controladores MIDI; e Digital Audio Workstations, ou abreviado DAWS, que são estúdios completos num só computador, sendo que os sons destes softwares são tradicionalmente controlados por MIDI.

Com a entrada no novo milénio, a tecnologia MIDI continuou a crescer aliada aos avanços dos computadores e a democratização dos mesmos, tornando-se ainda mais acessível. O rock, o hip-hop e o pop continuam a ser dos géneros mais populares, tendo uma vertente electrónica ligada às novas tecnologias musicais. Um exemplo do uso da comunicação MIDI nesta década é a banda MGMT, uma banda de rock alternativo, que é caracterizada pelo o uso de vários sintetizadores e sequenciadores, como na sua música mais popular *"Time To Pretend"*[16]. Outro artista que recorre ao uso de *sampling* aliado a controladores MIDI é Gotye, popular pela música *"Somebody that I used to know*" do album *"Making Mirrors"*[17]. Neste álbum Gotye gravou *samples* de sons do meio ambiente, de instrumentos musicais peculiares, de discos *vynil*, e através de um *software* DAW e controladores MIDI (p. ex: Novation Launchpad) alterou-os dando-lhes uma nova vida.

Na atual década, os géneros populares continuam a ser o hip-hop, o pop, o rock e a música eletrónica, sendo que o hip-hop, a meio da década, tornou-se o género mais popular. Atualmente os computadores pessoais são mais acessíveis, assim como os *softwares* de música e controladores MIDI, fazendo crescer o universo de produção musical. O conceito de *home studio* é cada vez mais popular, mas, a tendência de ter um *music setup* (conjunto de ferramentas para a criação e produção musical) portátil, que consiste tradicionalmente em um computador portátil, um controlador MIDI e um microfone, é cada vez maior. O produtor Oak Felder[18] é um exemplo de que a música pode ser hoje criada e gravada em qualquer lugar e possui a mesma qualidade que um estúdio tradicional. Os controladores MIDI permitem, atualmente a criação de música em

---

[15] Commodore 64. Fonte: https://learn.adafruit.com/commodore-64-retro-guide [Acedido a 10/11/19]
[16] MGMT, "Time to Pretend". Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=B9dSYgd5Elk [Acedido a 10/11/19]
[17] Gotye, "Making Mirrors – a short documentary". Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=2ZXLyeatI0s&t=371s[Acedido a 10/11/19]
[18] The Verge, "How this top producer turns his laptop into a studio"
Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=FUHcYX1-9Y8 [Acedido a 10/11/19]

qualquer lugar com uma qualidade de estúdio, e pode ser produzida por músicos amadores e músicos profissionais, sendo uma tecnologia que veio equilibrar a competição no mercado, dando a todos a mesma acessibilidade ao universo música e contribuindo para a diminuição da discrepância de oportunidades e sucesso em diferentes meios sociais, culturais e económicos.

2.3 Mercado

Num projeto de Design é indispensável o estudo e análise do mercado com o objetivo de encontrar e comparar as soluções existentes no mesmo. Neste estudo dividiu-se a análise do mercado em dois segmentos: o mercado geral de controladores MIDI, incluindo todos os tipos de controladores, marcas e valores, com o objetivo de entender qual a preferência dos utilizadores desta tecnologia, tendo em conta a grande diversidade de oferta; e o mercado de produtos MIDI que se aproximam da solução desenvolvida neste projeto, com o objetivo de entender que características possuem e, quais as suas vantagens e desvantagens.

2.3.1 Mercado MIDI

Este estudo do mercado tem como objetivo identificar os controladores MIDI mais populares no mercado recorrendo ao número de vendas e suas classificações e, assim, identificar as funcionalidades mais desejadas pelos seus utilizadores. Foram analisadas três lojas online: a thomann.com[19], a musicstore.com[20] e a amazon.com[21], sendo estas as lojas mais populares para compra de instrumentos e tecnologia musical.

Identificou-se os 10 controladores MIDI com mais vendas e maior popularidade: Akai MPK Mini Mk2; Novation LaunchPad Mini Mk2; Arturia MiniLab MkII 25; Akai APC Mini; Arturia KeyLab 88 MkII; Native Instruments Komplete Kontrol M32; Akai MPD218; Korg Nano Control 2; M-Audio Oxygen MKIV; Novation LaunchKey Mini 25.

Como se pode observar na tabela 1, os controladores MIDI mais populares são teclados e *drum pads*, que geralmente estão unidos num só controlador. Estes dispositivos possuem em média entre 25 a 32 teclas, ou seja, entre 2 e 3 oitavas, e são portáteis devido às suas dimensões reduzidas. Para além de serem constituídos por teclas e *drum pads*, estes controladores possuem ainda *knobs*, *sliders*, botões e alguma forma de controlo em termos de modelação sonora, dando ao utilizador uma grande diversidade de interações num único dispositivo. O preço médio destes controladores situa-se entre os 80 e 100 euros. Conclui-se que os utilizadores têm uma preferência por controladores portáteis com grande diversidade de interações (sendo os teclados e *drum pads* indispensáveis) e preço acessível.

---

[19] Thomann, Top Seller. Fonte: https://www.thomann.de/pt/topseller_GF_controller1.html [Acedido a 10/11/19]

[20] Music Store, Top Seller. Fonte: https://www.musicstore.com/en_OE/EUR/Top-Seller/Controllers/cat-Topseller-TOPCOMCONTROL [Acedido a 10/11/19]

[21] Amazon, Best Seller in Computer Recording MIDI Controllers. Fonte: https://www.amazon.com/Best-Sellers-Musical-Instruments-Computer-Recording-MIDI-Controllers/zgbs/musical-instruments/11973721 [Acedido a 10/11/19]

	Teclado	Knobs	Sliders	Drum Pad	Botões	Modulação	Dimensões	Preço Médio (€)
Akai MPK Mini Mk2	25 Teclas	8 Knobs	----------	8 Pads	10 Botões	1 Joystick	317x181x44 mm	80 Euros
Novation LaunchPad	----------	----------	----------	64 Pads	16 Botões	----------	240x240x25 mm	130 Euros
Arturia MiniLab MkII	25 Teclas	16 Knobs	2 Sliders de Modulaç-ão	8 Pads	4 Botões	2 Sliders	355x220x50 mm	90 Euros
Akai APC Mini	----------	----------	9 Sliders	64 Pads	17 Botões	----------	239x201x25 mm	75 Euros
Arturia KeyLab 88 MkII	88 Teclas	10 Knobs	9 Sliders	16 Pads	43 Botões	2 Roldanas de Modulação	1291x353x108 mm	800 Euros
NI Komplete Kontrol M32	32 Teclas	9 Knobs	2 Sliders de Modulaç-ão	----------	22 Botões	2 Sliders	475x167x50 mm	100 Euros
Akai MPD218	----------	6 Knobs	----------	16 Pads	6 Botões	----------	237x200x39 mm	90 Euros
Nano Control 2	----------	8 Knobs	8 Sliders	----------	35 Botões	----------	325x30x83 mm	60 Euros
M-Audio Oxygen MKIV	25 Teclas	8 Knobs	9 Sliders	8 Pads	21 Botões	2 Roldanas de Modulação	814x243x94 mm	130 Euros
Novation LaunchKey Mini 25	25 Teclas	8 Knobs	----------	16 Pads	9 Botões	----------	325x175x43 mm	70 Euros

Tabela 1. Controladores MIDI (Especificações)

2.3.2 Mercado MIDI Personalizável e Modular

Este estudo de mercado tem como objetivo identificar os controladores MIDI que apresentem um nível de personalização acima do comum, assim como as suas principais funcionalidades e características. Foram analisados cinco controladores:

Joué



Figura 8. Controlador MIDI Joué

Descrição: Joué[22] é um controlador MIDI que permite grande expressividade com a seu painel *touchscreen*. Esta superfície, contida numa prancha digital, funciona como um sistema modular dividido em 3 seções, sendo que cada uma pode ser usada para um módulo diferente, ou para um módulo que ocupe o painel na sua totalidade. Joué usa uma tecnologia de sensores polifónicos de pressão com grande precisão que conseguem captar todas as nuances de expressividade do utilizador ao interagir com o controlador. Este controlador deteta cada módulo a partir de tecnologia RFID, tornando-se bastante intuitivo e prático. Os módulos são de borracha tornando-os resistentes e flexíveis (Joué).

Tipos de Interação: Painéis X-Y-Z de modulação; Bolha de borracha que funcionam como botões expressivos; *Touch knobs*, Braço de uma Guitarra para uma interação semelhante a instrumentos de cordas; *Pads* para percussão; *Touch sliders*; teclado de uma oitava e meia; Teclas para simular instrumentos como harpa ou xilofone.

Preço: 479 euros (Essential Pack)

[22] Joué. Fonte: https://www.play-joue.com [Acedido a 10/11/19]

Mine Modular Controller

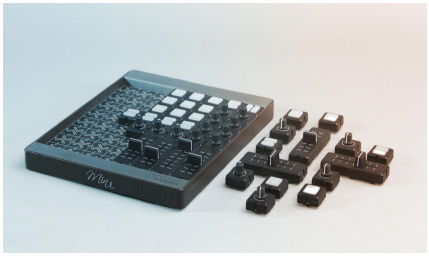


Figura 9. Controlador MIDI Mine

Descrição: Mine[23] é um controlador MIDI completamente modular desenvolvido pela Special Waves. O controlador consiste numa peça de *hardware* com um sistema de *slots* em grelha 8x8 para a inserção de módulos. A forma como estes módulos são distribuídos pela grelha é completamente personalizável pelo o utilizador (Mine).

Tipos de Interação: Dois tipos de botões; dois tipos de knobs; Um Slider.

Preço: 281 euros (Preço de CrowdFunding no Indiegogo.com)

Palette

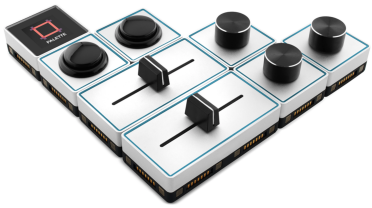


Figura 10. Controlador Palette

Descrição: Pallete[24] é um controlador concebido para Design e Música que consiste num sistema modular de peças magnéticas que encaixam entre si. Cada módulo funciona de forma independente e não está dependente de nenhuma mesa de conexão, sendo o seu tamanho e ligações ilimitado. Neste controlador é possível personalizar o *layout*, a função, a sensibilidade e a cor de cada módulo (Palette).

Tipos de Interação: Botão; Slider; Knob

Preço: 350 euros (Capture One Kit)

[23] Mine, Special Waves. Fonte: https://special-waves.com [Acedido a 10/11/19]
[24] Pallete. Fonte: https://monogramcc.com [Acedido a 10/11/19]

Roli Blocks



Figura 11. Instrumento e controlador MIDI Roli Blocks

Descrição: O Roli Blocks[25] é um sistema de controladores modulares analógicos e digitais que permitem ao utilizador novos tipos de interações, como o uso do módulo Seaboard, um teclado de duas oitavas com uma tecnologia de 5D *Touch* que permite uma grande expressividade. Este controlador permite formar qualquer tipo de *layout* usando os módulos, e é possível acrescentar sempre um novo módulo ao sistema. Cada módulo acrescenta uma diversidade de funcionalidades muito específicas, não se limitando a um tipo de interação por módulo (Roli).

Tipos de Interação: Seaboard Block; LightPad Block; Live Block; Loop Block; TouchBlock

Preço: 430 euros (Songmaker Kit)

Grid

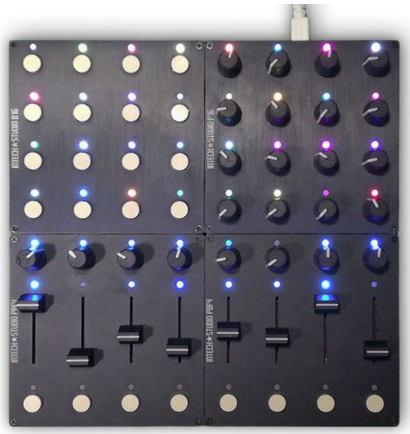


Figura 12. Controlador MIDI Grid

Descrição: Grid[26] é controlador MIDI modular no qual cada módulo funciona de forma singular. É possível conectar a este sistema até dezasseis módulos. Cada módulo oferece vários controladores configuráveis. Grid é construído com materiais resistentes e o seu design assemelha-se aos sintetizadores modulares (Grid).

[25] Roli Blocks. Fonte: https://roli.com/products/blocks [Acedido a 10/11/19]
[26] Grid. Fonte: https://www.indiegogo.com/projects/grid-modular-midi-controllers--2#/ [Acedido a 10/11/19]

Tipos de Interação: Módulo de Knobs; Módulo de Sliders e Knobs; Módulo de Botões

Preço: 96 euros (One Grid Module em CrowdFunding no Indiegogo.com)

Após análise destes produtos no mercado entende-se que a modularidade e personalização é uma aposta relevante nos novos controladores MIDI e que a tendência é a de criar novas formas de interação musical, aumentado assim a expressividade possível nestes controladores. Também se observa com esta análise que as interações tradicionais, como teclados, *knobs* e *sliders* se mantêm indispensáveis, sofrendo apenas atualizações. Todos os controladores analisados possuem a característica de serem portáteis, adotando assim uma ideologia de "*fazer música em qualquer lugar",* tendo-se mostrado mais versáteis. Devido aos preços elevados destes dispositivos, este tipo de controladores é pouco acessível, dando abertura a novos produtos com o mesmo nível de inovação, mas a um preço mais competitivo.

2.4 Controladores e Instrumentos Musicais *Touchscreen*

O avanço das tecnologias *touchscreen* permitiram o desenvolvimento de novos tipos de instrumentos digitais. Este avanço surgiu primeiro em estudos científicos e, posteriormente, no mercado através da democratização das tecnologias *touchscreen* em dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*. Estes instrumentos, que tradicionalmente eram apenas físicos, foram adaptados e aplicados ao universo digital e, neste contexto, a ecrãs 2D.

Este capítulo divide-se em duas partes, sendo que a primeira parte retrata alguns estudos científicos relevantes para a temática, e a segunda elabora um estudo do mercado de controladores MIDI e instrumentos digitais em dispositivos *touchscreen*.

2.4.1 Análise de projetos

Nesta análise são analisados três projetos distintos, com abordagens e meios diferentes, mas com objetivos semelhantes. Cada projecto tenta encontrar uma solução para tornar possível instrumentos musicais ou controladores em superfícies *touchscreen*: uns centram-se em dispositivos já democratizados, como *smartphones* e *tablets*, e outros em *touchscreen* mais avançados, mas ainda pouco acessíveis.

Controlador de Geiger

O projeto de Gunter Geiger foi pioneiro na criação de uma interface em aparelhos móveis, neste caso a primeira geração de telemóveis tácteis, os primórdios dos atualmente chamados *smartphones*. Estes aparelhos móveis tinham uma interface WIMP, o que dificultava a interação do ponto de vista musical. O objetivo do projeto de Gunger era criar um instrumento (ou interface) que fosse intuitivo e prático. No seu projeto, Gunger identificou três tipos de interação: a primeira era baseada em áreas de toque, tendo dividido a interface em áreas diferentes, que funcionaram um pouco como botões; a segunda era uma interação gestual, em que diferentes gestos faziam de *trigger* para diferentes sons ou outras variáveis; a terceira intitulada de *border crossing*, era uma interação de contacto contínuo com o ecrã táctil, em que a passagem por diferentes áreas alterava um som ou variável. Neste projeto Gunger reflete sobre o *feedback* possível da sua interface, dando-lhe o devido valor, e chega à conclusão que a sua interface conseguia ter: algum *feedback* táctil vibratório, *feedback* sonoro, por se tratar de um instrumento musical e *feedback* visual, por ser uma interface digital num ecrã. Todavia, o seu projeto não conseguiu um tipo de *feedback* indispensável na interação musical: o cinestésico, pois esse não é possível numa interface com estas características, limitando a interação e usabilidade. (Geiger, 2006)

Pitch Canvas

Pitch Canvas é um projeto mais recente de Brad Strylowski, Jesse Allison, Jesse Guessford e é baseado em instrumentos digitais em ecrãs tácteis; neste caso os ecrãs tácteis possuem uma tecnologia mais avançada e, por isso, mais precisa. O projeto parte

de uma necessidade da criação de uma interface musical apropriada a ecrãs tácteis, sejam eles em smartphones ou tablets, pois as interfaces digitais existentes no mercado tentavam mimicar as interfaces físicas tradicionais, e resultavam em interações fracas em termos de usabilidade. A interface de Strylowski, Allison e Guessford foi criada para iPad, dando uso às suas largas dimensões, quando comparadas com um smartphone; esta interface foi desenhada com base numa grelha hexagonal, pois na opinião dos mesmos a interação gestual seria mais natural, aumentando a sua usabilidade. Esta grelha hexagonal era composta por círculos que representavam botões, e cada botão uma nota musical. Embora a interação desse ao músico novas oportunidades de expressividade musical, este era obrigado a ter contacto visual para se guiar no instrumento. Para resolver este problema, criou-se uma capa física que se coloca por cima do iPad; essa capa contém perfurações na área dos botões, criando assim *feedback* táctil que serve de guia ao utilizador durante a sua interação com a interface (Strylowski et al, 2014)

"Designing Virtual Instruments with Touch-Enabled Interface"

Zhimin Rene et al, desenharam uma interface musical em ecrã táctil, um projeto com interações semelhantes aos projetos anteriores, mas com uma diferença: este ecrã não pertence a um smartphone ou tablet, mas sim a uma interface maior e específico ao projeto. O objetivo de criar uma interface musical num ecrã de grandes dimensões e táctil encontra-se na possibilidade de este ser uma interface com interação colaborativa, ou seja, para ser usado não por um, mas por dois ou mais utilizadores simultaneamente. Neste projeto, os autores optam por criar uma interface exclusivamente para instrumentos de percussão digitais, pois na sua opinião a interação desses instrumentos é semelhante à interação num ecrã multi-táctil. Para criar algum *feedback* háptico, esta interface tem como objetivo ser usada com instrumentos reais de percussão, como baquetas de xilofone, permitindo criar maior autenticidade na interação e semelhança a instrumentos acústicos (Rene et all, 2012).

2.4.2 Mercado Musical *Touchscreen*

O avanço da tecnologia *touchscreen* permitiu, como foi já referido, a criação de aplicações digitais de instrumentos e controladores virtuais. Esta nova possibilidade de abertura de mercado permitiu aos fabricantes o desenvolvimento dos seus produtos aplicados a universo virtual.

Sintetizadores analógicos de marcas como a Korg, Moog e Arturia foram transformados em *mobile apps* com interfaces inspirados na sua forma analógica; um bom exemplo é a *app* Korg IMono (Figura 13.B), uma aplicação inspirada no sintetizador analógico Korg Mono Poly (Figura 13.A), como se pode ver na imagem seguinte. A virtualização deste sintetizador contém alguns benefícios, pois consegue recriar, com grande precisão, os sons eletrónicos do Mono Poly através de programação digital, sendo difícil por vezes distinguir os dois. Em comparação com o sintetizador tradicional, este novo, para além de oferecer uma sonoridade semelhante, possui também novas formas de personalização, como novas formas de multi-efeitos e integração com outros instrumentos virtuais da Korg, por um preço competitivo. Esta *app*, disponível apenas para sistemas de iOS, custa 30 euros, um preço muito mais acessível que o sintetizador original, que custa aproximadamente 1600 euros. Embora possua um som e interface visual semelhante ao original a um preço mais acessível e com maior versatilidade, a interação de utilizador-máquina é completamente diferente. O Korg Mono Poly original é constituído por uma variedade de *knobs*, um teclado com 3 oitavas e meia, botões e duas

roldanas que, ao serem virtualizadas, no korg iMono sofreram alterações no seu tipo de interação. Os *knobs* que, pela experiência do utilizador (com potenciómetros) e pelo seu aspeto visual, remetem para uma interação de rotação, na *app* Korg iMono, essa interação é substituída por um toque de ativação do controlador e por um slide vertical para alteração dos valores do mesmo. O teclado é substituído por uma representação gráfica do mesmo, com apenas duas oitavas que funcionam como botões de toque. Na *app* a única diferença entre um botão e uma tecla é o seu grafismo, pois a interação é a mesma, e o mesmo acontece com os *knobs* e as roldanas, que diferem no grafismo, mas a interação de ambos é igual.



Figura 13. A. Korg Mono Poly; B. Korg iMono

Outro exemplo da transformação do analógico para o virtual é o popular MPC da Akai (Figura 14.A), um instrumento composto por *drum pads* e desenvolvido para a criação de *beats* e *sampling*, que ganhou uma versão em formato *app* para iOS (Figura 14.B). Esta nova aplicação procura imitar a forma de criação musical do tradicional MPC, oferecendo as mesmas características a um preço mais acessível de 28 euros, comparativamente com o preço do tradicional, de 300 euros. À semelhança do Korg Mono Poly, o MPC mantém na sua *app* a estética do original, mas muda o tipo de interações. O Akai MPC original possui alguns controladores em formato de *knobs* e *sliders*, mas na sua *app*, tal como no Korg iMono, essas interações são substituídas por um toque e *slide*. Nos *drum pads*, embora a interação de toque seja semelhante, tanto no MPC original como na *app*, não é possível reproduzir num *touchscreen* a mesma sensibilidade e expressividade de um controlador físico.



Figura 14. A. Akai MPC 200; B. Akai iMPC

Outros fabricantes tentaram criar instrumentos virtuais de instrumentos acústicos com interações ainda mais complexas, como instrumentos de percussão ou de cordas, como é o caso da *app* criada por Rodrigo Kolb[27], "Real Drum", que está disponível na App Store do sistema iOs. Esta aplicação apresenta uma interface gráfica inspirada numa bateria acústica e cada componente dessa bateria serve como botão que, sendo ativado por um toque, reproduz o som correspondente. O *software* GarageBand da Apple, que inicialmente era apenas compatível com um computador, tem também uma versão para dispositivos móveis *touchscreen*. Esta *app* permite a composição e performance de vários instrumentos digitais, intitulados Touch Instruments, que são virtualizações de instrumentos físicos, como guitarras, baixos, percussão, piano e órgãos (Figura 15). A imagem seguinte apresenta o ecrã relativo ao instrumento baixo, em que a interface gráfica é uma ilustração de uma parte do braço do baixo e, cada combinação de corda com espaço do traste representa uma nota que é ativada com um toque. Sendo a sua interação baseada em toques e *swipes*, a perda de qualidade e diversidade de interações é mais acentuada nesta aplicação do que nas anteriores, verificando-se particularmente esta perda na virtualização de instrumentos de cordas (como uma guitarra ou baixo) e instrumentos de percussão que necessitem de certos acessórios para serem tocados (por exemplo: uma bateria tradicionalmente é tocada com baquetas). Em *touchscreens* não é possível simular algumas das interações de instrumentos acústicos, por serem objetos tridimensionais com interações específicas que dependem dessas dimensões. O *touchscreen* 2D tradicional não permite imitar essas interações, como sentir a tridimensionalidade das cordas de uma guitarra ou a pressão que elas exercem sobre os dedos, ou ainda sentir a tensão de uma pele de um instrumento de percussão ou a reverberação de baquetas, com exceção da tecnologia 3DTouch, que pode dar uma nova dimensão aos *touchscreen*, mas de forma subtil, não podendo substituir a interação com um instrumento tradicional.
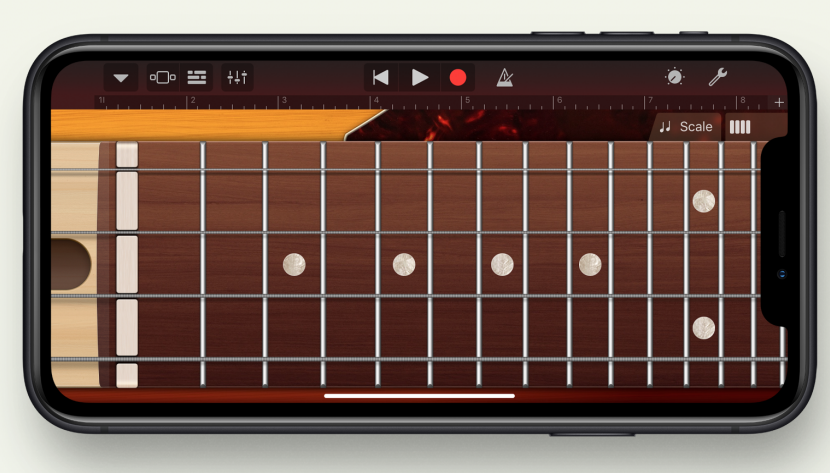


Figura 15. Garage Band, Braço de Guitarra Eléctrica

Assim como o GarageBand[28], outros *softwares* DAW (Digital Audio Workstation) ganharam uma versão em dispositivos móveis *touchscreen*, sendo um deles o Fruity Loops (Figura 16.A), adaptado a qualquer tipo de sistema móvel na sua versão FL Studio Mobile (Figura 16.B). Na imagem seguinte é possível comparar a interface do *software* original e o da sua versão móvel. A versão *app* é mais simples em termos de funcionalidades e na sua interface gráfica, no entanto utiliza o mesmo tipo de rolo de

[27] "Real Drum". Fonte: http://www.kolbapps.com [Acedido a 10/11/19]
[28] Garage Band. Fonte: https://apps.apple.com/us/app/garageband/id408709785 [Acedido a 10/11/19]

piano para facilitar a adaptação do utilizador de um *software* para o outro. Sendo estes *softwares* de composição e produção musical (que foram desenhados para serem utilizados com controladores MIDI externos) a transformação do *software* de computador para software de dispositivos *touchscreen* não cria consequências ao nível da qualidade de interação (embora altere a experiência do utilizador), mudando apenas a área de que interação que o utilizador dispõe (sendo que essa área pode variar consoante o dispositivo utilizado, podendo ser maior ou menor que a do *software* original).



Figura 16. A. Fl Studio Desktop; B. Fl Studio Mobile

Tal como aconteceu com os instrumentos musicais, foram criados controladores musicais digitais e *touchscreen*. Observando o estudo de mercado de controladores MIDI desenvolvido e retirando do mesmo estudo os fabricantes mais populares (p. ex.: Akai; Novation; Arturia; e M-Audio) e os seus produtos disponíveis, é possível afirmar que são poucos os que criaram versões dos produtos físicos em formatos digitais. Também os fabricantes que criaram versões digitais dos seus produtos de controlo musical, acrescentaram novas funcionalidades musicais, neste caso transformando o que eram apenas controladores em instrumentos musicais. Um exemplo desta digitalização é o produto da Novation, o LaunchPad (Figura 17.A), um dos controladores mais vendidos no mercado, que passou a ter uma versão em formato *app* para dispositivos iOs (Figura 17.B). O Launchpad é um controlador MIDI constituído por uma grelha 8x8 de botões que tem como funcionalidade ativar notas musicais ou *samples*. Este controlador pode ser usado com qualquer *software* musical que permite controlar MIDI. A sua versão digital, em formato de *app* em dispositivos *touchscreen*, não é um controlador, mas sim um instrumento musical de *sampling*, composição, edição e performance musical. À semelhança da versão analógica, esta *app* apresenta na sua interface uma grelha de botões que varia de tamanho consoante o tamanho do ecrã do dispositivo, sendo que os botões têm como principal função ativar os samples pré-definidos pelo utilizador. Tratando-se de um *software* musical, esta app pode ser conectada ao controlador LaunchPad físico e permite controlar os seus sons. Pode-se afirmar que um dos objetivos desta digitalização não era a criação de um controlador digital, mas sim um complemento ao produto físico. Outros fabricantes populares, como a Akai e a Arturia seguiram a mesma estratégia e criaram apps de instrumentos musicais e não apenas controladores, sendo os melhores exemplos o Akai Mpc e o Arturia, e toda a sua gama de sintetizadores digitais em formato app: iMini, iSem, iProphet e iSpark, para sistemas iOs.



Figura 17. A. Novation Launchpad; B. Novation LaunchPad iOS

Havendo esta oportunidade de mercado deixada pelos grandes fabricantes de controladores digitais, surgiram várias marcas de controladores MIDI puramente digitais e *touchscreen*. Sendo estes controladores originais (e não a digitalização de produtos físicos) as possibilidades das suas interfaces, de interação e de personalização são mais diversificadas. Um dos controladores mais populares é o TouchOsc da Hexler (Figura 18). Este controlador possui uma interface modular e é completamente personalizável. O utilizador poderá construir, dentro dos limites do seu *touchscreen*, uma interface composta por diversos tipos controladores, como *sliders* (verticais, horizontais ou rotativos), botões, mapeadores XY e sequenciadores. Estes controladores podem ter o tamanho e a forma que o utilizador desejar, assim como diversas cores e funções.



Figura 18. Interface do TouchOsc

Lemur da Liine é outro controlador *touchscreen* multiplataforma que permite personalizar a interface e as funções do controlador. Ao contrário do TouchOsc, este controlador permite a criação de interfaces menos convencionais, com formas, tamanhos e interações diversificadas, como exemplificam as imagens seguintes: a primeira com controladores em forma de espiral, com diferentes divisões e formas, e a segunda em formato de gráfico (Figura 19).

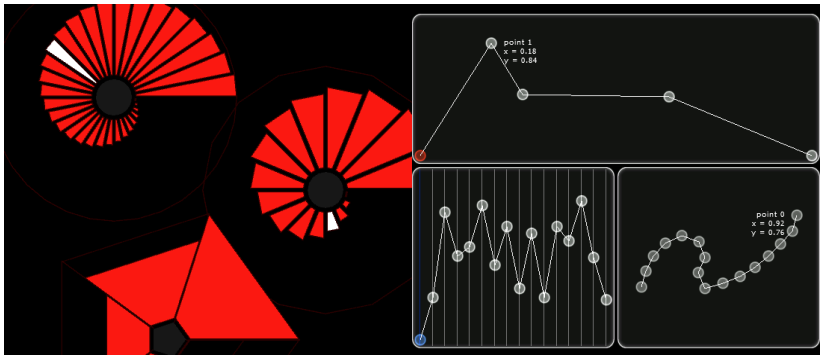


Figura 19. Interfaces do Lemur

O TouchOsc e o Lemur são controladores acessíveis, para todos os sistemas de *smartphones* e *tablets*, o primeiro com um custo de 5,5 euros e o segundo com um custo de 22,5 euros que, comparativamente com o custo de um controlador MIDI analógico, é muito inferior. Ambos permitem a personalização da sua interface, não só a nível do *layout*, mas no tipo de interações, funcionalidades, tamanhos e forma (algo que não é possível em controladores tradicionais), mas esta característica não está otimizada para os seus utilizadores. Para o utilizador personalizar a TouchOsc precisa de um segundo *software* (num computador), que serve como editor (criando um ficheiro que deverá ser enviado para *app* TouchOsc, sendo necessários conhecimentos de design e de lógica de programação para o fazer). Para personalizar a *app* ou layout do Lemur são, igualmente, necessários conhecimentos específicos, nomeadamente da linguagem de programação Html, tornando a personalização de ambas as aplicações móveis complicada e pouco eficiente para o utilizador. Diferentemente dos controladores tradicionais, estes dois exemplos de controladores virtuais precisam de ligações específicas para se conectarem a um *software* musical: para o TouchOsc, por exemplo, é necessária uma aplicação que serve de ponte entre *softwares*, o TouchOsc Bridge e, no caso do controlador Lemur, é necessário estar conectado via *wi-fi* ao dispositivo do *software* musical. Mesmo sendo mais versáteis que outros *apps* de instrumentos musicais e controladores, estes exemplos possuem as mesmas características e, por isso, os mesmos limites ao nível da interação, tendo em conta a superfície de contacto, do tipo *touchscreen* 2D.

No início do capítulo foi referido que os instrumentos musicais em formato *app touchscreen* são uma virtualização dos instrumentos físicos e da oferta existente no mercado. Entende-se que os fabricantes de instrumentos e controladores analógicos não arriscaram em mercados totalmente novos, como no mercado de controladores MIDI *touchscreen* e no mercado de instrumentos musicais *touchscreen* (originais e não uma virtualização de outros instrumentos).

GeoShred[29], por exemplo, é um instrumento musical expressivo pensado e desenhado para dispositivos *touchscreen*, e permite uma interação multitoque na sua performance (Figura 20). Este instrumento foi criado através de uma fusão de outros dois instrumentos digitais, o Geo Synthesizer (que contém o mesmo tipo de interface e interações) e o moForte Guitar. A interface musical está dividida em 6 linhas (personalizáveis, sendo possível diminuir ou acrescentar o número de linhas) que representam as cordas virtuais de uma guitarra. Essas linhas estão divididas em áreas

[29] GeoShred, Wizdom Music. Fonte: http://www.wizdommusic.com/products/geoshred.html [Acedido a 10/11/19]

que representam notas musicais, sendo que a divisão não é física, ou seja, é possível passar de uma nota para outra com um simples toque e slide, ou fazer um pequeno movimento de slide para produzir pequenas variações do *pitch,* tornando a sua performance musical muito expressiva. Este instrumento foi desenhado para o sistema iOs (que nos dispositivos mais recentes possui a tecnologia 3D Touch, uma tecnologia que permite detetar a pressão exercida sobre o ecrã), de forma a acrescentar mais uma dimensão de toque à interface, aumentadando também assim, a expressividade musical possível.

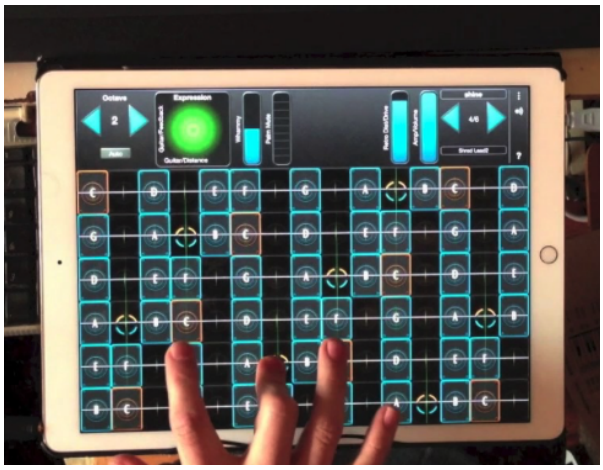


Figura 20. Interface do GeoShred

A tecnologia *touchscreen* em instrumentos e controladores virtuais é, como se demonstrou, utilizada em diversos projetos, estudos e no mercado musical, sendo que a sua aplicação resulta frequentemente da virtualização de instrumentos e controladores físicos já existentes ou da criação de novos controladores puramente digitais. No campo da música estes controladores em dispositivos *touchscreen* são uma opção viável, por serem mais versáteis e portáteis, e por possuírem todas as funcionalidades de um controlador tradicional, acrescentando a possibilidade de personalização de interface em dispositivos de pequenas dimensões. Por serem controladores que funcionam em diversas plataformas e com um custo significativamente mais acessível do que um controlador tradicional, são também uma opção mais acessível.

O estudo de mercado realizado permite concluir que os controladores e instrumentos musicais virtuais ou *touchscreen* não possuem a mesma qualidade de interação que os tradicionais, nomeadamente ao nível da terceira dimensão. Um ecrã *touchscreen* é, portanto, incapaz de dar o mesmo *feedback* que um controlador físico, sendo este (*feedback*) predominantemente visual, sonoro ou, em alguns dispositivos, vibro-táctil. Embora a questão de *feedback* seja importante no contexto musical, o *feedback* háptico em particular tem uma enorme importância, pois é aquela que consegue garantir uma experiência semelhante à de tocar um instrumento musical físico tradicional.

2.5 *Feedback* Háptico e a sua importância na Interação Musical

Háptico, do grego *haptikós*, significa "relativo ao tato ou toque", ao que se pode tocar e é sensível ao toque. A ciência centrada no estudo do *feedback* háptico, intitula-se de háptica e procura entender e criar novas formas de simulação relacionadas com o toque, como texturas, pressão, vibração e tangibilidade.

"A Háptica musical é um tema interdisciplinar emergente que investiga o toque e a perceção em cenários musicais das perspetivas da engenharia háptica, da interação humano-computador (HCI), da psicologia aplicada, da acústica musical, da estética, e do desempenho musical." - Stefano Papetti e Charalampos Saitis

O som é uma onda de pressão criada por um objeto vibrante, uma manifestação auditiva da vibração. A háptica e a música estão relacionadas: num concerto, por exemplo, o volume do som é geralmente elevado para que as vibrações possam ser não só ouvidas, mas também sentidas no resto do corpo, tornando a experiência musical imersiva. Essa experiência não é só sentida pela audiência: também o músico e sente e depende da complexa interação sensorial (em particular auditiva e háptica) durante a performance. Quando um instrumento musical acústico (ou eletroacústico) produz um som, esse som é consequente da vibração de componentes do mesmo, causada pela interação do músico com o mesmo. Durante essa interação existe um *loop* constante de *feedback* háptico entre o músico e o instrumento, criado pela troca de energia entre os dois. Esse *loop* determina a dinâmica de cada instrumento, que é fundamental na determinação da *playability* de um instrumento.

A inércia necessária para tocar um instrumento, ou aquela que o mesmo devolve, pode representar um grau de sentimento do utilizador na interação com o mesmo. A interação músico-instrumento necessária para o desenvolvimento de uma prática e expressividade musical é, portanto, uma combinação de um sistema mecânico com um sistema biomecânico. Desta forma o instrumento pode, efetivamente, transformar-se numa extensão do corpo do músico, criando uma simbiose na interação que não seria possível sem esse *feedback*, podendo assumir-se que a háptica é o que permite ao músico o controlo do tempo e entonação, e a expressividade através do timbre e emoção (Pappeti e Saitis, 2018).

Instrumentos Digitais que apenas contenham *feedback* de informação visual perdem, portanto, a interação mais interessante e necessária ao músico durante a sua performance. O estudo de Gareth W. Young, David Murphy e Jeffrey Weeter, "*A Functional Analysis of Haptic Feedback in Digital Musical Instrument Interactions*", demonstra que o *feedback* háptico é necessário na interação musical, e que sem o mesmo, a interação humano-computador perde parte da sua usabilidade. O seu estudo demonstra que em todos os testes de usabilidade realizados, uns com *feedback* háptico e outros com ausência do mesmo, os utilizadores sentiam-se mais confiantes e com uma interação mais intuitiva e fácil nos instrumentos que continham esse tipo de *feedback* (Young et al, 2015).

3. Metodologias

Os temas de háptica musical em instrumentos digitais, interfaces tangíveis e interfaces híbridas foram ainda pouco explorados do ponto de vista científico e não existe, portanto, uma metodologia certa que oriente claramente o seu desenvolvimento ou aplicação, mas sim a possibilidade de exploração a partir de várias metodologias existentes. Neste projeto a abordagem metodológica visa resolver um problema transdisciplinar (Música-Design-Engenharia) e tem em conta um problema de usabilidade específico, fazendo com que o processo seja, num primeiro momento, de carácter exploratório e, posteriormente, de medição da sua eficácia. Considerando as características do projecto e da possível solução encontrada, a abordagem adotada é mista (qualitativa e quantitativa) e o seu desenvolvimento divide-se em duas fases, com metodologias distintas.

3.1 Primeira Fase:

Numa primeira fase, os principais objetivos são o desenvolvimento de protótipos de objetos tangíveis e de uma interface digital que esteja preparada para o uso dos referidos objetos, e um estudo exploratório intensivo para o efeito. Nesta fase verifica-se a necessidade de entender como cada um desses objetos deverá funcionar e aparentar; por exemplo, o teclado de um piano possui uma mecânica de funcionamento distinta, proporcionando um tipo de interação única. Neste projeto procura-se entender como poderá ser mimetizada essa interação numa interface de objetos tangíveis, tendo em conta que, num teclado, as teclas pressionadas são o primeiro movimento de um mecanismo que faz as cordas vibrar, enquanto que neste projeto, o objetivo será que a tecla pressionada resulte num toque na tela *touchscreen*.

A metodologia de pesquisa científica adotada nesta fase, a *Action Research*, é do tipo multidisciplinar, e é adequada, pois parte de um princípio que nenhum avanço tecnológico possui valor sem ação. Essencialmente o método de pesquisa da *Action Research* tem um carácter cíclico e exploratório, focando-se numa aprendizagem cíclica ativa (“aprender fazendo”) (Sein et al., 2011). Para simplificar o seu método de pesquisa e, melhorar o seu entendimento, Stephen Kemmis desenvolveu um modelo de pesquisa sobre o que deverá ser o processo cíclico da *Action Research*, dividindo-o nas seguintes fases: Planear, Agir, Observar e Refletir (O’Brien, 1998).

Planear: Descrição e Análise do Problema; Identificação e planeamento de possíveis soluções.

Agir: Desenvolvimento da solução; Implementação das mudanças necessárias.

Observar: Observar os efeitos e impacto da solução e das possíveis alterações.

Refletir: Reflexão do processo, da solução criada e dos efeitos da mesma.

Tendo em conta a necessidade de ação no desenvolvimento de novas tecnologias e, sendo HCI uma área com os objetivos de estudar e desenvolver tecnologias com

interações humanos-máquinas, o uso da metodologia *Action Research* demonstra-se benéfico pela sua característica de ação cíclica constante. AR é aplicada comummente no desenvolvimento de tecnologias de Internet, como na *Internet of Things*, mas não se restringe apenas a essas áreas, sendo versátil no seu uso.

Neste projeto, a AR foi aplicada no desenvolvimento das peças TUI, tendo cada protótipo de objeto TUI um processo de desenvolvimento dividido nas seguintes fases:

• **Estudo sobre o Objeto TUI:** A primeira fase de cada ciclo corresponderá ao estudo do funcionamento e design de cada objeto.

• **Desenho de um novo protótipo:** ideação e exploração formal, de tamanho, peso e funcionamento físico, seguido de protótipo e criação de modelo tridimensional e respetiva impressão 3D (poderão ser feitos sub-testes na fase de impressão).

• **Observação:** teste de funcionamento do objeto.

• **Reflexão:** sobre características, nível de usabilidade e possíveis melhorias.

3.2 Segunda Fase:

Na segunda fase deste estudo é utilizada a metodologia de pesquisa *Design Science*, correntemente utilizada em áreas de estudo como engenharia, ciência computacional, sistemas de informação e design. Esta metodologia foca-se na criação de artefactos de IT inovadores com o objetivo de resolver problemas reais e divide-se nas seguintes fases de desenvolvimento: identificação do problema e motivações; definição de objetivos da solução; design e desenvolvimento; demonstração; avaliação e comunicação. Sendo o processo de *Design Science* iterativo e dividido em várias fases, a sua combinação com a metodologia *Action Research* (para desenvolvimento dos protótipos) é possível e eficaz.

March e Smith (1995) identificam dois processos indispensáveis na metodologia de ciência do design, sendo eles o processo de construção e de avaliação, e quatro tipos de artefactos: construções de ideias, modelos, métodos e inovações (Islam, 2017).

Uma tabela da metodologia Ciência do Design criada por Peffer, et al, permite entender o processo da mesma (Figura 21).

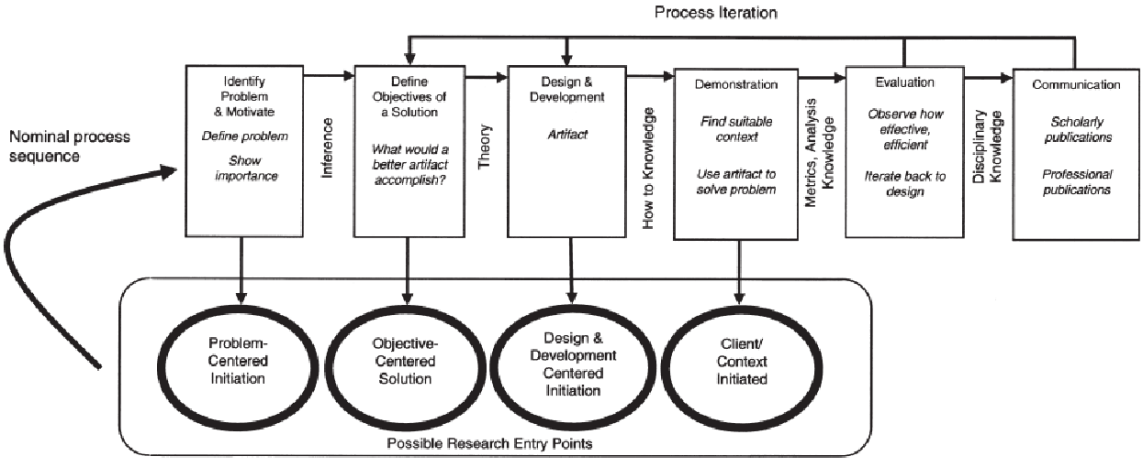


Figura 21. Processo metodológico de Ciência do Design (Peffer et al.,2008)

O uso desta metodologia em projetos de HCI (*Human Computer Interaction*) é, portanto, normal, pois vários estudos científicos recorreram à Ciência do Design como forma de chegarem a uma solução que permite a melhor interação dos utilizadores com as soluções criadas. Em projetos como o de Gjøsæter (2015), por exemplo, foi adotada esta abordagem para criar *guidelines* para uma solução de design de sistemas de realidade aumentada móveis. Aqui a metodologia foi usada para identificar concretamente o problema e criar um plano de desenvolvimento da solução e teste da mesma, finalizando com a análise do futuro da sua solução. Também em 2013, Terblanche seguiu a mesma metodologia no desenvolvimento de um protótipo para o registo de taxas online, seguindo os princípios de HCI. (Islam, 2017).

3.3 Avaliação da solução:

Este projeto encontra-se, do ponto de vista do processo, situado em áreas do conhecimento muito específicas e pouco exploradas, sendo que não só a metodologia de desenvolvimento do mesmo é uma adaptação híbrida, como a avaliação da solução desenvolvida é, também ela, muito específica. Assim é possível distinguir duas fases de avaliação neste projeto, a avaliação cíclica em fase de exploração e desenvolvimento dos protótipos, decorrendo durante a primeira fase metodológica do projeto, com base a *Action Research*, onde neste projeto, o pesquisador toma um papel ativo na avaliação cíclica, tendo o apoio de especialistas na área de design e música e, a segunda fase de avaliação, que é executada após a finalização dos primeiros protótipos (e respetivas versões). Esta avaliação pertence a um processo próprio de Design Science e tem como objetivo validar a solução criada com os seus utilizadores.

Dada a natureza deste projeto, o método de investigação é misto, quantitativo e qualitativo; este método permite possível obter resultados mais aproximados dos reais, em termos de usabilidade, experiência do utilizador e funcionalidade da solução final. Como se trata de uma interface híbrida, que contém uma interface digital visual e táctil e uma interface de objetos tangíveis, os métodos de teste de usabilidade tradicionais de

HCI (*Human Computer Interaction*) e de Design de Interação não se aplicam na sua totalidade (p. ex. os métodos para testar a usabilidade de um interface de uma aplicação tradicional são testes que geralmente envolvem a realização de tarefas entre diferentes ecrãs, de navegação, de reconhecimento de certas indicações e ações como é o caso dos ícones e dos botões e de interações como o *tap, double tap, tap and hold, swipe* e *scroll*. Nesta interface híbrida não existem diferentes ecrãs, mas sim diferentes peças TUI que podem formar diferentes *layouts* definidos pelo utilizador e, deste modo, as interações tradicionais de um *touchscreen* dão lugar a interações semelhantes a algo analógico.

As ferramentas preparadas para os testes de usabilidade e de experiência de utilizador convencionais não são úteis para este projeto, pois as suas funcionalidades estão limitadas conforme os métodos de avaliação tradicionais (p. ex. a Invision e Marvel, são duas aplicações que permitem a construção de protótipos e teste dos mesmos, mas estão limitadas a funcionalidades de clique e *swipe*, navegação básica entre ecrãs e animações simples). Tendo em conta os desafios enunciados, foi necessário desenvolver um protótipo funcional, ou seja, um protótipo que servisse como prova de conceito, que incluísse as funcionalidades reais da aplicação híbrida, que permitisse a interação das peças TUI com o *touchscreen*, que otimizasse a interação do utilizador com cada tipo de peça TUI e que facilitasse a comunicação MIDI entre a aplicação móvel com um *software* de música num outro dispositivo. A definição do objetivo permitiu aprofundar o estudo de formas de avaliação que pudessem ser benéficas para o protótipo desenvolvido, sendo elas baseadas em dois exemplos:

O sintetizador instrutivo: Colin Hearon (2018) criou testes de usabilidade de acordo com os objetivos específicos do projeto de desenvolvimento de um sintetizador, querendo responder a duas questões particulares: "Será que os utilizadores aprendem de forma mais rápida se as instruções lhes forem dadas de forma sequencial?"; e "Controlos que possam conter resistência encoraja os utilizadores a tocar e a experimentar?"

Para a primeira questão, Hearon criou uma avaliação baseada em testes de usabilidade e questionário. No teste de usabilidade os utilizadores foram divididos em dois grupos, um experimental e outro de controlo. Hearon serviu-se do tempo médio despendido na execução de uma tarefa de controlo e a compreensão dos participantes sobre o funcionamento do sintetizador como variáveis, coletando esses dados para análise. Sendo que estes dados poderiam não ser suficientemente reveladores, os participantes após os testes responderam a um questionário sobre as tarefas que tinham executado e sobre o protótipo. O mesmo processo de avaliação foi utilizado para responder à segunda questão de Hearon.

The Haptic Bowl: Gareth Young e Dave Murphy criaram uma *framework* de análise de forma a conseguirem avaliar o seu protótipo de instrumento musical digital, um tipo de taça háptica. Com a sua estrutura de análise, Young e Murphy, explicam como se pode avaliar um instrumento musical digital em termos de usabilidade e experiência de utilizador, esta *framework* de análise é criada através de uma análise de literatura das

metodologias de DMI e HCI. Young e Murphy propõem a avaliação destes instrumentos dentro de 3 categorias:

Funcionalidade: A avaliação deste ponto tem como objetivo entender se as características funcionais do protótipo são práticas, avaliando simultaneamente o seu desempenho, robustez e consistência. Para validar esta categoria, é necessário que os utilizadores consigam completar tarefas, considerando a sua opinião sobre o desempenho e possibilidades do protótipo.

Usabilidade: A avaliação de usabilidade procura encontrar problemas que possam comprometer a eficácia e eficiência do protótipo, assim como a satisfação do utilizador. Nesta categoria é avaliada a facilidade de aprendizagem do funcionamento do protótipo, a capacidade e limites de controlo de cada característica, a precisão do controlo de tempo em cada tarefa e a ergonomia do protótipo.

Experiência do Utilizador: Uma avaliação da experiência global que o protótipo transmite ao utilizador, que se baseia na opinião pessoal e emoções de cada utilizador. Esta avaliação pode conter pontos das outras categorias, assim como o aspeto estético do protótipo, a originalidade e a *desirability* do mesmo.

A avaliação da solução resulta, portanto, dos testes de funcionalidade, usabilidade e experiência do utilizador com os protótipos desenvolvidos, seguindo a *framework* de Young e Murphy e o exemplo de Hearon. Estes testes foram executados de forma a comparar a solução de interface híbrida, desenvolvida com as interfaces puramente digitais em *touchscreen,* e interfaces físicas analógicas. Todas as interfaces estiveram ligadas a um *software* musical desenvolvido especificamente para esta avaliação. O ambiente de controlo foi replicado em cada uma das interfaces, de forma a assegurar a similitude de interação e evitar erros (figura 5). Os testes, realizados individualmente, foram constituídos por dois momentos: o primeiro teve como objetivo a familiarização com os artefactos a serem testados, e o segundo consistiu na execução de um conjunto de tarefas sequenciais nos três tipos de interface desenvolvidos. Os dados recolhidos (por participante e por interface) foram: (a) a duração para completar cada tarefa e (b) o grau de precisão. Os testes foram complementados com um questionário do tipo SUS (System Usability Scale) sobre a experiência do utilizador em relação à interface híbrida, para medição rápida do nível de usabilidade dada pelo participante, e um questionário *NASA Task Load Index*, para extrair informação detalhada sobre o nível de solicitações (mentais, físicas, temporais, de *performance*, de esforço e de frustração) do participante.

4. Desenvolvimento

O presente capítulo apresenta o processo de investigação e desenvolvimento da solução proposta, desde a sua origem à prova de conceito. A abordagem adotada no desenvolvimento de protótipos foi iterativa e teve em consideração conhecimentos específicos das áreas do Design de Interação, Design Industrial e Engenharia do Design. O desenvolvimento da solução final centrou-se no estudo e aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do processo, e resultaram da combinação das referidas áreas de investigação.

O design de interação é uma área científica que estuda, desenvolve e avalia a interação entre o utilizador e o produto. Esta área específica procura, portanto, entender as necessidades dos utilizadores, as suas limitações e o contexto de interação. John Kolko define o design de interação como um diálogo entre utilizador-máquina:

"Interaction Design is the creation of a dialogue between a person and a product, system, or service. This dialogue is both physical and emotional in nature and is manifested in the interplay between form, function, and technology as experienced over time." (Kolko, 2011)

O design de interação é frequentemente abordado em contextos centrados em produtos de *software* (aplicações e *websites*), mas o seu estudo não se restringe apenas a este tipo de produtos, abrangendo também o de todos os tipos de interfaces, nomeadamente interfaces gráficas ou de áudio, entre outras. No caso de a interface possuir uma forma física, o seu desenvolvimento depende da simbiose entre o design de interação e o design industrial. O design industrial procura melhorar a funcionalidade, a interação e as qualidades estéticas de um produto, através do equilíbrio do design funcional e do design criativo. Assim, é comum o design industrial sobrepor-se a outros campos de investigação, nomeadamente ao de design de interfaces e engenharia. O vínculo entre o design e a engenharia, a Engenharia do Design, é uma área científica que procura, através de métodos científicos, desenvolver a funcionalidade em produtos de design (Erlhoff e Marshall, 2008).

A secção 4.1 apresenta a origem, a definição e exemplos do conceito de interface tangível, e ainda as suas diversas aplicações, vantagens e potencialidades. A secção 4.2 apresenta o conceito de DIY (*Do it Yourself*) e as suas potencialidades, nomeadamente do ponto de vista dos utilizadores com papel ativo na construção e modificação de um produto, como é o caso da solução proposta. A secção 4.3 apresenta o sistema modular que viabiliza o design de peças personalizáveis e adaptáveis a diversos dispositivos *touchscreen*. O processo de desenvolvimento dos protótipos dos vários módulos tangíveis é apresentado na secção 4.4 e inclui justificação das decisões tomadas ao nível das ferramentas e materiais selecionados para o efeito. O processo iterativo de exploração e avaliação de design é apresentado na secção 4.5.

4.1 Objetos TUI

TUI, acrónimo para *Tangible User Interface*, que em português se traduz como interface que pode ser tocado e que é tangível, é uma noção que surge em 1995, inicialmente intitulada de *graspable user interface* por George Fitzmaurice, Hiroshi Ishii e William Buxton. Este novo tipo de interface criou um novo paradigma de interação humano-computador. Tradicionalmente os computadores possuem uma interface GUI (*Graphical User Interface*), que é constituída por outro tipo de interface, WIMP (*Windows, Icons, Menus, Pointer*) que é, por sua vez, manipulada através de objetos hápticos, como é o caso do rato e teclado. Este novo tipo de interface (TUI) tem semelhança com a realidade aumentada, pois possui elementos das interfaces virtuais que se transformam em formas físicas. As interfaces TUI (Figura 22) permitem o controlo direto de objetos eletrónicos ou virtuais através de artefactos que são utilizados como controladores, sendo essencialmente uma nova forma de *input*, que interage com uma interface virtual de forma a manipulá-lo ou de modo a expressar uma ação (Fitzmaurice et al., 1995) (Figura 22).

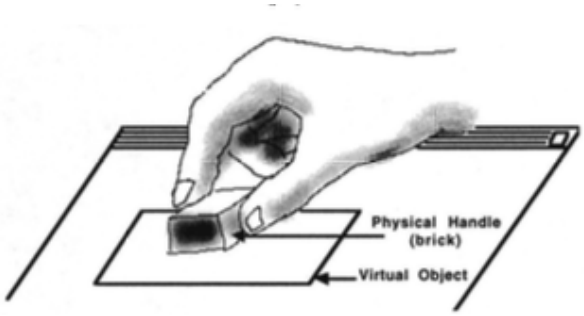


Figura 22. Interação entre utilizador, objeto TUI e *touchscreen* (Fitzmaurice et al., 1995)

De acordo com Fitzmaurice et. al, o uso deste novo tipo de interface centra-se na premissa que a facilidade de uso é inerentemente mais rica que a de uma interface gráfica tradicional, através de técnicas de manipulação diretas convencionais. No seu estudo são apresentadas algumas vantagens do TUI: (1) encoraja e facilita a interação com duas mãos; (2) permite adaptação para artefactos de *input* especializados, de acordo com o contexto e tarefa; (3) admite *input* paralelo, de acordo com especificações do utilizador; (4) melhora a expressividade e capacidade de comunicação com uma máquina; (5) toma partido das atividades quotidianas e da forma de interagir com o mundo físico para manipulação de objetos em ambientes digitais; (6) externalização de representações computacionais, dando-lhes uma nova dimensão; (7) facilita a interação criando um interface com elementos mais diretos e manipuláveis através de objetos tridimensionais; (8) toma partido da visão espacial humana para criar interações mais ricas; (9) oferece a possibilidade de design de objetos físicos com mapeamento direto digital; e (10) oferece uma usabilidade colaborativa mais eficiente.

As interfaces WIMP, utilizadas tradicionalmente nos computadores, permitem interação com tangibilidade, através do rato e teclado, no entanto as interfaces pós-WIMP, utilizadas em dispositivos *touchscreen,* não possuem o mesmo grau de tangibilidade. A interface gráfica WIMP, criada pela Xeroc Parc e popularizada pela Apple

(com a sua introdução do Macintosh), resultou da necessidade de interfaces que não fossem baseadas em texto, com vista a facilitar a interação humano-computador por parte de utilizadores com menos conhecimentos técnicos. Esse tipo de interface era, portanto, mais adequado à maioria dos utilizadores. Estas interfaces são utilizadas desde a década 80, mas a sua evolução e transformação é cada vez mais evidente, tendo em conta que, de forma geral, não permite o aproveitamento eficaz da totalidade do ecrã. As alterações à interface tradicional começaram com a criação e democratização dos dispositivos *touchscreen*, nomeadamente dos *smartphones* e *tablets*. Os ecrãs destes dispositivos necessitaram da adequação das interfaces gráficas ao seu modo de utilização, que deixou de ser através de periféricos e passou a ser através do toque direto (e gestos) das mãos no ecrã. Uma interface composta por janelas e menus horizontais foram, desta forma, substituídos por interfaces *fullscreen,* e os menus passaram a ser baseados em ícones. Estes dispositivos *touchscreen* passaram a admitir periféricos sob a forma de acessórios opcionais; um desses acessórios que passou a ser popular é a *stylus pen*, uma caneta que substitui o dedo e proporciona maior grau de precisão na interação.

Outra forma de interagir com os ecrãs *touchscreen* e interfaces pós-Wimp são as já mencionadas interfaces TUI, que se traduzem num tipo de interação que Shaer e Hornecker (Shaer, 2009) definem como sendo *Tangible Tabletop Interaction*. A tecnologia das TUI combina as técnicas de interação de superfícies multi-toque com objetos TUI, criando assim interfaces híbridas que aumentam a riqueza de interação. Um estudo de Terrenghi et al. (2008) compara a interação focada no toque direto em *touchscreens* e a interação com objetos tangíveis, demonstrando que para certas tarefas é mais fácil usar uma interface tangível (p. ex. com o uso de uma *slider* circular virtual *vs.* o uso de um objeto tangível semelhante a um potenciómetro circular), pois o efeito tridimensional da interface torna-o mais confortável de usar (devido à háptica, à possibilidade de navegação através do toque) e permite o reconhecimento de movimentos imprecisos por parte do utilizador, conferindo maior confiança na sua utilização.

Na música a aplicação de este tipo de interfaces é bastante popular (p. ex. ReactTable e AudioPad), por ser um tipo de interface com características que permite enriquecer a interação musical em dispositivos digitais, fornecendo um ambiente de colaboração e partilha, possibilitando maior controlo (contínuo e em tempo real) de dados multidimensionais, fornecendo suporte a sistemas complexos, adaptando-se a diferentes graus de habilidade (ou *skills*), faltando o aumento da expressividade, e possibilitando maior grau de liberdade durante o processo de criação ou performance. A ReacTable[30], por exemplo, popularizou-se quando a artista Bjork[31] utilizou-a numa das suas turnés. Este instrumento consiste numa mesa com um *touchscreen* interativo e de peças TUI; cada peça tem uma função específica (p. ex. gerar som, filtrar áudio e

[30] React Table. Fonte: https://reactable.com [Acedido a 10/11/19]
[31] Bjork, "Reactable – Amazing Sounds". Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=Ni_x_74VKU0&t=30s [Acedido a 10/11/19]

controlar parâmetros musicais) e é ativada quando pousada no *touchscreen*; a forma como a peça TUI é colocada, assim como a sua posição, ordem e distância relativamente às outras peças, afeta o modo como a sua função é executada.

Os objetos TUI permitem adicionar novas formas de interagir com dispositivos *touchscreen* e proporcionam *feedback* háptico, ou seja, maior grau de tangibilidade. Tendo em conta estas características, explorou-se neste projeto a integração de objetos TUI numa aplicação móvel de controlador MIDI, tendo como objetivo principal solucionar os problemas identificados no capítulo anterior. Com uma interface híbrida (física e digital) é possível criar interações com *feedback* visual, físico e háptico, assemelhando-se, neste contexto, a um controlador MIDI analógico. Cada objeto TUI é um módulo do sistema; a figura 23 representa um módulo de *knob* e o seu funcionamento: o objeto é constituído por uma base magnética que se conecta a outros módulos; a sua base permite ligar a cabeça do *knob* à sua engrenagem, sendo ambos compostos por materiais condutores que possibilitam a passagem do calor térmico das mãos do utilizador para o *touchscreen*, tal como acontece numa *stylus pen*. Cada módulo é constituído na sua base por um código condutor que, pela sua posição e ordem, fornece ao *touchscreen* as informações necessárias para identificar que tipo de módulo é, que área do ecrã ocupa e em que posição se encontra. O objetivo da utilização destes objetos TUI é conseguir recriar num leitor de *input touchscreen* os mecanismos analógicos, nomeadamente ao nível da sua interação e expressividade, ligando as características benéficas de possuir um controlador MIDI digital em dispositivos *touchscreen* à riqueza de interação de um controlador MIDI tradicional (APÊNDICE DIGITAL).

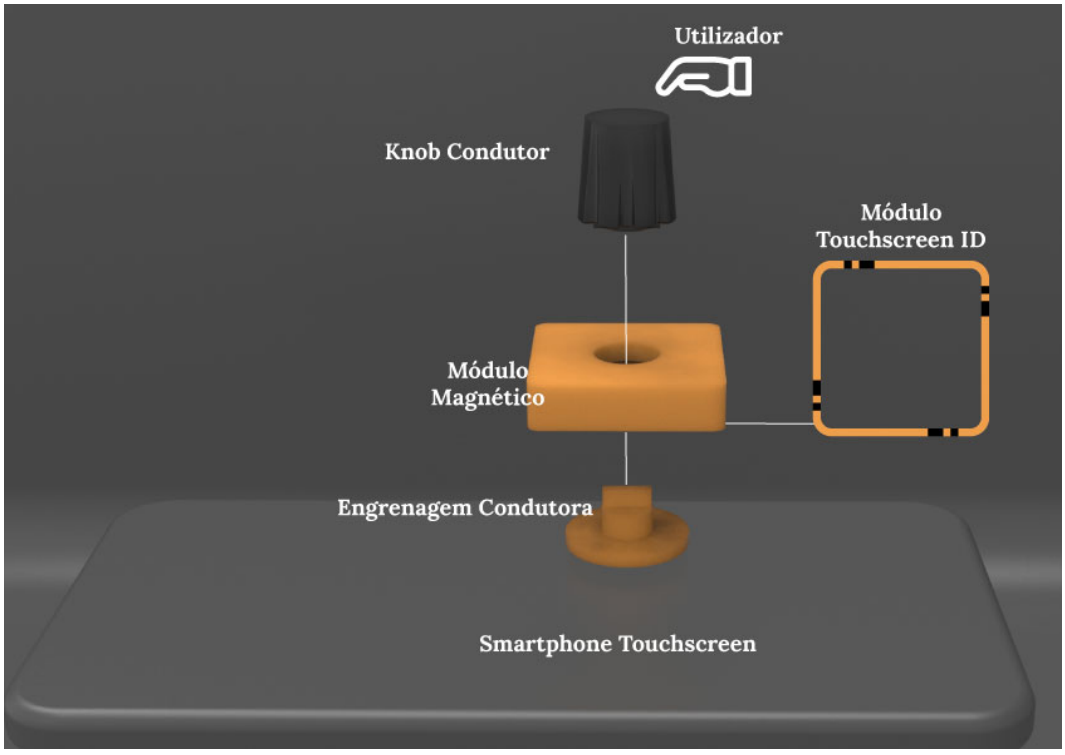


Figura 23. Interação e composição de um modulo TUI

4.2 DIY e Open-Source

A terminologia D.I.Y. (*Do it Yourself*) surgiu na década 1950 nos Estados Unidos, sendo aplicada a pessoas que faziam a manutenção, reparação ou modificação em certos objetos, sem possuírem o conhecimento, a especialização e a experiência associada ao trabalho que executavam. Este conceito está associado a pessoas que procuram os seguintes benefícios: poupança ao nível da mão-de-obra; tempo de realização de trabalho inferior; satisfação pessoal através da recompensa e personalização individual.

Na perspetiva dos fabricantes, o consumidor é tipicamente visto apenas como um comprador passivo e não tem um papel semelhante ao de um produtor. Vargo e Lush (Vargo e Lush,2004), por exemplo, defendem um novo paradigma de mercado em que o consumidor assume um papel ativo na produção ou modificação de produtos, sendo o produto final visto como uma cocriação. Contrariamente ao modelo tradicional de marketing centrado nos produtos, este modelo emergente centrado em serviços reconhece o consumidor como sendo ativo na expressão da sua necessidade e no envolvimento no processo de desenvolvimento do produto. Assim o valor do produto é determinado, não pelo produtor (podendo apenas propor valor), mas pelo valor de uso dado pelo consumidor (Wolf & McQuitty, 2011).

Estes consumidores ativos, considerados *prosumers*, são considerados consumidores emergentes, e exigem que os fabricantes tenham de se adaptar a novos tipos de mercado. Uma das formas mais relevantes deste tipo de consumo emergente reside na articulação com o referido conceito DIY, pois proporciona ao consumidor o poder de criar produtos originais e "à sua medida". Um exemplo de produto destinado ao uso DIY é o Arduino[32].

O Arduino é uma plataforma eletrónica *open-source* que permitem a integração de *hardware* e *software* de forma acessível. O Arduino foi criado no Instituto de Design de Interação de Ivrea com o objetivo de ser uma ferramenta para prototipagem rápida e ensino a alunos sem experiência com eletrónica e programação. As placas (boards) Arduino são microcontroladores capazes de ler *inputs* como aceleração, luz detetada por sensores ou valores de um potenciómetro, e transformar esses valores em *outputs*, como ligar uma luz ou ativar uma mensagem sonora. Estes comandos podem ser programados pelo utilizador através do uso da linguagem Arduino no seu editor de texto, o Arduino Software (IDE). Este produto tornou-se muito popular, não só para estudantes, como também para artistas, programadores, profissionais, e para os mais variados *hobbies*, tornando-se uma ferramenta de construção de objetos simples e complexos, amadores e profissionais, prontos para produção em massa. Esta popularidade fez ainda crescer uma comunidade de criadores com a filosofia de DIY, contribuindo ativamente para o desenvolvimento e evolução do Arduino. O sucesso desta plataforma demonstra que existe um sector do mercado interessado em fazer parte na cocriação de produtos e na modificação dos mesmos, que resulta na criação de comunidades colaborativas.

[32] Arduino. Fonte: https://www.arduino.cc/en/Main/Education [Acedido a 10/11/19]

Outro exemplo de produto que permite e é sustentado por cocriação é o GameShell ClockWorkPI[33] da ClockWork, uma consola de jogos modular e *open-source* que permite a personalização das suas características. Este produto é vendido em kits de construção compostos por vários módulos que, quando encaixados, formam o produto final (que pode ser modificado). O software do GameShell é completamente personalizável e *hackable*, podendo o utilizador criar os seus próprios jogos ou modificar jogos existentes e personalizar a interação com os mesmos (p. ex. modificar a função de cada tecla). À semelhança do *software*, o seu design é também open-source, podendo os seus utilizadores criar ou modificar as partes do GameShell (p. ex. usar a tecnologia de impressão 3D para imprimir novas partes, seja uma capa de telemóvel ou botão para a sua consola).
Este tipo de produto permite ao consumidor um tipo de liberdade e de controlo sobre o seu produto que não seria possível sem a aplicação de ferramentas DIY e Open-Source apoiadas pelo fabricante.

No contexto musical, o Pedal-Pi[34] é outro exemplo de produto digital *open-source* que permite o desenvolvimento da expressividade musical do músico. Ao contrário dos pedais tradicionais que limitam o número de efeitos e variáveis, Pedal-Pi proporciona um conjunto de pedais de efeitos para instrumentos elétricos (p. ex. guitarra elétrica) que geram efeitos (p. ex. distorção*, reverb*, *delay*, *flanger*, *chorus* ou tremolo) e podem ser modificados e combinados consoante a preferência do músico (p. ex. o efeito resultante pode ser uma mistura de vários efeitos). Desta forma, o produto permite que o músico tenha controlo total do instrumento e da forma como o seu som é processado (Pedal-PI).

Um dos problemas identificados nos controladores MIDI existentes no mercado é, como foi indicado no capítulo 2, a falta de personalização e, consequentemente, a limitação ao nível da acessibilidade, liberdade e expressividade. A digitalização dos controladores MIDI e a aplicação em dispositivos *touchscreen* possibilita, portanto, o aumento do grau de personalização, relativamente aos controladores analógicos, sendo necessário, ainda assim, maior investimento na exploração e desenvolvimento dessas possibilidades. Neste sentido, um sistema modular é uma solução viável para satisfazer os objetivos referidos anteriormente, pois permite ao utilizador um elevado grau de personalização do produto (p. ex. com controlo do conjunto de interações previstas). Este grau de liberdade superior no projeto musical de cada utilizador resulta, assim, numa cocriação - o designer faculta no projeto a possibilidade de se ser livre na construção de controladores MIDI personalizáveis, de acordo com as necessidades de cada utilizador. Na figura 24 são apresentados quatro tipos de *knobs*; veja-se que embora o tipo de interação seja o mesmo (de rotação), a forma de interagir com cada um é ligeiramente diferente devido às diferenças de formato - essas diferenças permitem que se adaptem melhor a cada utilizador e necessidade (p. ex. um utilizador com mãos de maiores dimensões pode precisar de um *knob* mais alto ou de maiores dimensões). Este tipo de personalização poderá ser feito através do uso de impressão 3D, de acordo com

[33] GameShell, ClockWorkPi. Fonte: https://www.clockworkpi.com [Acedido a 10/11/19]
[34] ElectroSmash, Pedal-PI. Fonte: https://www.electrosmash.com/pedal-pi [Acedido a 10/11/19]

guidelines definidas pelo designer que permitem que o utilizador crie os seus próprios módulos.

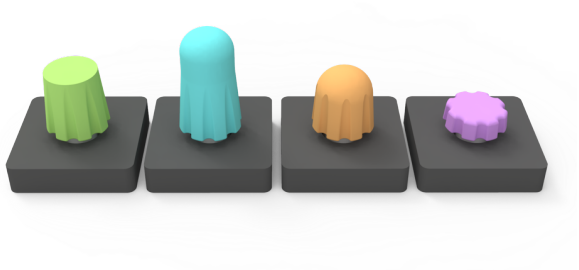


Figura 24. Diversidade de *Knobs* modulares

4.3 Sistema Modular

As peças TUI deste projeto estão organizadas num sistema modular em grelha que tem como objetivo ser compatível com a maioria dos dispositivos *touchscreen* existentes no mercado.
Tendo em conta a elevada diversidade de dispositivos fabricados, foi realizada uma triagem dos formatos mais comuns, tendo em conta o tamanho real e a resolução dos ecrãs, que é variável (p. ex. o iPhone 7 Plus dispõe de um ecrã de 5.5 polegadas e uma resolução de 1080x1920 pixels, enquanto que o Samsung Galaxy S7 dispõe de um ecrã menor de 5.1 polegadas e uma resolução de 1440x2560)(Sui, 2018).

A triagem referida considerou os modelos de 2018 e permitiu concluir que os *smartphones* mais vendidos possuíam ecrãs que variam entre 5 e 6 polegadas, sendo que a Apple, Xiaomi e Samsung foram as marcas que apresentaram vendas superiores. Em consequência desta análise, considerou-se que a dimensão mínima da grelha deveria adaptar-se a dispositivos com ecrãs de 5 polegadas, não tendo sido considerado um limite máximo, pois os dispositivos de maiores dimensões (p. ex. *tablets* com ecrãs que variam entre 7 a 14 polegadas) têm o potencial de combinar um número superior de peças TUI e, portanto, permitem criar sistemas modulares com maior versatilidade.

Tendo em consideração as funções do controlador e as dimensões dos ecrãs, projetou-se uma grelha quadrangular de 4x8 (com espaçamento mínimo de 14x14mm). Esse espaçamento garante versatilidade ao nível do desenho das peças, sendo que a sua maioria utiliza áreas superiores ao módulo de menores dimensões da grelha. No caso da utilização de peças quadradas de 18x18mm, o ecrã de menores dimensões

possibilita a utilização de 8 peças TUI modulares, sendo que na grelha base as peças poderão variar de tamanho e forma.
A figura 25 apresenta as dimensões das referidas grelhas, de acordo com o respetivo dispositivo. A utilização das peças modulares, com diferentes formas e dimensões garante versatilidade ao nível da criação de *layouts* (APÊNDICE D).

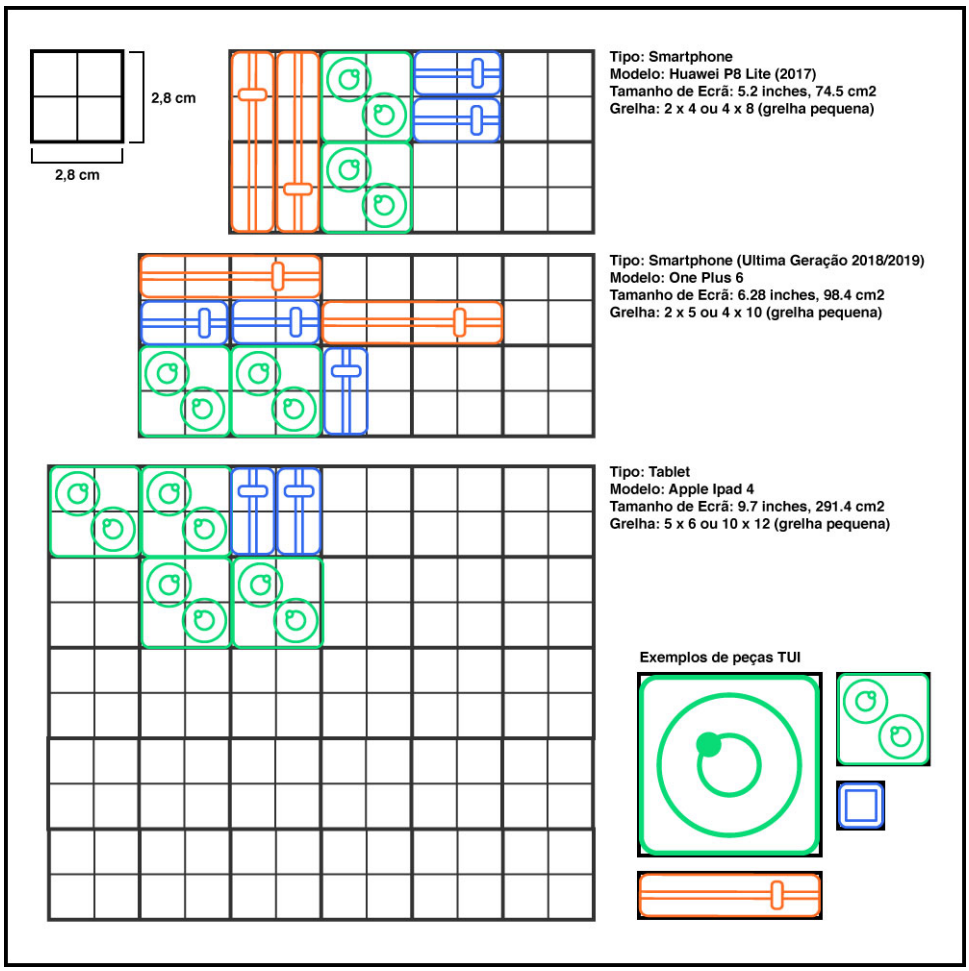


Figura 25. Exemplos de grelhas possíveis no sistema

4.4 Interface

4.4.1 Interface Tangível

4.4.1.1 Ferramentas e Materiais

De modo a garantir rapidez e qualidade no processo de criação dos módulos da interface tangível foi utilizada tecnologia de impressão 3D na prototipagem rápida. Os módulos tridimensionais foram desenhados no *software* Fusion 360[35] da Autodesk, que executa ficheiros prontos para impressão 3D e garante o grau de precisão necessário para a sua produção. Este *software* permite ainda manter o histórico de versões de cada design, facilitando a exportação e alterações graduais ao projeto.

A pertinência da impressão 3D é justificada pelo estudo anual da Sculpteo "The State of 3D Printing"[36] (com participantes de diferentes países e sectores industriais), cujos questionários de 2019 demonstram que 51% dos participantes usa a tecnologia de impressão 3D para produção, 80% afirma que a tecnologia de impressão 3D aumentou a sua velocidade de inovação e 63% acredita que a impressão 3D terá um papel importante num contexto de manufatura e de negócio. Este estudo conclui que esta tecnologia é usada fundamentalmente para prova de conceito, prototipagem e produção, e que as tendências sugerem que é utilizada principalmente na área de bens industriais, consumo para utilizadores e *high tech*.

No âmbito do projeto, a tecnologia de impressão 3D é a única tecnologia que permitiria criar protótipos com a qualidade suficiente para serem uma prova de conceito, tendo em conta as reduzidas dimensões das peças e mecanismos, cuja falta de precisão afectaria o seu funcionamento. A impressora disponível para a execução dos protótipos deste projecto foi a Zortrax M200[37], uma impressora com tecnologia LPD (Layer Plastic Deposition) FFF, que permite consistência e precisão dimensional, sendo mais apropriada para pequenas séries, objectos de tamanho médio (até 22 cm de comprimento, largura e altura) e para pequenos gadgets. Esta impressora permite uma resolução de 90-390 mícrones, sendo suficiente para garantir a qualidade necessária das peças finais. Embora a impressora possua uma qualidade de impressão elevada, não é a mais indicada para certas partes dos módulos, nomeadamente as engrenagens dos mecanismos, pois não possui a precisão necessária que garanta um funcionamento suave dos mesmos. Para esse tipo de peças a impressora mais indicada é a Zortrax Inkspire, que dispõe de tecnologia UV LCD e de precisão de impressão de 50 mícrones, considerada "precisão cirúrgica".

O material escolhido para impressão 3D foi o ABS, pois é o material que apresenta melhor relação preço-qualidade (p. ex. o PLA apresenta custo e qualidades inferiores e o PET, mais resistente, tem custo superior). O ABS permite a construção de protótipos com o grau de precisão máximo da impressora e pode ser personalizado em termos de cor, embora no projeto se tenha usado cores neutras, como o branco e preto.

---

[35] Fusion 360, Autodesk. Fonte: https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators [Acedido a 10/11/19]
[36] "The State of 3D Printing", Sculpteo. Fonte: https://info.sculpteo.com/the-state-of-3d-printing-report [Acedido a 10/11/19]
[37] Zortrax. Fonte: https://zortrax.com [Acedido a 10/11/19]

Na construção dos protótipos foram utilizados dois materiais adicionais: ímanes para garantir (através de força magnética) a firmeza da posição dos módulos e a conexão aos módulos adjacentes, de modo a ser prático para o utilizador, e tinta condutiva elétrica/térmica com o objetivo de tornar os módulos condutores, ou seja, para possibilitar a transferência de calor do utilizador para o *touchscreen*. A solução inicial para criação de condução entre peças consistia na utilização de folhas de alumínio, mas verificou-se ineficaz e pouco prática, tendo posteriormente evoluído, por ser mais apropriado, para o uso de tinta condutiva. As tintas do tipo DIY, com material condutor (p. ex. grafite) e acrílicas foram utilizadas na primeira fase do projeto, mas os resultados mostraram ser pouco consistentes do ponto de vista da condutividade e da textura. As tintas industriais utilizadas posteriormente (Bare Conductive[38]) produziram resultados superiores. A tinta Bare Conductive é particularmente eficaz para utilização na criação de produtos eletrónicos, como circuitos elétricos, produtos iterativos e para prototipagem. No projeto esta tinta demonstrou-se eficaz, mas não suficientemente eficiente para futuros desenvolvimentos, pois a sua aplicação em plásticos é complexa, devido à sua falta de aderência e devido à sua textura, que altera a superfície das peças e afeta assim os mecanismos dos módulos, tornando-os menos funcionais. Em alternativa, em futuros protótipos deverá ser utilizado um material de impressão diferente para as engrenagens dos módulos, como o PLA com Grafeno ou o PLA com Fibra de Carbono[39], pois são materiais que permitem a impressão 3D com uma qualidade semelhante e com a vantagem de possuírem condutividade, dispensando a utilização de tinta condutora.

4.4.1.2 Piano Keys - Teclado

Define-se como instrumento de teclas qualquer instrumento musical que use um mecanismo cujas notas sejam ativadas com pressão ou percussão de determinadas teclas, botões ou alavancas, sendo que, na cultura ocidental, essas notas são organizadas de acordo com a escala cromática, ou seja, da esquerda para a direita, de tons graves para tons agudos. Este tipo de mecanismo é utilizado em diversos instrumentos populares, como por exemplo, o piano, o acordeão, o órgão e o sintetizador. O teclado possui uma grande relevância nos instrumentos musicais, permitindo aos músicos que toquem diversas notas de uma só vez, e com um alcance versátil. Com estas qualidades o teclado oferece a liberdade ao músico de conseguir tocar qualquer música ocidental, como melodias simples, escalas harmoniosas e arpejos.

As primeiras formas de teclados surgiram com a invenção do hydraulis, um órgão desenvolvido na Alexandria no final do terceiro século a.C. Este órgão continha alavancas que ativavam certas notas. Mais tarde, durante a era medieval, surgiram as primeiras teclas que dariam origem ao *standard* que conhecemos hoje, surgiram com a invenção da primeira forma do instrumento Viela de Roda, um instrumento que originalmente deveria ser tocado por dois músicos, um que fazia rodar um mecanismo

[38] Bare Conductive. Fonte: https://www.bareconductive.com [Acedido a 10/11/19]
[39] Black Magic 3D, Conductive Graphene. Fonte: https://www.blackmagic3d.com/Conductive-p/grphn-pla.htm [Acedido a 10/11/19]

que roçava cordas como um arco no violino, e outro que pressionava teclas para travar as cordas em certos pontos, de forma a produzir diferentes notas. Este mecanismo tinha um funcionamento semelhante ao dos dedos de um músico a pressionarem cordas nos trastes de uma guitarra.

O piano, tal como é conhecido na atualidade, descende e foi estandardizado a partir dos instrumentos de teclas do séc.XIV, em que as teclas estão divididas em oitavas, sendo uma oitava o intervalo de uma nota a outra com metade ou o dobro da sua frequência (p. ex. de dó a dó). As teclas do piano estão divididas em teclas brancas e teclas pretas. No *layout* mais comum as notas pretas são mais curtas e estão numa posição superior.

Existem outros tipos de *layout*, como o enarmónico, utilizado em instrumentos micro-tonais, que contém também teclas brancas e pretas, mas cada tecla preta está dividida em micro-tons; o isomórfico, com *layout* em grelha, que permite, à semelhança dos micro-tonais, transposição geométrica das notas.

O mecanismo de um piano consiste num sistema teclas e martelos interligados; a percussão da tecla resulta, consequentemente, na percussão de um martelo na corda correspondente, fazendo-a vibrar e produzir o seu som. O *layout* do piano é semelhante a outros instrumentos de teclas que funcionam de forma diferente. Vejamos alguns exemplos: no caso da Celesta, as teclas ativam um martelo que faz vibrar barras de metal semelhantes às de um metalofone, no *Dulcitone* a percussão das teclas resulta em marteladas em forquilhas osciladoras *(tuning fork)*, nos órgãos as teclas ativam mecanismos que abrem válvulas de tubos de ar que fazem, por sua vez, soar as notas, no cravo as teclas ativam plectros que beliscam cordas, e nos sintetizadores as teclas ativam certos componentes eletrónicos. Nos teclados MIDI, que neste contexto podem ser descritos como instrumentos de controlo, as teclas ativam a transmissão de certa informação (p. ex. a velocidade e força com que as notas foram tocadas) em formato de mensagem digital (Libin et al., 2019).

A normalização das teclas permitiu uniformizar a interação o tipo de interação para gerar experiências diferentes, dependendo do instrumento e mecanismos utilizados. Desta forma, um pianista pode, por exemplo, reproduzir com facilidade o som de um saxofone, servindo-se de um tipo de interação que lhe é familiar (e.g. teclas de um controlador MIDI e sons gerados por *software*).

A interação entre teclados eletrónicos e MIDI pode mudar de acordo com o tipo ação de teclas utilizado, podendo dividir-se em três tipos:

Weighted-Key Action: tipo de ação utilizado geralmente em teclados de 88 teclas que tenta replicar o mecanismo de contrapeso dos pianos tradicionais, através de teclas pesadas (e.g. em madeira) e mecanismos de pesos e molas estrategicamente posicionadas.

Semi-Weighted Action: tipo de ação semelhante à anterior, mas com teclas aligeiradas e com percussão de teclas facilitada.

Synth-Action: tipo de ação de teclas leve, servindo-se apenas de molas. Este tipo de teclados permite tocar com elevada velocidade e o mínimo de esforço. Este teclado é mais versátil e acessível a músicos que não sejam pianistas, mas que queiram tocar um instrumento de teclas. Este tipo de ação é simples e leve, facilitando a criação de instrumentos mais econômicos e portáteis.

Os teclados MIDI têm diferentes números de teclas consoante o seu tamanho, sendo comum a utilização de *Synth Action* em teclados de menores dimensões ou número inferior de teclas e *Semi-Weighted Action* ou *Weighted Key Action* em teclados de maiores dimensões e com número superior de teclas, nomeadamente aqueles que emulam a mecânica realista de um piano acústico.

Na interface híbrida deste projeto cada tecla deverá ativar uma mensagem digital, servindo-se de um botão no *touchscreen* como *input*. Para que isso aconteça a tecla deverá despoletar um mecanismo que permita ativar um botão digitál, ao invés de fazer uma corda vibrar ou abrir uma válvula. De seguida é apresentado o processo iterativo do desenvolvimento dos módulos referentes às peças de teclado, que passou por 5 etapas de evolução:

1.ª etapa

Na primeira etapa foi desenvolvido um protótipo inspirado no mecanismo de martelo (do tipo piano ou celeste) e na interação do tipo *synth action*, por ser mais apropriada à criação de módulos leves e de pequenas dimensões (Figura 26).

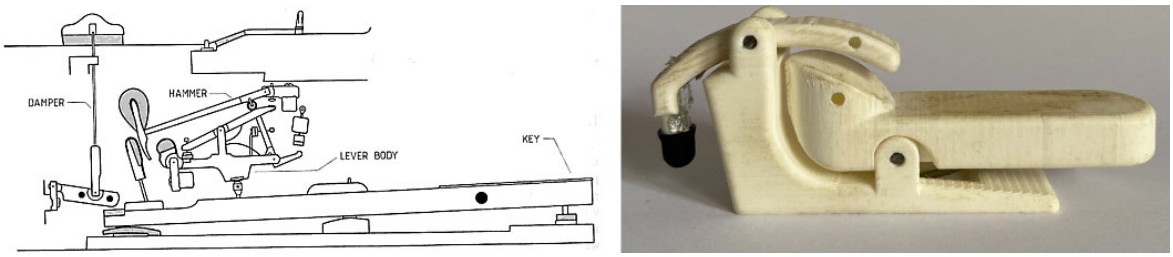


Figura 26. Comparação entre o mecanismo de um piano acústico e o do protótipo

Este protótipo é constituído por quatro partes: uma tecla, uma base, um martelo e a uma mola. A tecla, quando pressionada ou percutida, colide com o martelo em arco que, por sua vez, toca no *touchscreen*. A base garante o funcionamento do mecanismo, criando eixos e apoios para a tecla e o martelo, e possui um encaixe para a mola em forma de "S" que se encontra por baixo da tecla.

O protótipo foi criado a partir de 4 materiais: ABS, utilizado na impressão 3D da tecla, base e martelo; aço, utilizado na criação da mola; alumínio, utilizado na criação de condução térmica na superfície da tecla e do martelo; e silicone condutor, utilizado na ponta do martelo, para que possibilitasse a leitura do toque por parte do *touchscreen,* e para que esse mesmo toque pudesse ser suave, de modo a não danificá-lo.

Embora o protótipo da primeira etapa seja funcional, apresenta usabilidade reduzida. A mola utilizada possui, por exemplo, tensão demasiado elevada em relação à tecla e torna difícil a ação de pressionar ou percutir. Constata-se também que os mecanismos da tecla e do martelo funcionam, mas não de forma correta, pois os ângulos de rotação de ambas as partes são pequenos e o toque no *touchscreen* é impreciso e falha durante o uso. A base tem também alguns problemas, pois embora segure o martelo e a tecla com firmeza, a força da pressão ou percussão faz a peça mover-se indesejavelmente. Por fim, a tecla tem uma largura adequada a qualquer dedo, mas o seu comprimento é demasiado curto, o que torna a sua utilização desconfortável. Observa-se ainda que o alumínio utilizado na superfície funciona bem como material condutor, mas a sua durabilidade e aplicabilidade à peça é reduzida.

2.ª etapa

Nesta etapa foram criados três protótipos (Figura 27) inspirados na mesma forma de tecla, mas com bases, martelos e mecanismos ligeiramente diferentes**.** Foi definido qual o tamanho das teclas com base na grelha modular criada e com base no estudo de mercado de controladores MIDI desenvolvido.

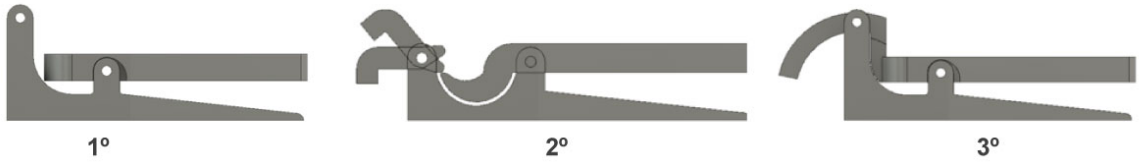


Figura 27. Protótipos de Mecanismo do teclado (2.ª Etapa)

No primeiro protótipo foi criada uma tecla com um comprimento maior e mais fina, assegurando a sua ergonomia. A tecla deixou de possuir cantos totalmente arredondados, porque causavam problemas de usabilidade, por diminuírem a área de toque nas pontas das teclas, mas também por produziam um efeito menos elegante e distanciado dos teclados tradicionais.

A base deste protótipo foi desenhada com os objetivos de criar maior estabilidade durante a utilização do mesmo, e de permitir um ângulo mais amplo de rotação da tecla quando a mesma é pressionada, aumentando o percurso (*travel)* na ação das peças. Neste protótipo a mola de aço foi substituída por uma mola em espiral, semelhantes molas comumente usadas em canetas.

O primeiro protótipo melhorou consideravelmente a qualidade da interação da tecla, da estabilidade da base e do funcionamento da mola, mas criou um novo problema: o protótipo tornou-se maior que o da etapa anterior e, portanto, menos portátil. Na tentativa de criar uma solução para esse problema, foi desenvolvido um novo protótipo com o mesmo tipo de teclas e mecanismo, mas com altura geral inferior e, também, um novo tipo de toque durante a interação tecla-martelo. Embora a redução da altura da peça tenha alcançado algumas vantagens, do ponto de vista geral a solução demonstrou ser pouco funcional e pouco fiável do ponto de vista da sua utilização.

Numa última iteração, com base no último protótipo, a inspiração voltou a ser o primeiro protótipo desta fase, em que o objetivo de reduzir a altura foi interrompido e deu origem a um novo desafio: o melhoramento do martelo e do seu mecanismo. Com este último protótipo notou-se melhorias ao nível do mecanismo da tecla e da estabilidade da base, no entanto o mecanismo, para além de estar incompleto (faltando o mecanismo de retorno do martelo à posição inicial), revelou-se pouco eficiente, requerendo ainda algum esforço e adaptação do utilizador durante a sua utilização. A base ficou mais estável que os protótipos anteriores, devido ao seu novo design e pela densidade escolhida durante a sua impressão 3D, mas ainda não tinha estabilidade suficiente para garantir uma fácil utilização. A interação com a tecla ficou significativamente melhorada com o desenvolvimento de uma nova mola.

3.ª etapa

Nesta terceira etapa os objetivos focaram-se na melhoria da estabilidade da peça durante a sua utilização, no mecanismo de interação tecla-martelo e martelo-*touchscreen*, e ainda na exploração da posição da mola, para garantir a pressão ideal que a mesma deve exercer sobre a tecla (Figuras 28 e 29).

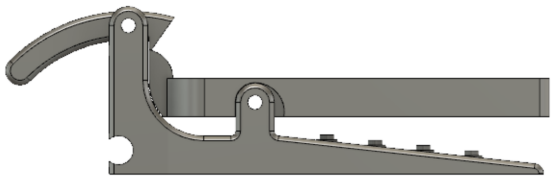


Figura 28. Teclado em Modelo 3D (3.ª Etapa)



Figura 29. Teclado Protótipo (3.ªEtapa)

Durante esta etapa foi produzido apenas um protótipo, mas com características de personalização que permitiu um estudo exploratório durante a sua observação e utilização. A base foi desenhada de modo a permitir a colocação da mola em diferentes posições, permitindo assim explorar diferentes pressões, e o mecanismo tecla-martelo foi ajustado para que fosse utilizada apenas a mínima área de toque necessária, garantindo maior eficácia e a menor dimensão possível para cada peça. Tendo como objetivo de possibilitar o toque na área correta do *touchscreen*, o martelo sofreu ajustes ao nível do seu formato.

Para melhorar a estabilidade do módulo durante a sua utilização, foi criada uma capa (APENDICE A) para o *smartphone* e um sistema de encaixe entre a capa e este módulo. Nesta etapa foi ainda explorada a interação como o módulo, não apenas com uma tecla branca, mas com duas, com o objetivo de entender o nível de "*playability*" entre peças consecutivas. As melhorias desenvolvidas ao nível da utilização permitiram concluir que a interação com as teclas se assemelhava mais a um teclado *synth-action*, nomeadamente quando a mola estava posicionada mais perto do eixo de rotação da tecla, criando assim uma pressão suave em comparação com uma posição mais longe desse mesmo eixo. Este nível de pressão, embora tenha sido adotado nos protótipos desenvolvidos, poderá ser personalizável pelo utilizador final.

O martelo deste protótipo funcionava melhor, em consequência da alteração do seu mecanismo e do seu formato; ainda assim a interação martelo-*touchscreen* revelou precisar de melhorias e o mecanismo da peça não garantia o retorno do martelo à sua posição inicial.

O sistema de encaixe do módulo na capa do *smartphone* aumentou a estabilidade geral, mas revelou-se pouco prático devido ao seu tamanho e forma, e implicou o desenvolvimento de um novo sistema. A interação simultânea com as duas teclas demonstrou ser aceitável, por ser agradável ao toque e por possuir a qualidade e dinâmica necessárias em termos de funcionalidade do módulo.

4.ª etapa

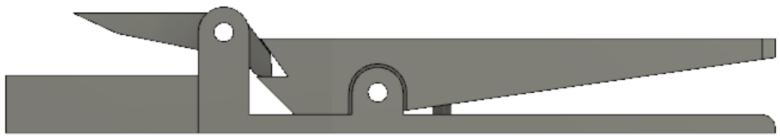


Figura 30. Teclado em Modelo 3D (4.ª Etapa)

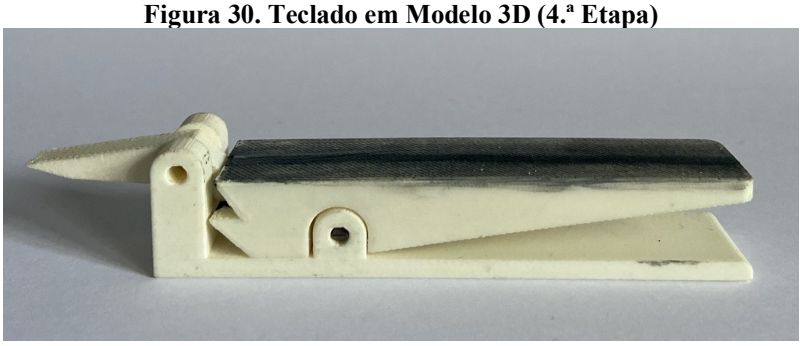


Figura 31. Teclado Protótipo (4.ªEtapa)

Na quarta etapa de desenvolvimento do protótipo em questão, todas as partes do módulo sofreram alterações, com o objetivo de solucionar os problemas descritos na etapa anterior. A base, ainda que semelhante às versões anteriores, foi desenhada de modo a apresentar dimensões inferiores, mas sem que o seu novo design comprometesse o mecanismo desenvolvido. Se compararmos este protótipo com o

anterior, é possível observar que tem cerca de metade da altura, ou seja, uma melhoria importante em termos de redução de custos de produção e aumento de portabilidade do módulo (Figuras 30 e 31).

A tecla e o martelo foram ligeiramente adaptados à nova base, e a posição da tecla, com uma parte assente na base criou uma estabilidade superior durante a sua utilização. O mecanismo de interação tecla-martelo foi repensado e redesenhado de forma a garantir a possibilidade de ativar o mecanismo quando a tecla fosse pressionada, e ainda o retorno do mesmo à posição inicial, quando a tecla fosse liberada. Neste novo protótipo garantiu-se que peça executasse a sua função com máxima eficiência, com design minimalista, portátil e económico, para além de se ter revelado mais elegante e dinâmico que os anteriores.

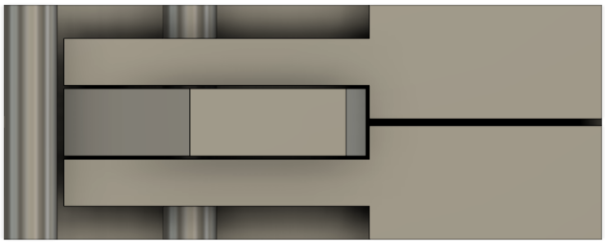


Figura 32. Teclado (Teclas intercaladas) em Modelo 3D (4.ª Etapa)

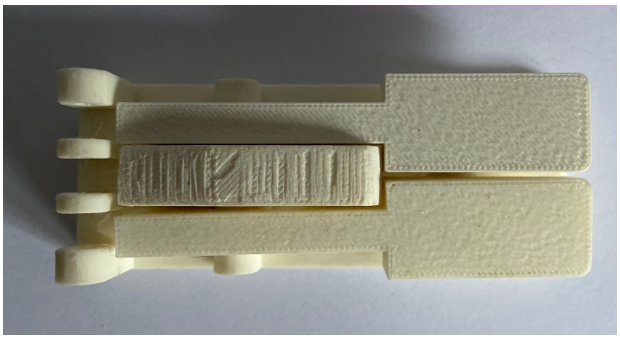


Figura 33. Teclado (Teclas intercaladas) Protótipo (4.ªEtapa)

No segundo protótipo desta etapa, foi desenvolvido uma base que pudesse suportar três teclas, (duas brancas e uma preta) (Figura 32; Figura 33). A tecla preta foi desenhada de raiz e as teclas brancas foram redesenhadas, para que pudessem ser utilizadas em simultâneo na nova base, com teclas alternadas. Assim, as teclas brancas sofreram cortes laterais para que houvesse espaço suficiente para uma tecla preta. A teclas preta foi desenhada com largura e comprimento inferiores às das teclas brancas, mas com altura superior, para que o músico pudesse ter referência do teclado sem recorrer necessariamente a *feedback* visual. Também o espaçamento entre teclas foi encurtado (para a menor distância possível), sem interferir na interação com as teclas. Na figura 34 é possível observar e comparar a relação das diferentes teclas em termos de forma, tamanho e espaçamento entre si

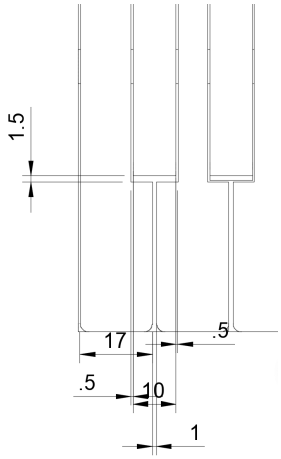


Figura 34. Teclas Intercaladas (Medidas)

Este módulo está dividido em oitavas, e cada oitava está dividida em duas partes, também modulares; deste modo o utilizador poderá decidir se pretende ordenar as teclas à esquerda começando num Dó ou num Fá. Estes módulos conectam-se entre si e à capa do *smartphone* através de ímanes. Cada oitava foi criada para ocupar um espaço de 4 módulos de comprimento e 2 de largura.

No *touchscreen*, cada martelo toca numa área correspondente a metade do módulo (no seu comprimento). As outras metades restantes poderão ser utilizadas para colocar diferentes controladores do teclado (p. ex. *pads* para subir ou descer as oitavas, mudar o pitch ou fazer a modulação do som).

Para que o módulo funcione, é necessário que duas peças sejam condutoras (a tecla que o utilizador toca e o martelo que toca no *touchscreen*), sendo apenas necessário que certas superfícies de cada peça sejam condutoras, de forma a criar uma linha condutora até ao *touchscreen*, sempre que a tecla é pressionada. Para criar estas partes foi utilizada tinta condutora (Bare Conductive) que, por não aderir ao plástico ABS, implicou tratamento prévio (as peças foram lixadas, para ficarem com um acabamento uniforme e suave, e foram pintadas com primários e tintas acrílicas, pela respetiva ordem. Mesmo tendo este tratamento inicial, a tinta apresentou dois problemas: a sua cor preta alterava a cor das peças (sendo essa alteração muito evidente no caso das teclas brancas), e a tinta não aderia na sua totalidade. Ambos os problemas foram solucionados com a mesma estratégia: as peças foram pintadas novamente com tintas acrílicas sobre a tinta condutora, e finalizadas com um verniz fixador.

5.ª etapa

Na última etapa do desenvolvimento dos módulos foram resolvidas algumas questões técnicas relacionadas com o sistema de percussão das teclas. Um dos aspetos considerados foi a velocidade. Os teclados MIDI analógicos permitem controlar a velocidade das teclas através da indicação da força com que cada tecla foi pressionada. A variação destes valores indica alteração do volume ou do timbre de uma nota. Este tipo de funcionalidade aumenta o grau de dinâmica e da expressividade de um instrumento.

Nos *touchscreens* as diferenças de velocidade e respetivas dinâmicas podem ser alcançadas de formas distintas, variando de acordo com a tecnologia de ecrã utilizada:

Tipo 1 - *Touchscreen* com sensor de força, como é caso da tecnologia *force touch* da Apple, que deteta a força aplicada na superfície, conseguindo mudar as dinâmicas do teclado consoante a força de pressão ou percussão: não é preciso nenhuma modificação no módulo para que se possa usar a funcionalidade de velocidade com os martelos dos módulos.

Tipo 2 - *Touchscreen* convencional sem sensor de força, cuja medição depende da área de toque (p. ex. um toque leve ou superficial abrange uma área menor): para tirar partido desta tecnologia os martelos dos módulos teriam de ser desenhados com dimensões variáveis, de acordo com a força aplicada nas teclas.

A ponta dos martelos que toca no *touchscreen* foi criada através do uso de borracha, de modo a garantir que não danificasse a superfície do *smartphone* durante a utilização do teclado. A solução da borracha inicial tinha um corte reto, mas a sua geometria foi modificada para uma forma de prisma triangular. Como se pode observar na imagem seguinte, esta nova forma permitiu criar a dinâmica de velocidade necessária no módulo: quanto mais força se aplicasse na tecla, maior seria a área da borracha que tocaria no *touchscreen*. Essa solução resultou ser eficaz e permitiu concluir o design dos módulos referentes ao teclado (Figura 35).

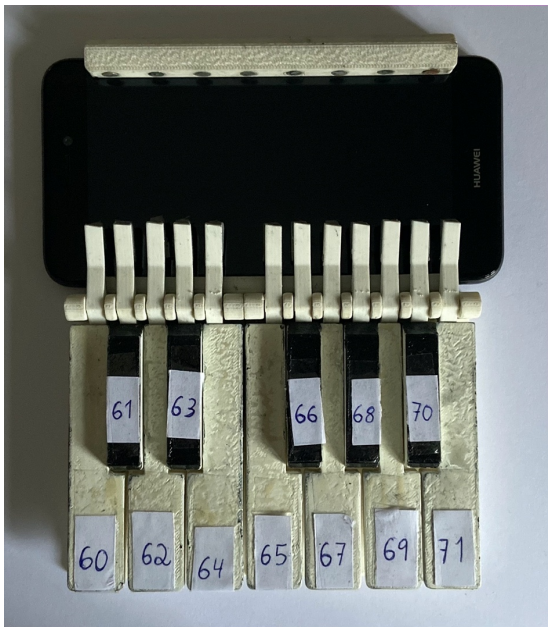


Figura 35. Demonstração de interface híbrida com o modulo teclado

4.4.1.3 *Knobs*

Os *knobs* musicais surgiram com a introdução de potenciómetros em instrumentos musicais, mais especificamente, dos potenciômetros de rotação. Um potenciômetro é uma resistência elétrica de 3 terminais, com um sistema divisor de voltagem ajustável por uma mecânica de rotação ou de *sliding* em contacto com os terminais. São utilizados como controladores analógicos, sendo um dos seus usos o controlo musical.
Em amplificadores, instrumentos acústico-elétricos, instrumentos elétricos e pedais de efeitos podem ser utilizados para modificar tonalidades, volume, efeitos, modulações e, até, afinação. A sua aplicação surgiu na música com a invenção do primeiro sintetizador, o Telégrafo Musical por Elisha Gray, um instrumento eletroacústico que usava linhas de telefone para produzir som do tipo *buzz*. Neste instrumento um *knob* era utilizado para controlar a tonalidade (Homes, 2002).

Embora o potenciómetro de rotação tenha sido utilizado pela primeira vez neste instrumento, a interação de um *knob* ou interações de rotação semelhantes já tinham sido utilizadas num contexto semelhante de usabilidade em instrumentos acústicos. A afinação em instrumentos de cordas usa, por exemplo, um sistema rotacional para prender uma corda e criar tensão. Também o Ravanastron, um instrumento remoto indiano, foi dos primeiros a ser criado com um sistema assim: continha duas cordas em tensão sobre um braço que eram afinadas por intermédio de “knobs” posicionados nos limiares do seu braço.

O desenvolvimento das peças de knobs foi, à semelhança dos módulos das teclas, realizado por etapas:

1.ª Etapa

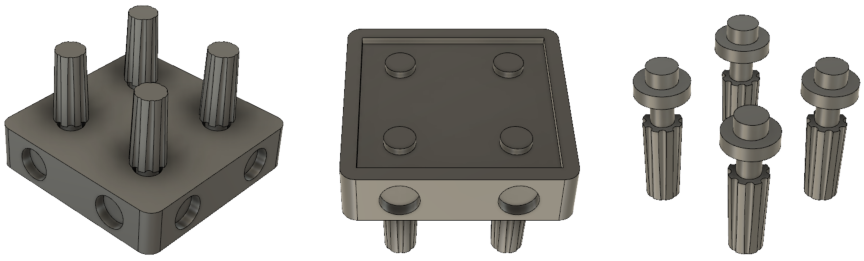


Figura 36. *Knob* Modelo 3D (1.ª Etapa)

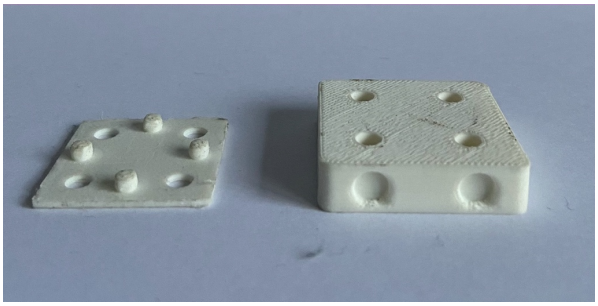


Figura 37. Knob Protótipo (1.ª Etapa)

Na primeira etapa foi criado um módulo quadrado (2,8x2,8 cm) com quatro pequenos *knobs*, através da impressão 3D com ABS. Esses *knobs* encaixam numa peça que serve de engrenagem e, simultaneamente, toca no *touchscreen* (Figuras 36 e 37).
Este módulo é composto por quatro partes: a base modular, que tem como função manter a estabilidade e posição dos outros componentes, e fazer a conexão com a capa do *smartphone* e outros módulos, sendo esta conexão feita a através de ímanes colocados nas suas faces, tendo cada face dois ímanes, com polaridades alternadas; o *Knob*, o componente condutor com que o utilizador interage e que se conecta à engrenagem, poderá mudar a sua forma e tamanho desde que mantenha o mesmo tipo de conexão; a engrenagem condutora, que se conecta numa das extremidades ao *knob,* e noutra ativa o *touchscreen*; a capa, que protege a área posterior em contacto com o *touchscreen* e mantém as engrenagens em posição.

Embora a impressora 3D utilizada tenha uma precisão teórica de 0,05mm, o mesmo não se verifica na prática, pois dependendo do tipo de material usado, da sua composição, da grossura do filamento, da sua qualidade (que pode variar ao longo da bobina de filamento) e da temperatura da máquina/ambiente, o resultado final da impressão poderá variar. Considerando estas variáveis, as impressões das peças deste protótipo não resultaram com qualidade, pois devido às suas características (de forma e tamanho), a margem de erro era pequena e a impressora não conseguiu alcançar o nível de qualidade desejado. As impressoras 3D mais comuns estão apenas preparadas para peças que não precisem ser impressas em micro ou grandes dimensões, sendo que a impressão máxima das impressões mais comuns é de cerca de 20cm3. Para impressões de pequenas dimensões e precisão micro-milimétrica é aconselhado o uso de impressoras como a Zortrax Inkspire, uma impressora de alta precisão, com a capacidade de imprimir em camadas micrométricas.

Este protótipo não demonstrou ser funcional, pois os *knobs* e as engrenagens não encaixavam entre si e as engrenagens não giravam dentro da base, ficando constantemente presas. A capa posterior também não demonstrou ser funcional, pois não garantia a precisão suficiente para fixar com estabilidade o encaixe dos knobs e das engrenagens. Este protótipo permitiu constatar ainda que a reduzida dimensão dos *knobs* limitava a utilização do ponto de vista ergonómico, sendo apenas adequado a um número reduzido de utilizadores. O mesmo problema se verificou na interação giratória, que não garantia a precisão necessária no *touchscreen*, embora este reconheça toques num único pixel.

2.ª Etapa

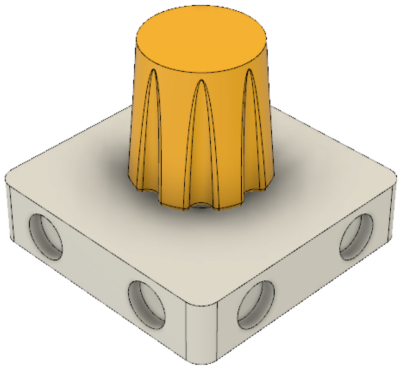


Figura 38. *Knob* Modelo 3D (2.ª Etapa)

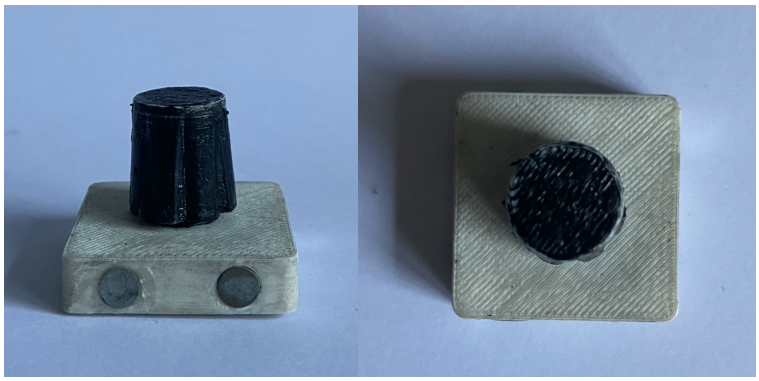


Figura 39. *Knob* Protótipo (2.ª Etapa)

Para o desenvolvimento deste protótipo seguiu-se o mesmo tipo de mecanismo da iteração anterior, com design semelhante. Foi criado um módulo quadrado (2,8x2,8 cm) mas com apenas um *knob*, sendo este maior que o dos protótipos anteriores e com uma posição central em relação à sua base. Na primeira versão do protótipo foi ainda utilizada uma capa na base, no entanto foi posteriormente eliminada por falta de funcionalidade (Figuras 38 e 39).

O *knob* e a engrenagem encaixam de forma semelhante aos protótipos anteriores, no entanto admitiam uma margem de erro superior na impressão. O *knob* contém ranhuras para maior aderência durante a sua utilização. O tipo de sistema de conexão através do uso de ímanes manteve-se.

A primeira versão do *knob* não encaixava na engrenagem e a engrenagem prendia à base sem conseguir rodar, mesmo tendo sido criada uma margem para ambas as funcionalidades. Esta margem poderá ser minimizada com processos de produção

industrial, que possibilitam maior precisão na produção de cada peça. Estando o desenvolvimento dos protótipos limitados ao uso da impressão 3D, foram criados vários *knobs* e engrenagens com medidas diferentes, com o objetivo de solucionar este problema.

Na imagem seguinte é possível observar diferentes medidas usadas no design da engrenagem. A primeira engrenagem, sem margem entre o seu tamanho e a ranhura da base, não entra na mesma; a segunda com uma margem de 0,20 mm entre o raio da engrenagem e a ranhura, entra mas o seu encaixe é demasiado apertado para permitir qualquer tipo de rotação; a quinta, a engrenagem com maior margem (cerca de 0,75mm), apesar de servir, não cria estabilidade e permite que a engrenagem saia de posição; a terceira e quarta engrenagem, com 0,30mm e 0,50mm de margem respetivamente, permitem uma rotação sem esforço e estabilidade, sendo que a com menor margem (0,30mm) apresenta as condições perfeitas de funcionalidade, estabilidade e *playability*, dando ao protótipo uma qualidade de interação semelhante à de um produto analógico produzido com ferramentas industriais avançadas (Figura 40).

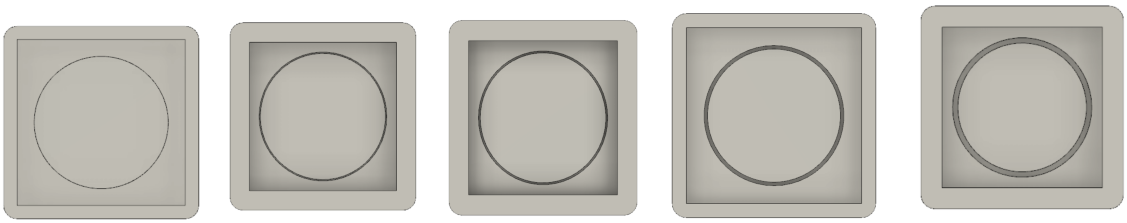


Figura 40. Encaixe entre engrenagens e bases dos *Knobs*

Na figura 41, estão representados quatro encaixes diferentes das engrenagens com os *knobs*. O primeiro apenas possui uma margem de 0,1mm em cada lado, tornando o seu encaixe impossível; a último, com uma margem de 0,4mm em cada lado, não cria qualquer pressão e, por isso, não se prende ao *knob*; o segundo e o terceiro, com uma margem de 0,2mm e 0,25mm respetivamente, permitem um encaixe e pressão suficientes para que o módulo fique estável durante a sua utilização. No protótipo final optou-se pela maior margem, pois a tinta condutora utilizada acrescenta alguma espessura à peça.

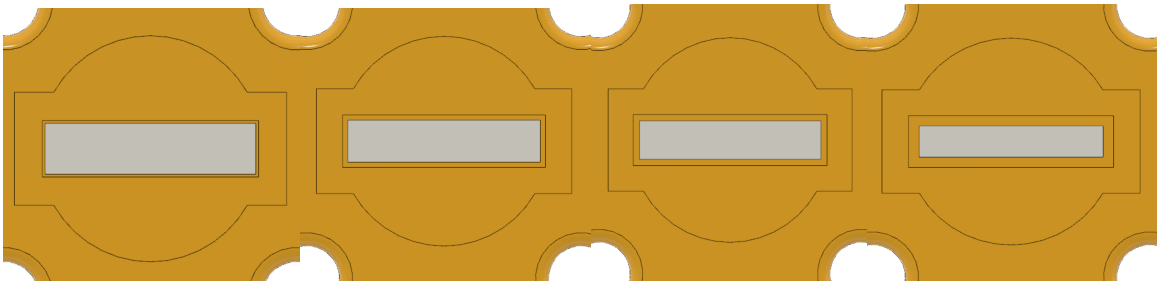


Figura 41. Encaixe entre engrenagens e cabeça do *Knob*

3.ª Etapa

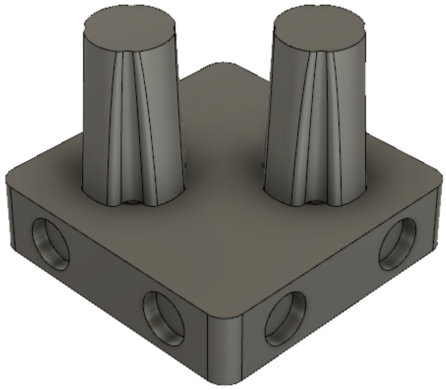


Figura 42. *Knob* Modelo 3D (3.ª Etapa)

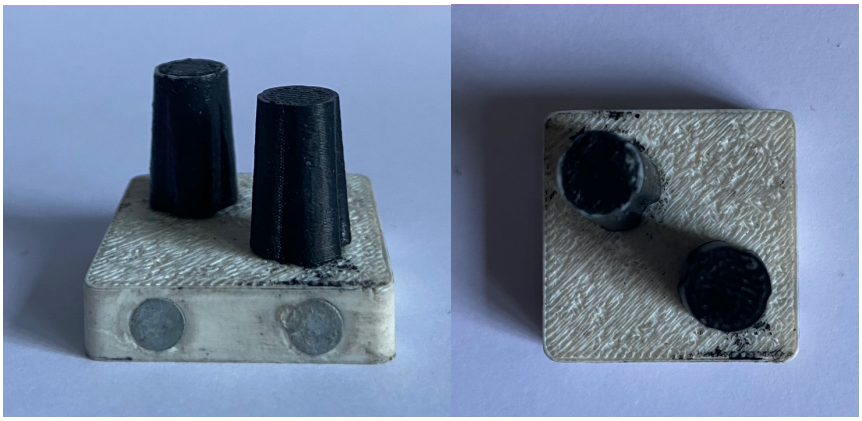


Figura 43. *Knob* Protótipo (3.ª Etapa)

Nesta etapa criou-se novamente um módulo quadrangular, de medidas iguais aos anteriores, mas com dois *knobs*, reduzindo-se o tamanho comparativamente ao protótipo

anterior. Este novo protótipo continha os *knobs* em posição diagonal em relação ao módulo. No *layout* do sistema modular, podem ser colocados na grelha em qualquer posição como os protótipos anteriores (Figura 42 e 43).

Mesmo com um tamanho inferior ao protótipo anterior (de um *knob*), as engrenagens e os *knobs* deste protótipo encaixavam e funcionavam com a mesma mecânica e, por isso, os estudos anteriores aplicavam-se também a este, tendo sido o desafio criar as mesmas margens, mas com formas mais pequenas. Na figura seguinte é possível observar a diferença entre os dois protótipos, que variam de dimensão, mas possuem margens de encaixe idênticas. Este desafio ficou mais evidente durante o processo de impressão 3D, em que a margem de erro da impressora e, da qualidade do filamento, teria que ser menor.

Este protótipo revelou ser menos ergonómico que o anterior, no entanto o seu funcionamento garantiu um nível de qualidade equivalente ou superior em termos de usabilidade, estabilidade, *playability* e *feedback* háptico. Em termos gerais este módulo apresentou versatilidade superior, pois permitiu incorporar o controlo de dois valores MIDI numa só peça, através do posicionamento de dois *knobs* na diagonal. A possibilidade de rotação do módulo permitiu ainda que a variação da posição dos *knobs* garantisse uma utilização adaptada a músicos destros e esquerdinos.

4.ª Etapa

Nesta etapa foram desenvolvidos novos testes dos materiais para otimização do toque dos protótipos no *touchscreen*. Os protótipos criados contêm engrenagens que permitem o movimento de rotação do *knob*, mas não tocam no *touchscreen* pois a sua superfície áspera poderia danificá-lo. Esta condição implicou a criação de engrenagens com margens de 2mm em relação à base, para que se tornasse possível anexar uma nova superfície; essa nova superfície garantiu o movimento das engrenagens sem atrito, e ainda a condutividade e proteção do dispositivo. Tendo esse esse objetivo foram testados os seguintes materiais:

- Feltro, que deslizava facilmente na superfície de vidro do *touchscreen* sem danificá-lo, mas que não era possível pintar com tinta condutora sem mergulhar a peça. Com este material a tinta não aderia à peça na sua totalidade e manchava as peças adjacentes.

- Dois tipos de borrachas, que eram mais flexíveis e admitiam maior margem de erro entre o módulo, a capa do dispositivo e a superfície *touchscreen*, para que o toque do módulo fosse efetuado sem interrupções. À semelhança do material anterior, estas borrachas também não eram compatíveis com a tinta condutora;

- PVC, que embora não tivesse o grau de flexibilidade dos materiais anteriores, apresentava melhor aderência à tinta condutora, fazendo com que o mesmo fosse o material mais funcional e acessível dentre as alternativas testadas.

5.ª Etapa

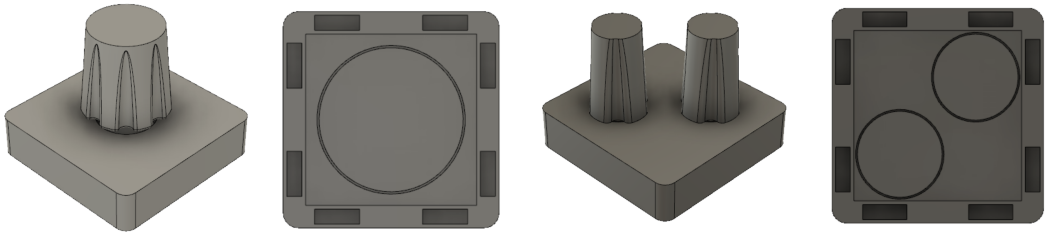


Figura 44. *Knob* Modelo 3D (5.ª Etapa)

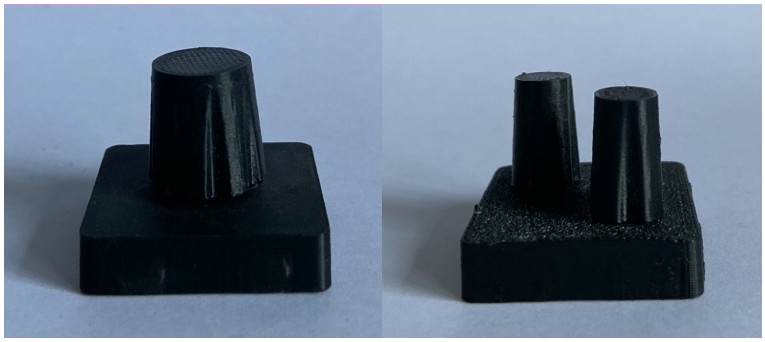


Figura 45. *Knob* Protótipo (5.ª Etapa)

Na quinta e última etapa, os dois tipos de módulos de *knobs* foram melhorados. Foi acrescentada altura às suas engrenagens para aumentar a margem de erro durante o toque do módulo com o *touchscreen*, sendo também uma forma de compensar a falta de flexibilidade do PVC durante o toque. Com os protótipos anteriores era necessária alguma persistência e habilidade do utilizador para utilizar os mesmos. Nesta nova versão (de ambos os módulos) a usabilidade aumentou consideravelmente e a experiência tornou-se mais suave e menos exigente (Figuras 44 e 45).

Nesta etapa foi também mudado o encaixe dos ímanes para a base dos módulos, com o objetivo de solucionar um problema que afetou todos os módulos desenvolvidos: a ligação com ímanes nas laterais. Nas iterações anteriores observaram-se dois problemas: os ímanes não encaixavam na perfeição na maioria dos módulos, ou a força dos ímanes era superior à força que os mantinha em posição no módulo; neste caso o uso de pressão e super-cola fazia com que os ímanes se movessem com frequência num sentido errado, prejudicando a experiência. Com a alteração da posição do encaixe para a base dos módulos, a força magnética deixou de ser um problema, e o seu encaixe

deixou de necessitar de material de fixação, sendo a pressão exercida sobre as paredes do módulo suficiente para manter os ímanes na posição correta.

4.4.1.4 *Sliders*

Os *sliders* são controladores que, à semelhança dos *knobs*, surgiram em instrumentos musicais e dispositivos de áudio com a introdução de potenciómetros. Uma das diferenças dos *sliders* relativamente aos *knobs* reside nos potenciómetros, que são de deslizamento vertical ou horizontal, e não de rotação. Este controlador, analógico, apresenta um nível de versatilidade semelhante ao controlador eletrónico e ao controlo por *knob,* variando apenas ao nível do tipo de interação.

Os sliders são geralmente usados em controladores de áudio, como consolas de mistura, que controlam vários canais de som simultaneamente, podendo fazer a sua equalização e mistura. São também utilizados para controlo de efeitos musicais, volume, tonalidades e modulações. Um dos seus primeiro usos, em termos de tipo de interação, surgiu com a invenção do órgão elétrico Hammond, em 1934, através do uso de *draw bars*, um tipo de *sliders* que controlava a tonalidade do instrumento (Faragher, 2011).

Atualmente, o seu uso mais comum é em misturadores de áudio, nomeadamente para controlar níveis de áudio. Inicialmente os misturadores de áudio usavam potenciómetros de rotação para este tipo de controlo, mas estes apenas permitiam a utilização de dois em simultâneo, enquanto que os *sliders* permitem o controlo de vários parâmetros de som com vários dedos, de forma ágil e precisa.

1.ª Etapa

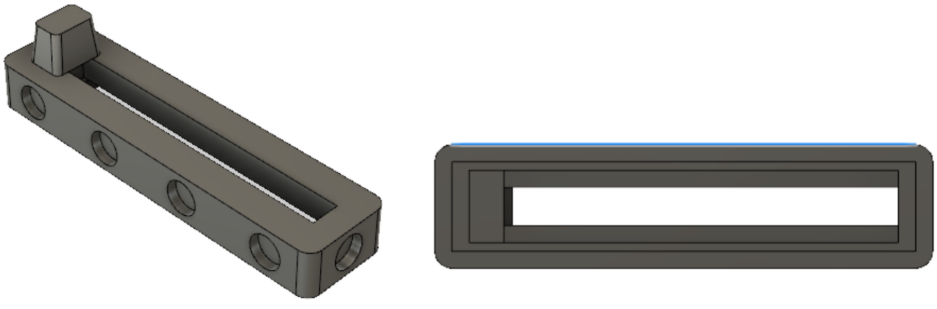


Figura 46. *Slider* Modelo 3D (1.ª Etapa)

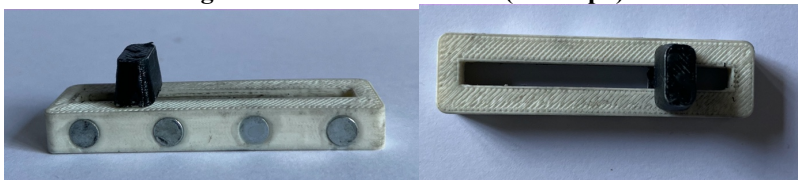


Figura 47. *Slider* Protótipo (1.ª Etapa)

O primeiro protótipo de *slider* foi criado com a mesma técnica e material das peças anteriores, e com as dimensões de 1,4x5,6cm. Em comparado com o módulo *knob*, este protótipo ocupava a mesma área na grelha, mas com *layout* e organização diferentes (Figuras 46 e 47).

Este protótipo é constituído por três partes:

A. A base, que permite o encaixe com outros módulos e com a capa (através de ímanes), que possibilita o deslize reto (em *slide*) da engrenagem;

B. A cabeça condutora do *slider*, que permite *feedback* háptico e o encaixe com a engrenagem, podendo ser substituída por outra cabeça personalizada pelo utilizador;

C. A engrenagem condutora, que se posiciona dentro da base, encaixa na cabeça, e permite o funcionamento do mecanismo de *slide,* fazendo o contacto com o *touchscreen*.

A base deste protótipo demonstrou ser funcional pelo seu tamanho e forma: permitia precisão de controlo sobre os valores MIDI (0-127) e versatilidade na sua interação, pois consoante a sua posição, possibilitava ao utilizador os movimentos (de *slide*) horizontais ou verticais.

A utilização da cabeça do *slider* demonstrou ser demasiado pequena e afetava a sua ergonomia e usabilidade. A engrenagem que desliza e encaixa na cabeça do *slider* prendia durante a sua utilização por dois motivos: (1) a margem de erro para que o protótipo ficasse funcional era pequena e, em algumas impressões 3D, a diferença entre o tamanho da engrenagem e a abertura da base não revelou ser suficiente; (2) a altura do encaixe para a cabeça do *slider* possuía dimensões superiores ao que era necessário, fazendo com que a engrenagem se inclinasse e travasse durante a sua utilização.

2.ª Etapa

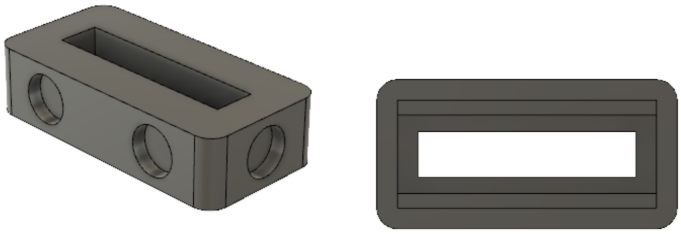


Figura 48. *Slider* Modelo 3D (2.ª Etapa)

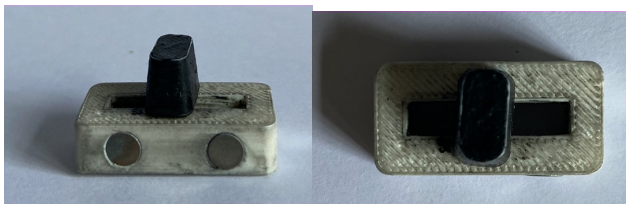


Figura 49. *Slider* Protótipo (2.ª Etapa)

Na segunda etapa foi criado um protótipo semelhante ao anterior, mas com metade do tamanho (1,4x2,8cm). Foi utilizada a mesma engrenagem e cabeça de *slider* do protótipo anterior, mas reduziu-se a dimensão, garantindo maior versatilidade de posicionamento na grelha (p. ex. no espaço ocupado por dois módulos da versão anterior, que controlariam duas variáveis, passou a ser possível incorporar quatro *sliders*, com posições horizontais e verticais simultaneamente). A redução das suas dimensões permitiu incorporar um número superior de controladores, mas o nível de controlo passou a ser menos preciso ao nível dos valores MIDI (0-127), fazendo com que este tipo de *sliders* fosse mais indicado para as funções de *switch* (p. ex: ligar/desligar) (Figuras 48 e 49).

3.ª Etapa

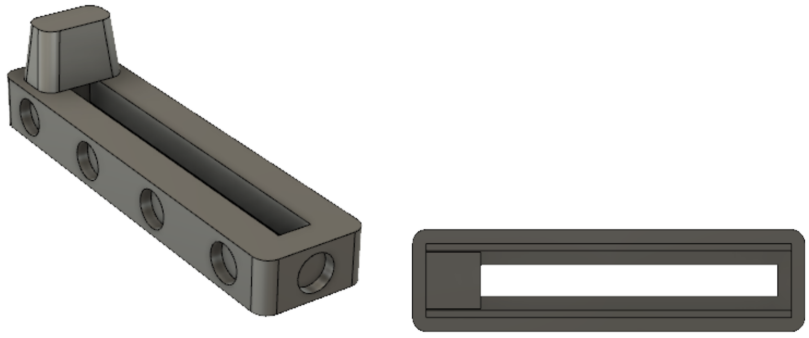


Figura 50. *Slider* Modelo 3D (3.ªEtapa)

Na terceira etapa foi desenhada uma nova engrenagem e cabeça de *slider* com o objetivo de solucionar os problemas descritos anteriormente, sendo esta nova solução adequada a ambos os protótipos de *sliders* criados (Figura 50).
A cabeça de *slider* foi aumentada e redesenhada para garantir maior ergonomia e controlo do *slider* por parte do utilizador. A engrenagem sofreu alterações na sua parte posterior, que desliza por dentro da base do módulo, e as suas dimensões e margens foram aumentadas, de modo a facilitar o movimento de *slide*. A medida utilizada no espaçamento (0,30mm) foi a mesma dos módulos de *knobs*, e teve sucesso.

Em termos do material utilizado, o PVC revelou ser novamente aquele que garantia um *slide* suave e eficaz no momento de contacto com o *touchscreen.*
Estas alterações melhoraram o funcionamento e usabilidade do módulo, no entanto a cabeça do módulo não revelou ser suficientemente estável durante o deslize sobre a base, travando por vezes o *slide* e, outras vezes, fazendo-o desencaixar da engrenagem.

4ª Etapa

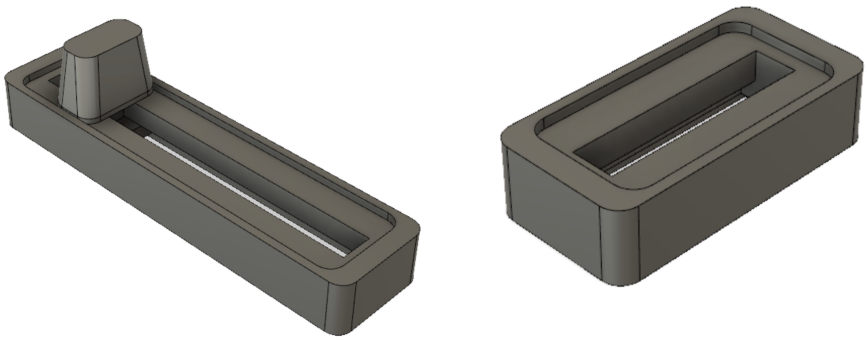


Figura 51. *Slider* Modelo 3D (4.ª Etapa)

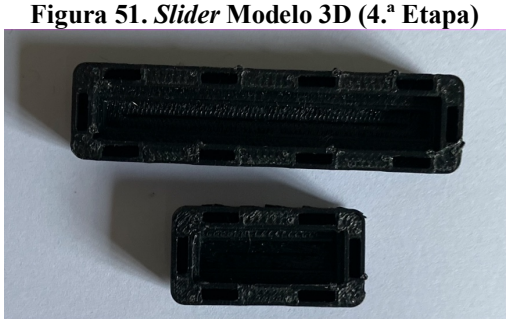


Figura 52. *Slider* Protótipo (4.ª Etapa)

Na quarta etapa foram criados dois protótipos, duas versões melhoradas dos dois tamanhos de *sliders* criados anteriormente. Estes protótipos continham engrenagens com superfícies de encaixe de maiores dimensões para que a cabeça do *slider* pudesse ser mais comprida. Estas alterações tinham o objetivo de reforçar o mesmo durante a utilização do módulo. Na base, foi criado um carreiro para a cabeça do *slider*, com o objetivo de evitar que se inclinasse na lateral e, consequentemente, travasse o *slide.* De modo a acompanhar corretamente o carreiro, a cabeça do *slider* passou a conter uma forma que se encaixava e posicionava facilmente. À semelhança dos outros módulos, a solução de encaixe através do uso de ímanes foi replicada, e revelou ser igualmente eficaz (Figuras 51 e 52).

Estes novos protótipos garantiram um nível de qualidade de funcionamento e de usabilidade muito superior aos anteriores e viabilizaram, portanto, a utilização dos módulos como controladores nesta interface híbrida.

4.4.1.5 Controlos de Modulação e Expressão

Os controladores de modulação foram criados com a invenção dos Sintetizadores de Adição ou Subtração (de ondas senoidais), no início do séc. XIX, e eram usados na modulação para a criação de ondas senoidais, imitando assim a sonoridade do órgão de tubos (Vail, 2015). Com a criação da comunicação MIDI e a invenção do sintetizador Roland Jupiter-6 (Sintetizador e controlador MIDI), as formas de interação para modular o som ou adicionar expressividade foram integradas nos controladores tradicionais.

1.ª Etapa

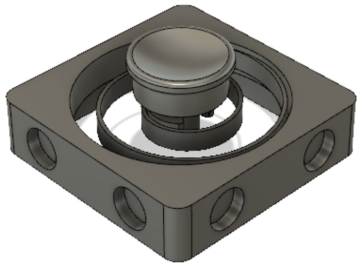


Figura 53. *Joystick* Modelo 3D (1.ª Etapa)

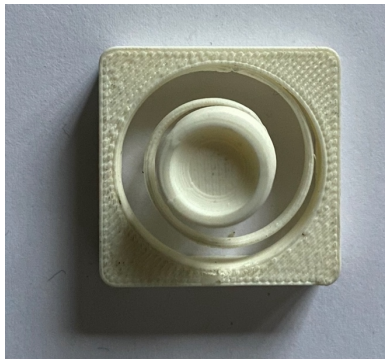


Figura 54. *Joystick* Protótipo (1.ª Etapa)

Nesta primeira etapa criou-se um módulo quadrangular (2,8x2,8cm) com *joystick* (Figuras 53 e 54). Este *joystick* possui uma interação de deslize plano, que se revelou mais eficiente no *touchscreen*, ao contrário de outros *joysticks*, que se servem de movimentos esféricos. Este módulo, à semelhança dos anteriores, é constituído por três partes:

- A base, que permite o encaixe com outros módulos, suporta o *joystick* e garante a fixação na posição certa; esta base contém uma mola impressa em 3D (sendo a

mola e o resto da base uma só peça impressa) em forma de espiral, com o objetivo de criar tensão em todos os ângulos, para que o *joystick* permaneça fixo e retorne (após utilização) à posição central no módulo;

- O suporte, que encaixa no centro da mola, faz o toque com o *touchscreen* e encaixa-se na cabeça do *joystick*;

- A cabeça do *joystick*, com uma superfície boleada, permite a utilização do *joystick* com apenas um dedo.

O teste de utilização com este protótipo permitiu observar que o funcionamento do *joystick* era adequado, a mola era eficaz e criava uma tensão equilibrada em todas as direções, e a área circundante era suficiente para manter a precisão de controlo dos parâmetros. Contudo, o protótipo não possuía ainda estabilidade suficiente durante a sua utilização, pois o *joystick* tendia a inclinar-se lateralmente quando era manuseado.

2ª Etapa

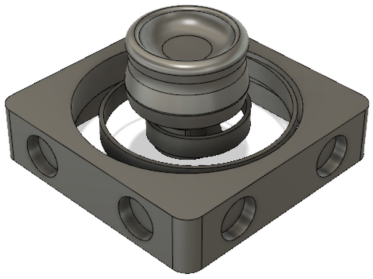


Figura 55. *Joystick* Modelo 3D (2.ª Etapa)

Na segunda etapa, o protótipo criado procurou solucionar os problemas de estabilidade do *joystick* (Figura 55). Neste sentido, foi desenvolvida uma nova cabeça (maior e com o boleado mais profundo) para que passasse a existir uma superfície de contacto superior entre o dedo e a peça. Esta solução permitiu criar mais atrito e, consequentemente, permitiu que fosse exercida maior pressão sobre o *joystick,* garantindo um nível de controlo superior durante a sua utilização. A base do suporte foi também ampliada para garantir um apoio de maiores dimensões sobre o *touchscreen*.

Este protótipo apresentou maior estabilidade ao nível do suporte, mas níveis de estabilidade inferior na cabeça do *joystick.* Para resolver este problema foi desenhada uma peça mais alta que garantiu níveis superiores de estabilidade e de atrito com o dedo.

3ª Etapa

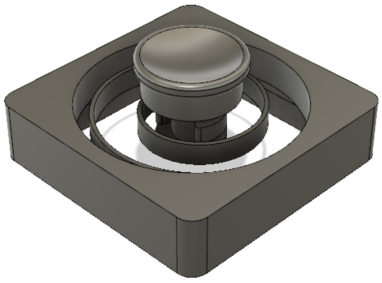


Figura 56. *Joystick* Modelo 3D (3.ª Etapa)

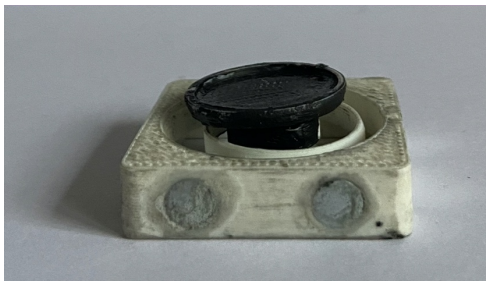


Figura 57. *Joystick* Protótipo (3.ª Etapa)

Na terceira etapa, o protótipo criado repôs a cabeça de *joystick* criada na primeira etapa e manteve o suporte criado na segunda etapa, com o objetivo de proporcionar máxima estabilidade na base do suporte. Na parte posterior do suporte foi utilizado novamente PVC para fazer o toque com o *touchscreen,* dado que o material permite um deslize suave do *joystick*. Este protótipo demonstrou ser funcional e fácil de usar. À semelhança dos módulos desenvolvidos anteriormente, o encaixe dos ímanes deste protótipo foi alterado, de modo a garantir igual sucesso (Figuras 56 e 57).

4.4.1.6 *Drum Pad*

A interação que os *drum pads* oferecem é semelhante à de um instrumento de percussão (*Hand Percussion)*. O batucar com as mãos em objetos e na Natureza foi o primeiro tipo de interação musical do Homem, pelo que não surpreende que vários instrumentos milenares possuam essa forma de interação, como o jembê ou a tabla (Sachs,2006). Os *drum pads* em controladores MIDI, tal como referido no segundo

capítulo, são inspirados nos MPCs (instrumentos de percussão e *sampling*). A sua interação consiste no toque ou batuque de certas áreas sensíveis ao mesmo, tradicionalmente de borracha, que ativam certas notas ou permitem a reprodução de *samples.*

1.ª Etapa

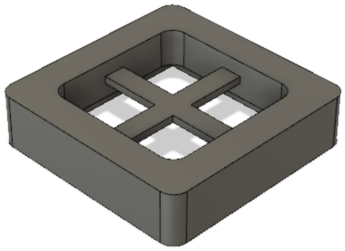


Figura 58. *Drum Pad* Modelo 3D (1.ª Etapa)

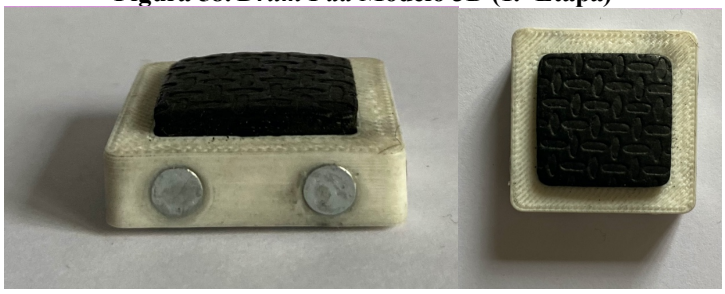


Figura 59. *Drum Pad* Protótipo (1.ª Etapa)

Na primeira etapa do desenvolvimento destes módulos criou-se um protótipo de *drum pad*, semelhante a um MPC. Este módulo é quadrado (2,8x2,8cm) e, embora contenha apenas um *pad* singular, foi desenhado com o objetivo de ser utilizado com outros módulos de *drum pads*, dando a mesma versatilidade de um MPC e acrescentando a possibilidade de modificar o seu *layout* (p. ex. num dispositivo móvel com tela de 5 polegadas seria possível utilizar um *layout* com oito módulos, criando o mesmo número de *pads* que de um MPC portátil) (Figuras 58 e 59).

Este módulo é constituído por 3 partes:

- Duas borrachas condutoras, uma na parte superior, que serve para o utilizador tocar, e outra na parte inferior do módulo que faz o contacto com o *touchscreen* durante a sua utilização;

- A base, que se conecta a outros módulos através dos ímanes e mantém as borrachas em posição, criando suporte central e oferecendo pressão lateral.

As borrachas têm como objetivo recriar o *feeling* de *drum pads* tradicionais, tendo alguma flexibilidade e menos dureza que um *touchscreen*. Acabam também por proteger o *touchscreen* do impacto do batuque, pois embora este módulo contenha um funcionamento simples (de contacto direto, sem necessidade de *slides* ou rotações), requer durabilidade acrescida e a devida proteção.

Após utilização e observação deste protótipo concluiu-se que os módulos possuem níveis satisfatórios de funcionalidade e facilidade de uso, proporcionando uma boa dinâmica.

2.ª Etapa

Na segunda etapa o objetivo principal consistiu na criação de uma alternativa ao primeiro protótipo, mas dimensões inferiores, pois procurou resolver um tipo de interação diferente. Este novo protótipo passou a apresentar metade do tamanho do anterior, embora fosse constituído pelas mesmas partes e funcionasse de igual modo. As dimensões reduzidas deste módulo permitiram funcionar perfeitamente como botão ou *switch.* Esta solução foi desenvolvida com o objetivo principal de ser utilizada em simultâneo com os módulos de teclado, podendo servir, por exemplo, como botão para aumentar ou diminuir uma oitava (Figuras 60 e 61).

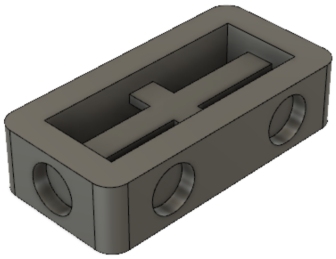


Figura 60. *Drum Pad* Modelo 3D (2.ª Etapa)

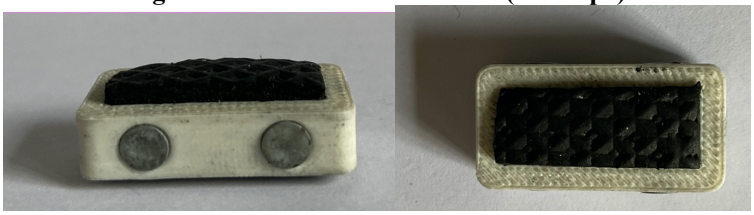


Figura 61. *Drum Pad* Protótipo (2.ª Etapa)

3.ª Etapa

Na terceira e última etapa, os protótipos das iterações anteriores foram aperfeiçoados na sua conexão com outros módulos, o que resultou num sistema melhorado de encaixe dos ímanes, tal como aconteceu no desenvolvimento dos módulos anteriores (Figuras 62 e 63).

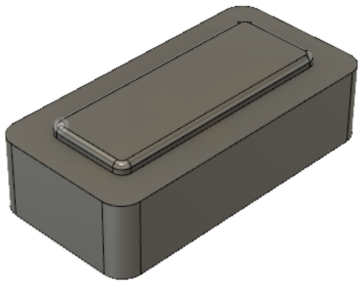


Figura 62. *Drum Pad* Modelo 3D (3.ª Etapa)

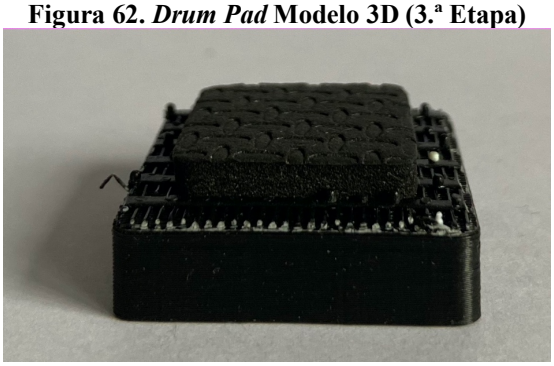


Figura 63. *Drum Pad* Protótipo (3.ª Etapa)

4.4.2 Interface *Touchscreen*

Nas secções anteriores foi desenvolvido o processo de desenho e criação do sistema modular, tendo sido esse o sistema aplicado na conceção das peças TUI. Esse processo de desenvolvimento obedeceu a certas *guidelines* (de dimensões e formas), e compreendeu várias fases.

Nesta secção será então desenvolvido o processo seguinte, o do desenvolvimento da aplicação para dispositivos móveis que permite a funcionalidade das peças TUI, criando assim uma interface híbrida. É possível dividir este processo em duas partes simbióticas entre si: a interface gráfica, sendo a parte *front-end* da aplicação; e as ferramentas e *back-end*, contendo o funcionamento de comunicações (E. ex: mensagens MIDI) e atributos que a aplicação deverá conter.

4.4.2.1 Interface Gráfico

Uma interface híbrida contém um tipo de interação peculiar e, por isso, difere na sua utilização, pois neste caso o utilizador não está em contacto direto com o *touchscreen*, mas com uma interface intermediária, através de peças TUI. Sendo preciso que os dois tipos de interfaces sejam usados simultaneamente e que se unam em um só, existem desafios no seu desenvolvimento: o contacto correto das peças TUI na área certa do *touchscreen* e a correspondência das medidas das peças na interface gráfica.

Neste projeto, para o desenvolvimento de um protótipo, usou-se o smartphone Huawei P8 Lite (2017)[40], que contém um ecrã de 5,2 polegadas (11,5cm de comprimento e 6,5cm de largura) com uma resolução de 1920x1080. Usando as regras descritas deste sistema modular, um *smartphone* com um *touchscreen* destas medidas poderá acomodar 8 peças modulares quadradas (2,8x,2,8cm). Mantendo as proporções e tamanho real das peças quadradas, uma peça de 2,8x2,8cm (considerando o seu tamanho com 3 casas decimais: 2,875cm) ocupa um espaço de 480x480 pixels. Num *touchscreen* com uma resolução de 2560x1440, mas com o mesmo tamanho de ecrã (5,2 polegadas), a mesma peça ocuparia um espaço de 640x640 pixels. Na figura 64 é possível comparar diferentes exemplos das peças criadas e o espaço que representam/ocupam num *touchscreen* com uma resolução de 1920x1080 pixels.

[40] Huawei. Fonte: https://consumer.huawei.com/pt/ [Acedido a 10/11/19]

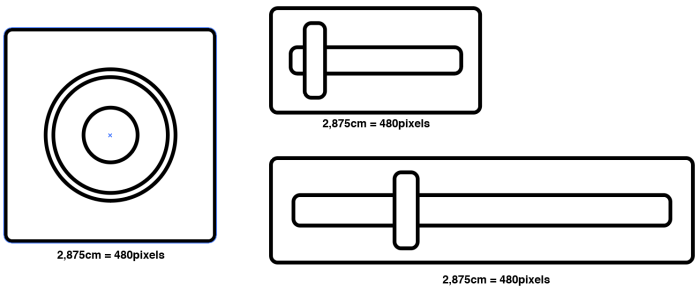


Figura 64. Exemplo do tamanho digital das peças modulares

A conversão feita entre o tamanho das peças reais e o espaço que representam digitalmente não se cinge apenas à sua forma e limites, mas também e com maior importância, à sua forma de interação, ou seja, que tipo de interação (p. ex. rotação, *slide*, *tap*) e que espaço digital é necessário para essa interação. Nas figuras 65 e 66 é possível observar dois tipos de módulos de *knobs*: um maior e singular e outro com dois *knobs* mais pequenos. A engrenagem do primeiro *knob* (que faz o contacto com o *touchscreen*), contém um raio de 9,575mm, o que representa (digitalmente) a resolução escolhida (arredondando sempre para um valor superior nestas interações) de 160 pixels. No módulo com dois *knobs*, cada *knob* contém um raio de 5,75mm que equivale digitalmente a 96 pixels. Também a posição dos *knobs* difere entre módulos. No módulo singular, o *knob* encontra-se numa posição central em relação ao mesmo, sendo a distância do centro até ao limite do módulo de 1,4375cm, o que corresponde digitalmente a 240 pixels. No módulo com os dois *knobs* de menores dimensões, a distância do centro de cada um até aos seus limites é de 9,437mm/158 pixels nos dois lados mais próximos.

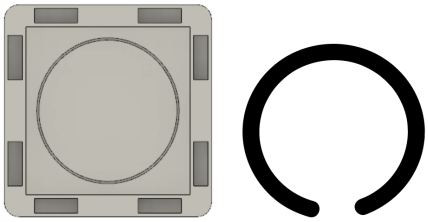


Figura 65. Módulo de *Knob* e a sua representação digital

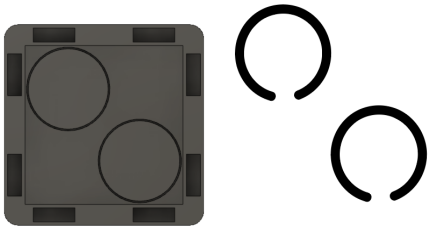


Figura 66. Módulo de *Knob* Mini e a sua representação digital

Nas figuras 67 e 68 estão representados os dois tipos de *sliders* desenvolvidos e a sua representação e interação digital. O primeiro *slider* (de maiores dimensões) contém

uma distância linear de deslizamento (*slide*) de 49,50mm e o segundo (de menores dimensões), uma distância de deslizamento (*slide*) de 20,75mm, o que corresponde digitalmente (dando uma margem de erro de 1 pixel) a 828 pixels e 348 respetivamente. Após o mapeamento dos *sliders* em relação aos valores das mensagens MIDI (0-127), o *slider* de maior comprimento contém um espaço de *slide* de 6 pixels por cada valor MIDI, (durante o movimento do módulo físico); esse valor MIDI (enviado) muda a cada 0,38mm de *slide*. No *slider* mais pequeno, cada valor MIDI contém um espaço de *slide* de 2 pixels (2,7), o que corresponde, no módulo real, a uma mudança de valor MIDI a cada 0,16mm (após utilização e observação dos *sliders*, considerou-se que o tamanho mínimo para cada valor MIDI não poderia ser inferior a 0,1mm) que, comparativamente com o módulo maior, contém menos precisão. O módulo do *slider* de maiores dimensões tem o dobro do tamanho do *slider* menor, no entanto a sua medida linear de *slide* é superior ao dobro do *slide* menor, permitindo um maior controlo sobre cada valor MIDI enviado.
A área de controlo disponível para cada valor MIDI foi um ponto importante na conceção das engrenagens dos *sliders* que tocam no *touchscreen* e em que área das mesmas deve ser condutora. No interface *touchscreen*, o comprimento da cabeça do *slider* é de 21 pixels (para o *software*, apenas os pixeis centrais são considerados para a atribuição de valores MIDI; os restantes funcionam como margem de toque para o utilizador), o que corresponde a 1,2 mm, sendo que o comprimento de toque condutor (e não de toque total, que pode ser maior para aumento de estabilidade) da engrenagem do *slider* em condições perfeitas não deve exceder 1mm.



Figura 67. Módulo de *Slider* e a sua representação digital



Figura 68. Módulo de *Slider* Mini e a sua representação digital

No módulo do *joystick* (Figura 69), a interação não se limita a um movimento só (p. ex. de rotação ou *slide*): o utilizador possui a liberdade de executar movimentos rotativos, em espiral, em *zig-zag*, entre outros, desde que esses movimentos sejam dentro da área da circunferência do módulo do *joystick*. Este módulo não tem como objetivo a precisão de controlo, mas a expressividade e dinâmica com que se executa o mesmo. Os seus valores de controlo não são fixos, ou seja, após utilização o *joystick* voltará sempre à sua posição central, servindo apenas para controlos momentâneos de um ou dois parâmetros. A circunferência do módulo tem um diâmetro de 2,475cm, mas deixando uma margem, o diâmetro de movimento possível do *joystick* é menor (contém 2cm o que digitalmente se converte nesta interface em uma circunferência de 334 pixels de diâmetro). Para ser possível controlar dois parâmetros em simultâneo com o *joystick,* o mesmo está dividido em dois eixos (X e Y, relativos aos eixos horizontal e vertical respetivamente) que garantem o sistema de coordenadas necessário. Cada eixo controla um parâmetro, com valores MIDI de 0-127, sendo atribuídos 2 pixels por cada valor.

Assim, é possível num só movimento controlar dois parâmetros e enviar dois valores MIDI simultaneamente dentro dos limites da grelha de coordenadas. Em relação aos outros controladores, este tem o benefício de conseguir controlar dois parâmetros, mas com a limitação de não poder executar valores extremos em ambos simultaneamente, sendo as coordenadas 0,0 ou 127,127 impossíveis de alcançar. Para solucionar este problema é possível reduzir a grelha de coordenadas de forma a que fique dentro dos limites da circunferência, reduzindo, porém, a precisão de controlo.

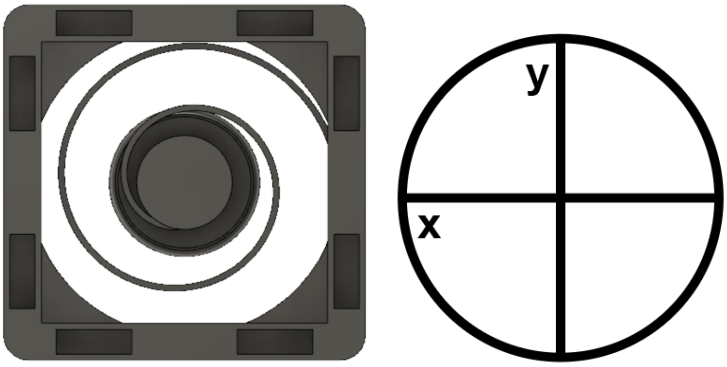


Figura 69. *Joystick* e a sua representação digital

Na figura 70 estão representados os *drum pads* e botões que, física e digitalmente possuem o mesmo tipo de interação de toque, mas com objetivos diferentes. No caso dos *drum pads*, a área de toque física é de $2cm^2$ e de 334 $pixels^2$ em termos digitais, ou seja, a área total de toque do utilizador corresponde diretamente à área total de toque no *touchscreen*; o mesmo acontece com os *pads*-botões, que têm uma área física de $190mm^2$ correspondem a 3172 $pixels^2$ em termos digitais.

Estes tipos de *pads* podem executar diferentes funções digitalmente. Tradicionalmente os *drum pads*, assim como as teclas de piano, ativam mensagens de notas MIDI, ao contrário dos outros controladores que ativam controlos MIDI. Estas notas MIDI podem executar sons de qualquer instrumento, mas são comummente utilizadas em instrumentos de percussão digitais ou em *samplers* digitais, no entanto este não é o seu único uso possível, pois os *drum pads* podem ser usados do mesmo modo que os outros controladores, no sentido em que não controlam *noteOn* e *noteOff* de um som, mas sim os efeitos que se apliquem ao mesmo; por exemplo, podem ser utilizadas como *switch* de um determinado efeito, ligando e desligando o mesmo, ou podem incrementar ou decrementar o valor do mesmo (por cada toque) se, por exemplo, for utilizado em módulos pares para o mesmo efeito digital. Os *pads*-botões foram desenvolvidos para primeiramente servir esse propósito, de controlo de algum parâmetro, como a oitava do teclado, onde um *pad* serve para subir a oitava e outro para descer; neste exemplo estes *pads* são usados com uma relação direta ao módulo do teclado ou a outro módulo que controle notas MIDI. Para uma interação que permita mais expressividade e dinamismo, os *pads* poderão ser divididos em áreas de toque digital, ou seja, com o mesmo módulo de *drum pad* é possível ativar diferentes notas consoante a área que se toque no mesmo, sendo assim possível criar o realismo e dinamismo sonoro de, por exemplo, uma tarola, que simplificando e dividindo as áreas, contêm um som central, outro na área das bordas e outro no aro da mesma. Esta dinâmica pode ser sintetizada nestes módulos da mesma

forma que as baterias eletrónicas o fazem, podendo dividir as áreas de forma rígida e bem delimitadas ou numa espécie de degradê sonoro em que não existe fronteiras fixas.

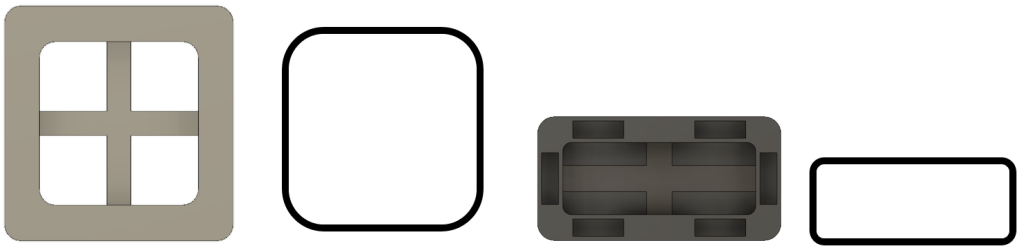


Figura 70. *Drum pads* e as suas representações digitais

Os *drum pads* têm um funcionamento semelhante às teclas de piano, representadas na figura 71: ativam notas ao serem tocadas e servem como *switch noteOn* e n*oteOff*. A ponta do martelo, em borracha, é retangular com 1,43cm de comprimento e 0,5cm de largura, o que corresponde nesta interface digital a 240px de comprimento e 84 de largura. O espaçamento dos martelos entre si é de 4mm (fisicamente) e de 69px (digitalmente). Uma oitava neste teclado tem a largura fixa de 1,43cm, mas o seu comprimento total (do conjunto de martelos correspondentes às 12 teclas) é de 11,3cm, o que corresponde, do ponto de vista digital, a 1886px; assim, um *touchscreen* de *smartphone* com 5,2 polegadas poderá albergar uma oitava e um *touchscreen* de tablet com 10,2 polegadas poderá albergar duas oitavas.

Neste protótipo, desenvolvido em ambiente Android, o seu *software* não possui uma tecnologia de *force touch*, sendo a força aplicada no *touchscreen* medida através da área tocada. Tendo em conta que a medição da velocidade é uma característica importante num teclado MIDI, e que a velocidade é um dos valores tipo da mensagem MIDI de *NoteOn* e *NoteOff*, é importante criar uma forma de medir a velocidade (com o protótipo desenvolvido) ou manter uma velocidade constante de 64 (sendo este o meio da escala de valores MIDI, mas retirando assim toda a expressividade que os valores de velocidade permitem).

O tamanho dos martelos do teclado construídos determinou que a área digital de toque para cada nota fosse de 16560px. Os martelos têm forma triangular na sua ponta, fazendo com que o aumento de força durante o uso da tecla resulte numa área maior de toque no *touchscreen*; assim, o valor de velocidade 0 corresponderá à ausência de toque e o valor máximo de 127 corresponderá ao toque total da área da nota. Mas esta conversão poderá não ser linear, pois para uma interação mais dinâmica e realista, a conversão de área tocada e valor MIDI deverá ser exponencial, variando mais o valor MIDI em pequenos aumentos de áreas iniciais e menos quando perto de atingir o toque total da área.

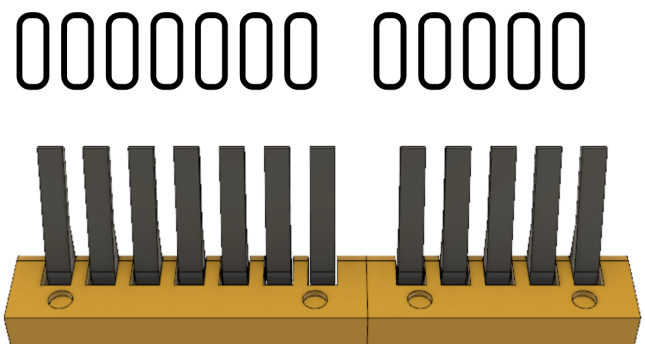


Figura 71. Martelos do teclado e a sua representação digital

4.4.2.2 Ferramentas e Back-End

O protótipo a ser testado foi desenvolvido para o sistema Android[41]. Esta aplicação foi desenvolvida em Processing, sendo esta uma livraria de código usada na linguagem JAVA (a linguagem oficial do sistema Android). Para a programação da aplicação foi utilizado o ambiente oficial de Processing[42], o PDE (*Processing Development Environment*), dado que este *software* permite a instalação e uso de livrarias e ferramentas de modo facilitado, no entanto é pela sua funcionalidade (p. ex. de usar vários modos de programação) que se torna indispensável para este projeto. O PDE possui a opção (através dos diferentes modos de programação) de implantar *sketches* em diferentes plataformas, e de programar de formas diferentes, tendo sido utilizado o seu modo Android neste projeto. Este modo permite desenvolver facilmente código para o sistema Android, sendo igualmente fácil o uso de sensores dos dispositivos móveis e dos API da Android, e o processo de *debugging,* exportando para os *sketches* como uma aplicação assinada, pronta para ser feito *upload* numa loja digital, por exemplo.

Juntamente com este modo Android, que por si já permite muitas opções dentro do sistema Android, foi usado o API 2, que contém o pacote Android MIDI, sendo este um conjunto de classes que permitem enviar e receber mensagens usando os protocolos MIDI via USB, *bluetooth* e entre *apps* no próprio dispositivo Android. Através destas classes, foi possível desenvolver uma aplicação que consegue utilizar os 16 canais possíveis em MIDI e identificar que dispositivos estão disponíveis, isto é, conectados ao dispositivo móvel, e que poderão ser conectados à aplicação.

O *software* desta aplicação protótipo foi, também ele, desenvolvido de forma modular, tendo sido criadas classes para cada peça TUI que permitissem um elevado grau de personalização no futuro. Estas classes foram desenvolvidas através das ferramentas de GUI do Processing e do pacote MIDI da Android, contendo não só comandos do seu funcionamento e aparência visual, como do seu funcionamento de comandos MIDI.

---

[41] Processing. Fonte: https://processing.org [Acedido a 10/11/19]
[42] Android, Developers. Fonte: https://developer.android.com [Acedido a 10/11/19]

Exemplo de uma classe, o do *knob*, ou *radial slider*.
A definição da classe:

```
class Rslider {
  float x1,y1,size,d1,dx,dy,angle1, angle2,angle3,controlo;
  int value,value2,canal;
    Rslider (int xx, int yy, int ll,int cc) {
   x1 = xx;
    y1 = yy;
    size = ll;
    canal = cc;
  }
```

O *update* da interação da classe (que é executado a cada *frame*) é, neste caso, executado 30 vezes por segundo. Esta parte do código contém a interação do utilizador com o *knob*, a comunicação MIDI e a aparência gráfica do *knob* fornecendo *feedback* visual.

```
void update() {
  strokeWeight(60);
  d1 = dist(mouseX, mouseY, x1, y1);
  if( d1 < (size/2)+15 ) {
 dx = mouseX-x1;
    dy = mouseY-y1;
  angle1 = atan2(dy, dx);

  float dx2 = x1-mouseX;
  float dy2 = y1-mouseY;

  if (angle1 < 100 ){
  angle2 = atan2(dy2, dx2) + PI - angle1 ;}
 else { angle2 = 0;

}
if (value2 != value) {
 sendMidi(0xB0,canal,value);
 value2 = value;
}
}
angle3 = angle1 + angle2;
if (angle1 > radians(0) && angle1 < radians(80) ){
  angle3 = angle3 + (PI*2)  ;}

noFill();
stroke(75, 150, 255);

 arc(x1, y1, size, size, radians(100),angle3);
 stroke(75, 0, 255);
 arc(x1, y1, size, size, angle3-radians(0.5) ,angle3+radians(0.5));
 controlo = map(degrees(angle3), 100, 440, 0, 127);
 controlo = round(controlo);
 if( controlo < 0 ) {
   controlo = 0; }
 stroke(0);
  fill(0);
  textAlign(CENTER,CENTER);
  textSize(72);
  text(value,x1,y1);
  value = round(controlo); }
```

4.5 Exploração de diferentes interações musicais

Neste projeto foram desenvolvidos 8 tipo de módulos (protótipos) com interações semelhantes aos controladores analógicos mais populares no mercado, como *proof of concept* e com o objetivo de serem validados através de uma avaliação. Porém, as interações dos módulos não são limitadas a estes 8 tipos. Usando o mesmo sistema modular e as suas *guidelines* é possível criar novos tipos de interações; estas podem ser semelhantes a controladores existentes ou podem ser completamente originais.

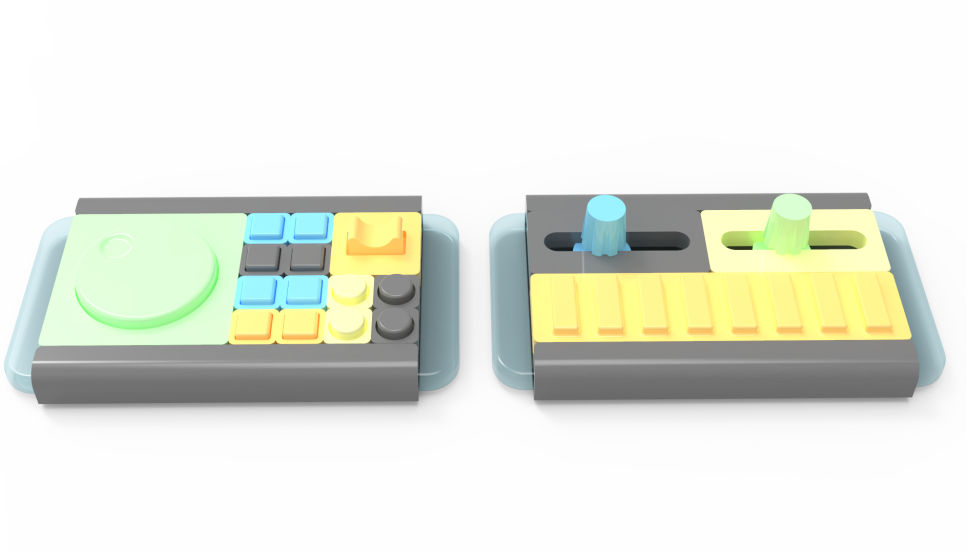
A figura 72.A, apresenta 3 tipos de módulos:

O primeiro é um *knob*, que comparativamente com o *knob* desenvolvido no projeto possui uma dimensão 4 vezes superior. Este tipo de *knob* pode ser utilizado para controlar certos parâmetros gerais (p. ex. o *Master Volume*) ou pode ser utilizado em interações mais específicas (p. ex. numa mini mesa de DJ Digital).

O segundo módulo é um *stick* de expressão, semelhante ao que foi utilizado no instrumento digital Nord Stage 3[43], que permite a modulação e expressão de notas e é tradicionalmente usado com um teclado.

O terceiro e último módulo é composto por botões. Os módulos supramencionados possuem as menores dimensões possíveis no sistema modular criado e a sua interação é adequada para serem utilizados como *switches*.

Na figura 72.B, estão representados dois tipos de módulos que não são inspirados em controladores existentes, pois possuem interações originais: o primeiro, possui uma interação inspirada na mistura de um *knob* com um *slider*; assim, este módulo permite o controlo de dois parâmetros (por *slide* reto e por rotação); o segundo é composto por um conjunto de áreas de toque, semelhantes a *drum pads*, que pode ser usado como *switch* ou para ativar notas.



A **B**

Figura 72. A. Modulo *Knob* Aumentado, *Stick* de Expressão e Botões; B. *Knob Slider* e Teclado *Drum pad*

[43] Nord. Fonte: https://www.nordkeyboards.com [Acedido a 10/11/19]

4.6 Personalização: Ergonomia e Estética

A criação dos módulos deste projeto não está associada a qualquer tipo de limitação ao nível da personalização, ou seja, todos os módulos podem ser permanentemente modificados pelos seus utilizadores. No início deste capítulo foram referidas algumas das vantagens de personalização que este sistema modular oferece, sendo a mais direta e rápida a personalização de *layout*. Esta mudança de *layout* pode resultar de uma necessidade específica em termos ergonómicos (p ex. para se adaptar a utilizadores destros ou esquerdinos), ou poderá ser apenas uma preferência de estética ou organização (p. ex. divisão de áreas de controlo para diferentes instrumentos digitais). A personalização dos módulos, em termo de interação e ergonomia, não se limita ao *layout*, sendo possível realizar diferentes tipos (e níveis) de personalização. Os *knobs* podem, por exemplo, ser personalizados ao nível das cabeças (Figura 35), com diferentes formatos e dimensões (sem afetar o mecanismo e o funcionamento dos módulos).

A personalização de certas partes de cada módulo é, portanto, possível e desejável, sempre que se procurar fazer ajustes de caráter ergonómico, para se tornarem mais adequados aos utilizadores. Esta possibilidade é uma vantagem, pois permite melhorar a usabilidade dos módulos e a experiência do utilizador, garantindo acessibilidade máxima e inclusão.

As capacidades mentais e físicas dos utilizadores poderão variar (p. ex. algum tipo de deficiência) sendo a personalização dos módulos um aspeto imprescindível para satisfazer necessidades específicas: a personalização poderá ser feita, nestes casos, peça a peça, de modo a adaptar-se corretamente às exigências de cada utilizador, seja através de áreas de contacto superiores nos *knobs*, ou de saliências e alavancas específicas (Figura 73). Estes módulos podem ainda ser adaptados para a utilização com outros acessórios. No caso de a personalização dos módulos existentes não ser suficiente, este sistema modular admite ainda o desenvolvimento de módulos originais, desde que devidamente adaptados ao seu sistema de grelha. A personalização dos módulos poderá ser feita também ao nível da cor, textura e tipo de material (figura 73), para facilitar a organização dos controladores (p. ex. para associar uma cor a um instrumento digital ou nota musical) ou por questões estéticas.

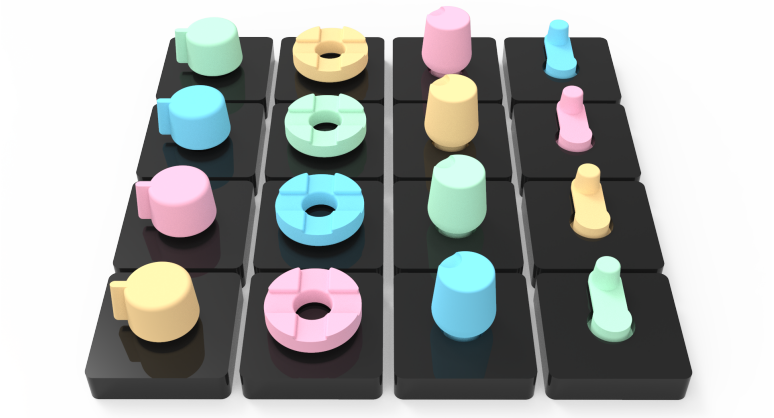


Figura 73. *Knobs* com diferentes cabeças e cores

4.7 Arte e Design

Os controladores criados neste projeto foram desenvolvidos num contexto musical, no entanto não se restringem ao mesmo: as capacidades de controlo desenvolvidas podem ser aplicadas noutras áreas, nomeadamente na Arte e no Design. Na ilustração digital e no design gráfico, por exemplo, são utilizados *softwares* de edição e criação vetorial (p. ex. Adobe Illustrator[44]) e de edição de imagem (p. ex. Adobe Photoshop[45]) que necessitam de algum tipo de controlo sobre certos parâmetros, como cores ou ferramentas. Na fotografia e filmografia são usados programas de edição de imagem e edição de vídeo (p. ex. Adobe Premiere[46]) que também precisam de controlo, de efeitos e posicionamento das imagens.

No mercado atual é possível encontrar alguns produtos que têm como objetivo agilizar e facilitar o controlo deste tipo de *softwares* (p. ex. Palette Controller; Loupe Deck[47]); estes controladores permitem regular qualquer tipo de parâmetro digital com uma interação analógica; mas, como acontece com os controladores MIDI tradicionais, estes também possuem um custo elevado, não sendo acessíveis a todos os consumidores.
Os controladores desenvolvidos podem, por sua vez, adaptar-se facilmente a todo o tipo de contexto, nomeadamente de arte digital e design (Figura 74), tirando partido de interações semelhantes às do contexto musical para controlar este tipo de *software.*

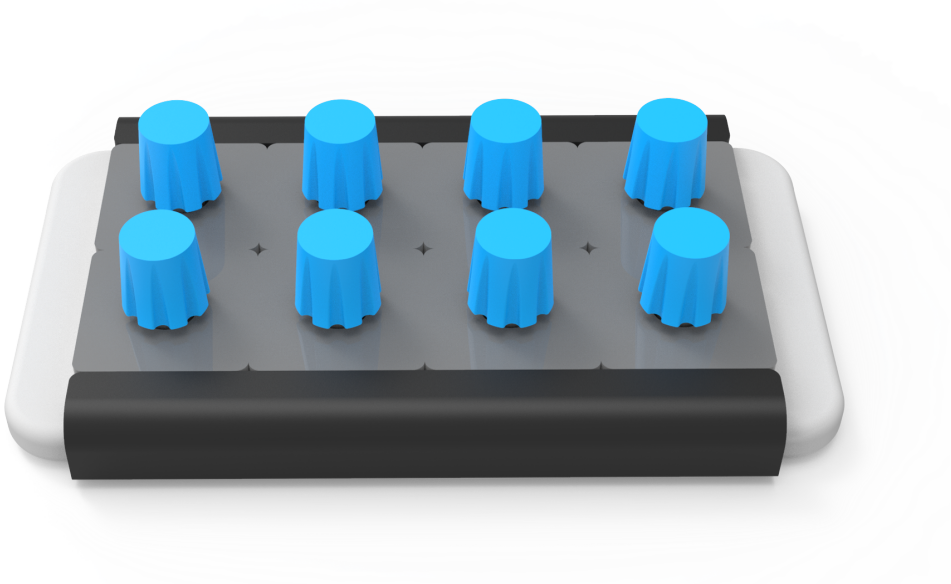


Figura 74. Conjunto de *Knobs*

[44] Adobe, Adobe Illustrator. Fonte: https://www.adobe.com/pt/products/illustrator [Acedido a 10/11/19]
[45] Adobe, Adobe Photoshop. Fonte: https://www.adobe.com/pt/products/photoshop [Acedido a 10/11/19]
[46] Adobe, Premiere. Fonte: https://www.adobe.com/pt/products/premiere [Acedido a 10/11/19]
[47] Loupe Deck. Fonte: https://loupedeck.com/en [Acedido a 10/11/19]

4.8 Gaming

Este sistema modular poderá ser utilizado no contexto dos videojogos, nomeadamente para controlar funções específicas de jogos em dispositivos próprios ou remotamente. Existem no mercado produtos de controlo de jogos que são, geralmente, comandos de jogos (p. ex: Ipega-9167[48]) ou teclados mecânicos portáteis (p. ex: Razer Tartarus V2[49]); estes dispõem, geralmente, de tecnologia eletrónica e digital avançada e, por essa razão, podem possuir um preço elevado. Com este sistema modular é possível criar soluções com o mesmo tipo de interações e custos inferiores; pelo facto de ser altamente personalizável, este sistema é também mais versátil. A figura 75 apresenta dois exemplos de como poderá ser este sistema adaptado às necessidades de controlo de um jogo: um comando modular (cujo *layout* é personalizável), e um teclado mecânico.

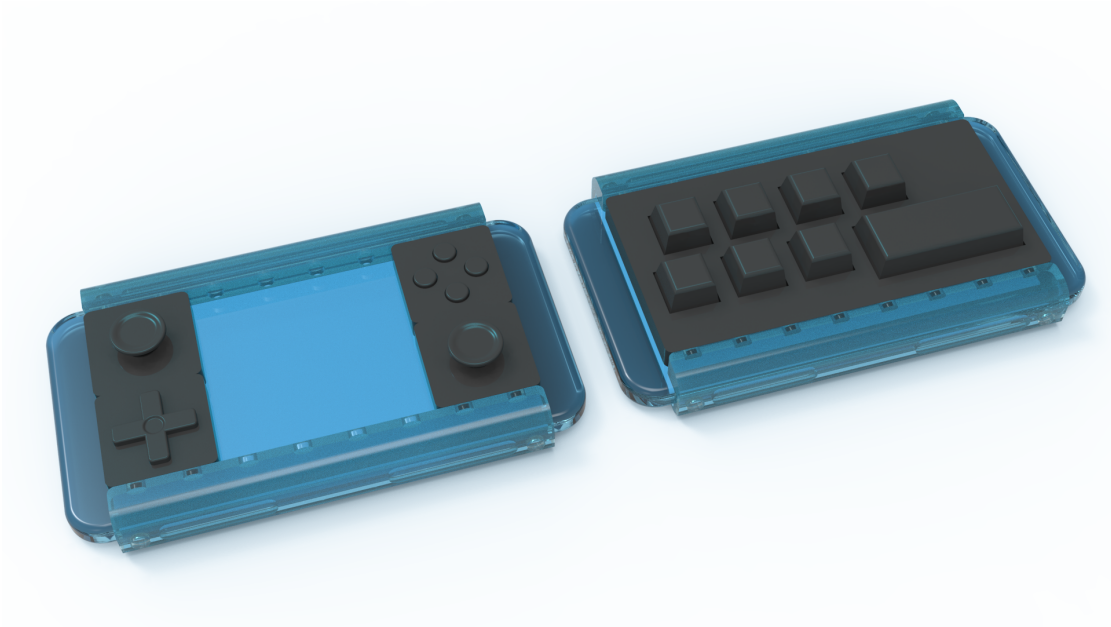


Figura 75. Exemplo de módulos "Comando de Jogos" e módulos "Teclado Mecânico"

[48] Ipega, Ipega-9167. Fonte: http://ipega.hk [Acedido a 10/11/19]
[49] Razer, Tartarus V2. Fonte: https://www.razer.com/gaming-keyboards-keypads/razer-tartarus-v2 [Acedido a 10/11/19]

4.9 Crianças

Estes módulos podem, como se viu anteriormente, ser adaptados a diferentes contextos e necessidades. As crianças são, por exemplo, possíveis utilizadores destes controladores, e poderá ser necessário criar certo tipo de acessórios ou modificações com o objetivo de tornar os módulos mais divertidos de usar. Para alguns utilizadores, o contacto musical poderá começar em criança, numa fase da vida em que a forma de interagir e percecionar o mundo é diferente da perspetiva da fase adulta, pelo que tornar a interação musical num tipo de *gamification* e, consequentemente, mais apelativa para esta faixa etária, poderá incentivar o interesse pela música ou outras áreas.

Os módulos podem ser adaptados para funcionarem com peças modulares em blocos (Figura 76), à semelhança do sistema Lego[50]; assim as crianças poderão construir os seus próprios controladores e personalizar a sua interação consoante o seu interesse e imaginação.

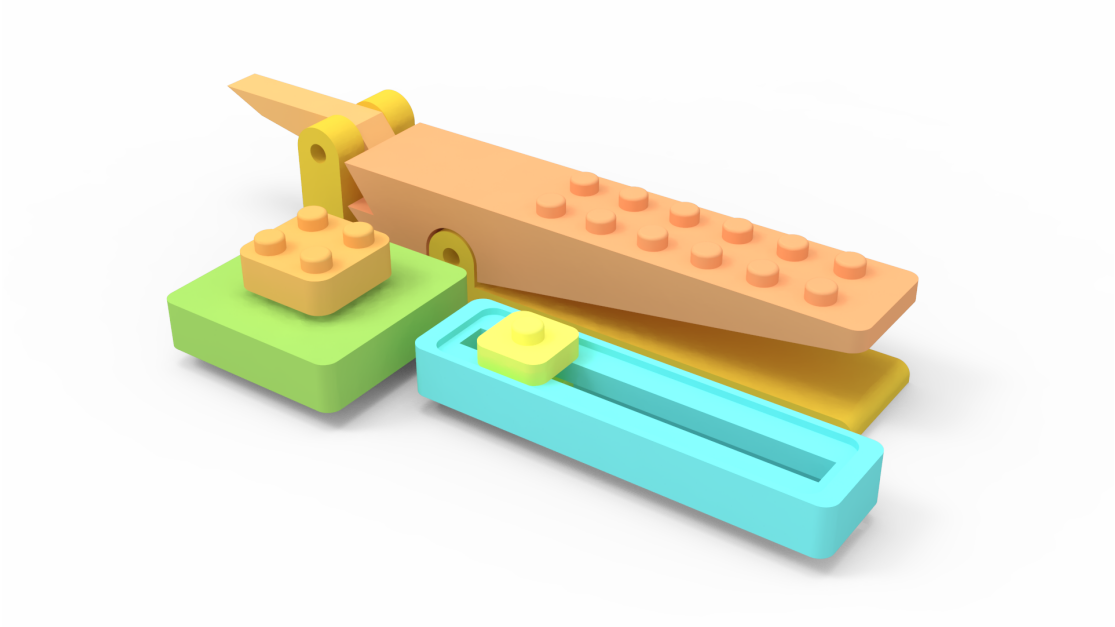


Figura 76. Exemplo de módulos com encaixes para brinquedos de blocos

[50] LEGO. Fonte: https://www.lego.com [Acedido a 10/11/19]

4.10 Identidade: Mula Controllers

Mula Controllers, o nome atribuído aos controladores desenvolvidos, surgiu de uma necessidade de identificação e comunicação do projeto durante o seu desenvolvimento (p. ex. na apresentação do projeto no evento ergoUX 2019[51]), não sendo um objetivo inicial do mesmo. A palavra "*Mula*" nasceu da necessidade de a marca exprimir adaptabilidade (através da sua modularidade) e hibridez (entre o mundo digital e analógico). "*Mula*" é, à semelhança do mamífero híbrido, o nome ideal para descrever este sistema de controladores: versátil e robusto, ou seja, capaz de incorporar vários módulos e de se adaptar a diferentes contextos.

Para a identidade foi criado um conjunto de elementos e um logótipo (Figuras 77 e 78). Estes elementos foram inspirados nas formas modulares dos controladores, representando desta forma a sua diversidade. O logótipo foi criado através do uso e posicionamento estratégico desses elementos, formando uma tipografia e a formação da palavra "Mula". O logótipo assume quatro variantes de cor, consoante o tipo de controladores: azul para controladores musicais; laranja para controladores de arte digital e design; verde para controladores de jogos; e amarelo para controladores educativos (Figura 79).

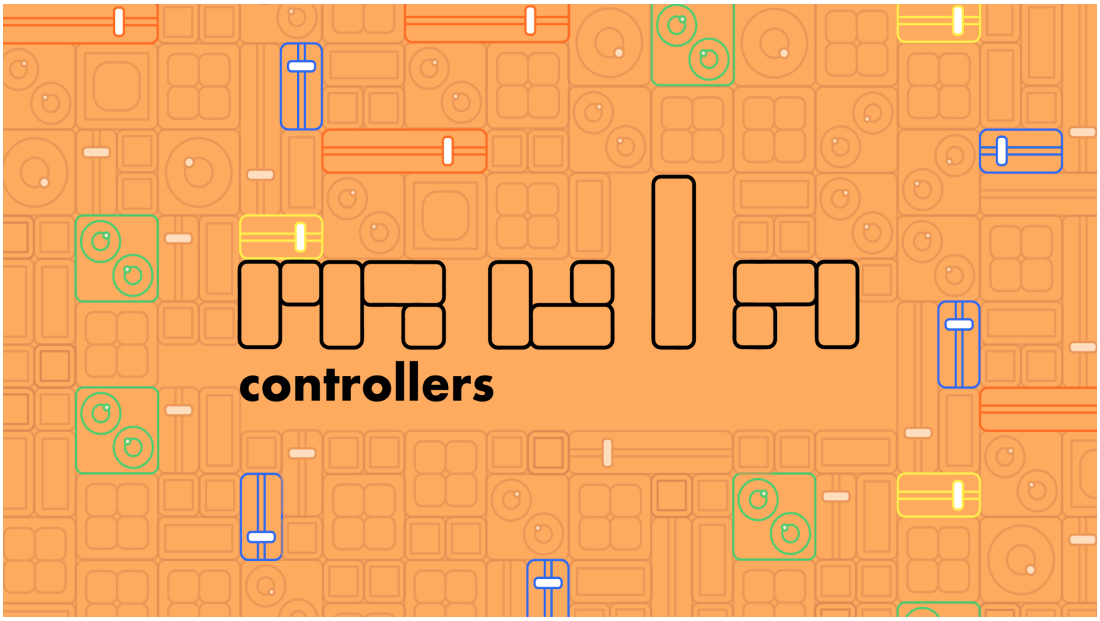


Figura 77. Mula Controllers e Elementos Visuais

[51] ErgoUX. Fonte: http://www.ergoux.pt/programa.html [Acedido a 10/11/19]

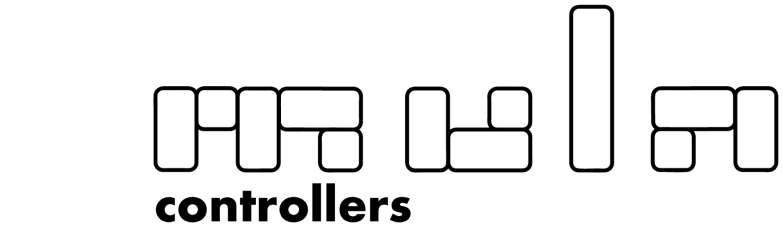


Figura 78. Mula Controllers

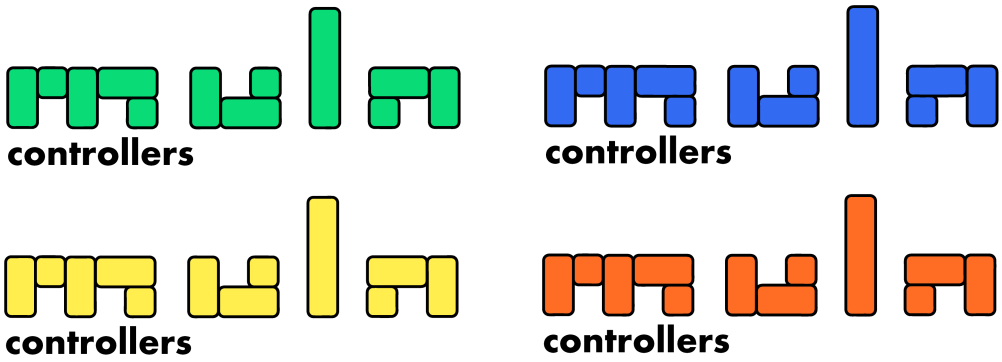


Figura 79. Mula Controllers, Variante de Cores

5. Avaliação, Resultados e Análise

5.1 Teste de funcionalidade

Como foi referido no capítulo de Metodologias, o teste de funcionalidade foi executado de forma a comparar as 3 interfaces (Analógico, *Touchscreen* e Híbrida). Nesta interface foi utilizada a *app* da interface híbrida (com e sem as peças modulares) e um controlador MIDI analógico, o Akai MPK mini2, por ser um dos controladores mais populares no mercado. Para a criação deste teste foi necessário desenvolver um *software* que conseguisse receber e ler mensagens MIDI de qualquer controlador.

No desenvolvimento deste *software*, tal como na aplicação da interface híbrida, foi usada a linguagem de programação de Processing (JAVA) na sua versão *desktop* e, para receber e processar as mensagens MIDI, foi utilizada a livraria de programação MIDIBus[52].

O *software* usado é composto por 10 controladores: 1 *Joystick*; 2 *Sliders* Mini; 2 *Knobs* Mini; 1 *Knob*; 1 *Slider*; 2 *Pads*; 1 Teclado. Cada teste englobou dez tarefas, sendo repartidas pelos respetivos controladores (Figura 80). As tarefas dão início após o botão de "*Start*" ser clicado, um dos controladores é selecionado pelo *software* e para cada controlador é pedido um valor, sendo o objetivo do participante chegar a esse valor com o respetivo controlador (p. ex. após clicar no botão *start*, o controlador *Knob* é selecionado, o valor pedido é 50 e o cronómetro é ativado (Figura 81). Após o participante usar o respetivo *knob* para chegar a esse valor, o tempo para e a tarefa termina. Para iniciar uma nova tarefa deverá ser clicado primeiro "*Stop*" e depois "*Start*". O valor pedido para cada controlador varia com o seu tipo, no entanto para os *Pads* é pedido sempre o mesmo valor. Controladores como os *knobs* e *sliders*, que controlam uma variável de 0 a 128 (embora no *software* os valores pedidos estejam limitados a uma escala de 40 a 70, com o objetivo de não criar grandes discrepâncias de valores entre tarefas) é pedido um valor na sua escala. Para o *Joystick,* por possibilitar o controlo de duas variáveis simultaneamente, navegando em duas coordenadas (X e Y), é pedido dois valores, que têm de ser atingidos simultaneamente para se concluir a tarefa. No teclado, por possuir várias teclas, são pedidos três valores, representando cada valor uma tecla (Figura 82).

Por cada tarefa terminada são gravados os seguintes dados: Número de Participante; Tipo de Controlador; Valor Pedido; Tempo da Tarefa; Precisão do Valor Recebido.

5.2 Questionário

O questionário é composto por dois tipos de escalas de análise: a SUS (*System Usability Scale*) e a NASA *Load Task Index* e por outras questões pertinentes acerca da experiência do utilizador e da sua interação com o protótipo desenvolvido (Figura 83).

[52] Small But Digital, The MIDIBus. Fonte: http://www.smallbutdigital.com/projects/themidibus/ [Acedido a 10/11/19]

A SUS, criada por John Brooke em 1986, é uma ferramenta de medição de usabilidade que permite a avaliação de uma variedade de produtos e serviços, desde objetos de *hardware* a aplicações móveis. Esta ferramenta consiste num questionário composto por uma série de questões, com 5 respostas possíveis dentro de uma escala de "Discordo Totalmente" a "Concordo Totalmente". O seu uso permite uma fácil aplicação em qualquer contexto independentemente do número de participantes, sendo escalável, permitindo ainda assim dados concretos e válidos sobre a usabilidade de um sistema.

A NASA Load Task Index é uma ferramenta para avaliar a demanda total necessária para efetuar uma tarefa e foi desenvolvida pela equipa Human Performance Group no centro de pesquisa da NASA. Este questionário é subjetivo (depende do participante), é composto por 6 questões divididas pelos seguintes grupos: Esforço Mental; Esforço Físico; Demanda Temporal; Performance; Empenho; Frustração (Young et al, 2015).

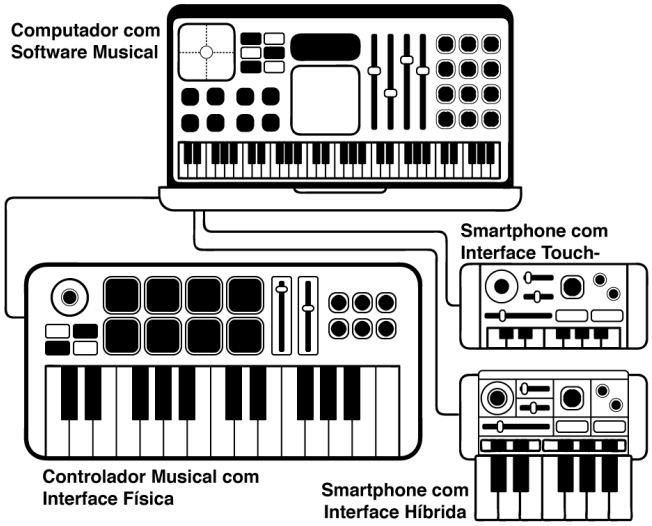


Figura 80. Teste de Funcionalidade

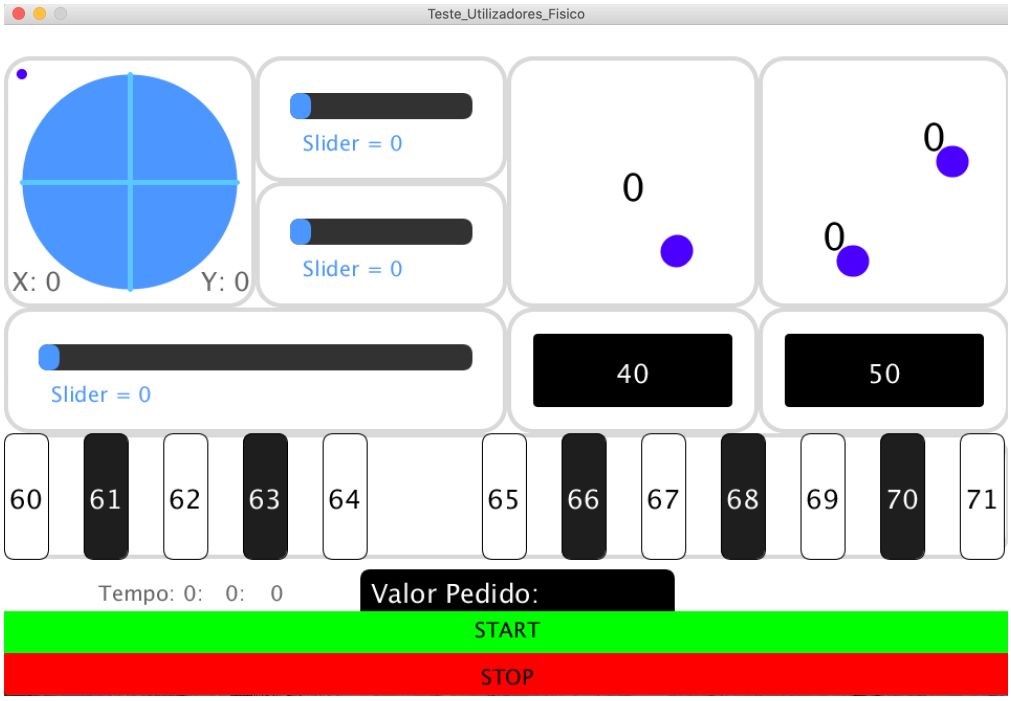


Figura 81. Interface do *software* de teste de funcionalidade

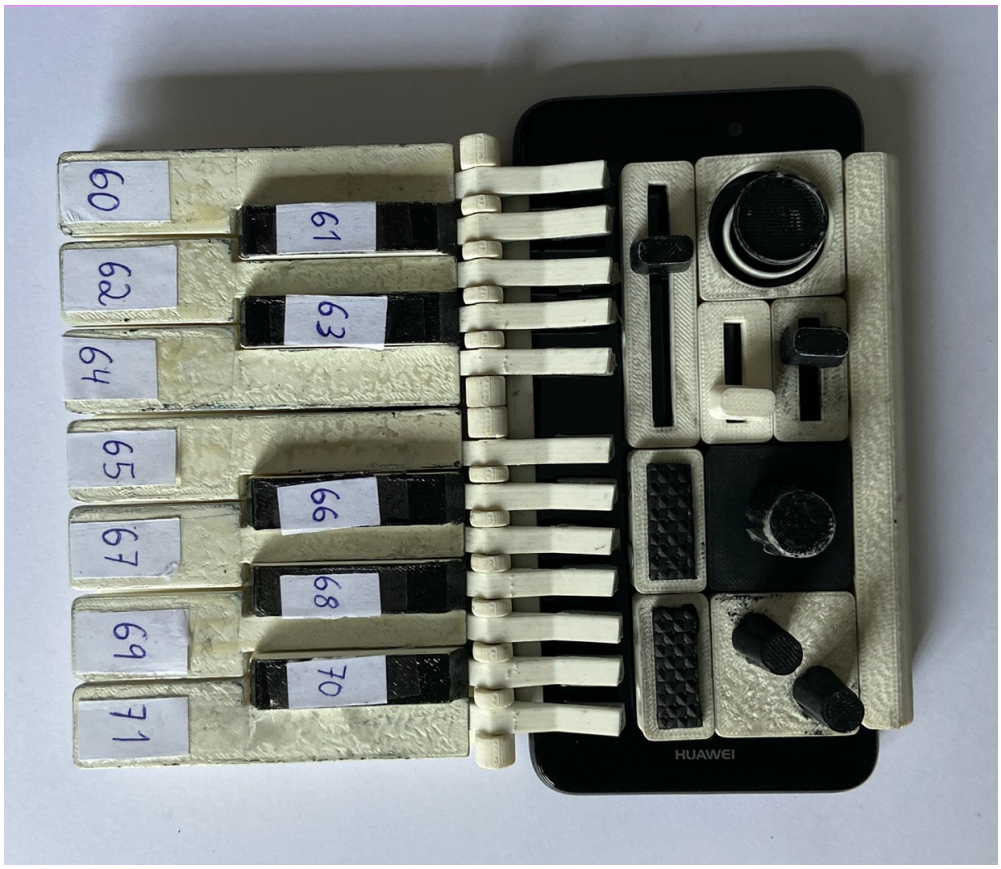


Figura 82. *Layout* de Interface Híbrida de Teste

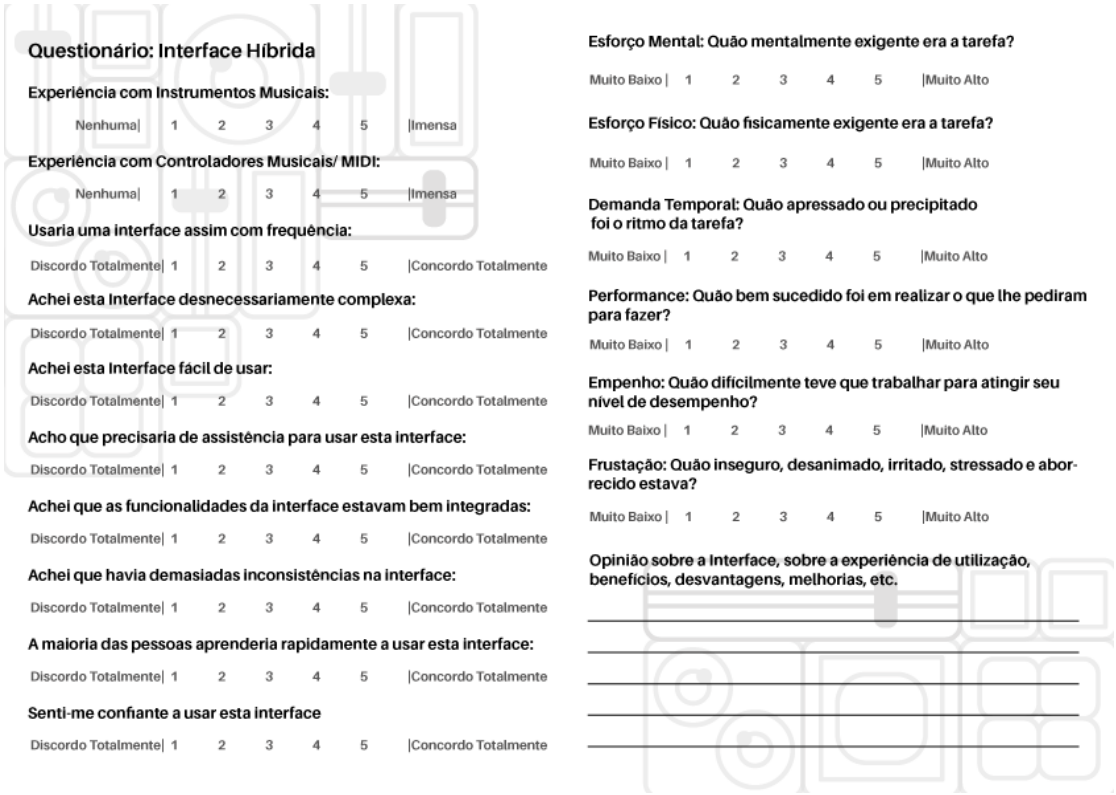


Figura 83. Questionário

5.3 Análise de Resultados

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos na fase de testes da proposta de solução e a sua análise. Na avaliação dos protótipos da proposta desenvolvida foram contemplados os dados de um total de 30 participantes, com diversas experiências a nível musical e com controladores MIDI, desde amadores a profissionais. Os participantes encontravam-se no intervalo de idades entre os 18 e 35 anos e tanto podiam ser do sexo masculino ou feminino. Esses elementos genéricos não foram efetivamente considerados para análise, por não se justificarem enquanto elementos decisivos para os resultados. Os resultados foram divulgados na conferencia CISTI'2019 (Beringuilho e Martins, 2019), na sequência da publicação do *short paper* "Interface de Controlador MIDI Háptico em Dispositivos *Touchscreen*", por Gonçalo Beringuilho e Fernando Martins.

5.3.1 Resultados do Teste de Interfaces

Nesta parte da avaliação era pretendido avaliar a execução de tarefas sequenciais na interface híbrida e comparar com a execução em interfaces analógicos (Controlador MIDI Físico) e interfaces *touchscreen* (*App* Digital). Para tal, o ambiente de teste foi idêntico para as 3 interfaces e sempre com a mesma ordem: interface analógica, interface *touchscreen* e interface híbrida.

O momento inicial de cada teste tinha como objetivo a familiarização do utilizador com cada interface, nomeadamente para identificação dos controlos a serem utilizados. Quando o utilizador atingia o nível de conforto necessário para utilizar a interface dava-se início ao teste. Cada participante executou 30 tarefas, das quais 10 com cada interface; o objetivo dessas tarefas consistia em modificar o valor de certos parâmetros até atingir valor pedido pelo *software* de teste, servindo-se dos diversos controladores. Os dados obtidos pelo *software* eram compostos pelo valor pedido, pelo tempo que demorou a ser executada a tarefa, e pela precisão da sua realização, embora este último parâmetro tenha sido descartado dos testes, por não apresentarem qualidade suficiente e serem pouco precisos.

As tarefas eram compostas por interações com os seguintes controladores: Teclado, *Joystick*, *Slider*, *Pad*, *Knob* Mini, *Knob* e *Slide*r Mini. Havendo dois *Pads*, dois *Knobs* Minis e dois *Sliders* Mini, só foram considerados uma amostra de dados para cada.

A análise aos dados obtidos foi executada através do uso do teste de Friedman (ou ANOVA em ordens de Friedman), um tipo de teste não paramétrico, apropriado para comparar amostras emparelhadas (variáveis ordinais) de duas ou mais populações, sendo as populações neste contexto os participantes, testando interfaces distintos (Marôco, 2018). Esta análise permitiu concluir que, de uma forma geral, os participantes executaram as tarefas com maior facilidade (e velocidade) em controladores MIDI tangíveis, demonstrando que o *feedback* háptico facilita a fluidez do movimento e de interação (Tabelas 2 e 3).

Teclado

Os resultados obtidos demonstram que não existe diferença na interação entre uma interface híbrida e um instrumento físico tradicional, mas uma enorme diferença quando comparada com a interação em *touchscreen*, tendo os participantes obtido piores resultados neste último. Durante a execução dos testes a dificuldade dos participantes na interação com o *touchscreen* foi evidente, falhando com frequência a área de toque ou a nota certa; nas outras duas interfaces esta interação foi bastante fluida.

Joystick

Os testes com o controlador Joystick demonstram que a interface híbrida foi a que obteve melhores resultados, tendo sido a interface analógica a que obteve piores resultados. Os resultados na interface analógica podem dever-se à diferença do tipo de *joystick* utilizado (*joysick* 2D vs *joystick* analógico) e de *input* (analógico vs digital), que permite concluir que a interface híbrida e o *touchscreen* permitem maior rapidez de

controlo de valores. No entanto, por não serem mais precisos, a usabilidade poderá ser diferente numa utilização real.

Slider

Os resultados do teste com este tipo de controlador de *Slide* demonstram que a interface híbrida é significativamente melhor que o *touchscreen*. Durante o teste foi possível observar (em diversos participantes) a dificuldade na execução da tarefa com o controlador em *touchscreen*.

Pad

Tal como aconteceu com os *joysticks*, os participantes obtiveram melhores resultados com os *pads* da interface híbrida e, possivelmente, pela mesma razão: a sensibilidade e velocidade de input do *touchscreen* são superiores às de um sistema analógico. Ainda assim, comparando a interface híbrida com o *touchscreen* é possível constatar uma diferença significativa de resultados.

***Knob* Mini**

Na execução de tarefas com os *knobs* Mini as interfaces analógica e o híbrida demonstraram ser relativamente semelhantes, enquanto que a interface *touchscreen* apresentou resultados significativamente piores. Durante a execução deste teste, todos os participantes demonstraram enorme dificuldade em executar a tarefa com o *touchscreen*, tendo sido possível registar um elevado grau de frustração.

Knob

Os resultados dos testes realizados com *knobs* foram semelhantes entre as três interfaces, mas ligeiramente diferentes dos resultados obtidos com os *knobs* mini. É possível afirmar que a utilização de *knobs* de dimensões superiores permite a realização de tarefas com maior precisão de *input* e ainda a realização de movimentos mais amplos durante a interação.

***Slider* Mini**

No teste com o *slider* mini, os resultados foram semelhantes entre as interfaces, mas comparativamente com o *slider* normal, os participantes demoraram mais tempo a executar as tarefas. Relativamente à interface híbrida, um dos problemas identificados foi a qualidade do protótipo, que pelas características do material, influenciava o seu bom funcionamento.

Hipóteses Nulas Rejeitadas

Valor de significância = 0,05.

	Mean Rank		**Sig.**	**Adj. Sig.**
Teclado 1	1,55	Teclado 1-3	1	1
Teclado 2	2,9	Teclado 1-2	0	**0**
Teclado 3	1,55	Teclado 3-2	0	**0**
Joystick 1	2,3	Joystick 3-2	0,093	0,28
Joystick 2	2,07	Joystick 3-1	0,01	**0,029**
Joystick 3	1,63	Joystick 2-1	0,366	1
Slider 1	1,6	Slider 1-3	0,156	0,467
Slider 2	2,43	Slider 1-2	0,001	**0,004**
Slider 3	1,97	Slider 3-2	0,071	0,212
Pad 1	2,27	Pad 3-2	0,003	**0,009**
Pad 2	2,25	Pad 3-1	0,002	**0,007**
Pad 3	1,48	Pad 2-1	0,959	1

KnobMini1	1,73	Knob 1-3	0,519	1
KnobMini2	2,37	Knob 1-2	0,014	**0,043**
KnobMini3	1,90	Knob 3-2	0,071	0,212

Tabela 2. Hipóteses Nulas Rejeitadas

Hipóteses Nulas não Rejeitadas

Valor de significância = 0,05.

	Mean Rank
Knob 1	1,68
Knob 2	2,25
Knob 3	2,07
Slider Mini 1	1,87
Slider Mini 2	2,03
Slider Mini 3	2,10

Tabela 3. Hipóteses Nulas Não Rejeitadas

5.3.2 Resultado dos Questionários

O sistema de avaliação foi composto pelos testes individuais às interfaces, questionário relativo à usabilidade e experiência do utilizador (musical e com controladores MIDI), e ainda teste Nasa Load Index. Ao nível do questionário, foi pedido aos participantes que avaliassem as seguintes afirmações numa escala de 1 a 5 (de "discordo totalmente" a "concordo totalmente"):

Usaria uma interface assim com que frequência:

Média: 3,1

Achei esta interface desnecessariamente complexa:

Média: 1,4

Achei esta interface fácil de usar:

Média: 4,53

Acho que precisar de assistência para usar esta interface:

Média: 1,7

Achei que as funcionalidades da interface estavam bem integradas:

Média: 4,23

Achei que havia demasiadas inconsistência na Interface:

Média: 1,96

A maioria das pessoas aprenderia rapidamente a usar esta interface:

Média: 4,46

Senti-me confiante a usar esta interface:

Média: 4,33

Os resultados obtidos com este questionário de usabilidade (ver tabela X) permitem concluir que os participantes se sentiram confortáveis e confiantes com o uso da interface híbrida: as suas respostas revelaram estar em consonância com os dados obtidos ao nível da execução das tarefas. De modo geral, os participantes não só demonstraram interesse pelo projeto e pela solução desenvolvida, como expressaram ser fácil de usar (p. ex. não precisaram de assistência durante o seu uso e aplicaram corretamente as funcionalidades) e de aprender.

Nasa Load Index

Na autoavaliação do esforço exercido (0-5) (Tabela X), os participantes consideraram (em média) que para executar as tarefas com a interface híbrida o esforço mental (1.76) e físico (1.63) não foi grande, embora alguns participantes tenham alcançado o valor 4 (APÊNDICE C, Tabela 5). A avaliação realizada ao nível da interface

considerou dados temporais: a demanda temporal (2.63) dos participantes foi, em média, um pouco maior que o seu esforço, demonstrando que foram relativamente apressados ou precipitados. Em geral, todos os participantes sentiram que a sua performance foi boa, com uma média de 3.43, ou seja, superior aos parâmetros anteriores; em alguns participantes esse a resposta atingiu o valor máximo. O empenho dos participantes nas tarefas foi, de acordo com a autoavaliação, de nível médio, tendo resultado na média de 2,1. O grau de frustração dos utilizadores ao longo das tarefas foi, em média, baixa (1.8), sendo coerente com os valores da performance.

No final do questionário, foi pedido aos participantes que dessem a sua opinião (em resposta aberta) sobre a interface híbrida (p. ex. experiência, vantagens e desvantagens da sua utilização e sugestão de melhorias). Seguem-se algumas transcrições de respostas a este questionário dos participantes (sobre o produto e a experiência de utilização):

- **"Os módulos dão uma sensibilidade interessante. Além disso, é bastante leve e prático"**

- **"Interface fácil de usar e intuitiva, pode ter vários usos para além de controladores MIDI (Exemplo: Controlar o Photoshop?)"**

- **"Vantajoso em relação ao controlador clássico pela portabilidade e em relação à *app*, pela sua dimensão háptica"**

- **"Acho bastante inovador e utilizaria não só no contexto musical, mas também em outro tipo de trabalhos (Exemplo: Desenho Digital)"**

- **"Uma experiência fácil e acessível"**

- **"Interface fácil e de pouca complexidade"**

- **"Uma ideia inovadora e "com pernas para andar""**

- **"Uma clara melhoria face ao *touchscreen*. Os *knobs* principalmente parecem funcionar muito bem. O facto de ter teclas físicas para tocar é muito agradável"**

- **"Conceito super interessante visto que estes controladores MIDI em formato físico são algo caros"**

Questões finais colocadas aos participantes após realização dos testes funcionais:

A. O *feedback* háptico é indispensável na Interação Musical?

Todos os participantes são da opinião que o *feedback* háptico é indispensável quando se trata de uma interação musical.

B. A experiência com os Mula Controllers está mais próxima de uma experiência analógica (p. ex.: como os controladores físicos) ou *touchscreen* (p. ex.: como as *apps* tradicionais)?

Todos os participantes sentiram que a experiência deste tipo de interface híbrido está mais próxima de uma experiência analógica.

Conclusão da Análise

O processo de avaliação das Hipóteses de Investigação (H1; H2; H3) permitiu concluir que o *feedback* háptico é necessário numa interface musical. Essa conclusão é suportada por estudos anteriores, devidamente descritos e justificados no segundo capítulo. A realização de testes de funcionalidade e do questionário durante a investigação permitiram igualmente validar as hipóteses colocadas e as soluções apresentadas no projeto.

Embora a interface híbrida necessite ainda de melhorias ao nível dos materiais e processos construtivos utilizados, os testes de funcionalidade apresentaram resultados satisfatórios ao nível da utilização, nomeadamente ao nível do grau de confiança no uso da interface híbrida e do entendimento do seu funcionamento. Os participantes entenderam, na sua maioria, o seu funcionamento da interface, inclusivamente aqueles menos experientes em termos musicais. Segundo a opinião dos mesmos, este tipo de interface híbrida permite um controlo musical muito semelhante ao de um controlador analógico tradicional, sendo, portanto, uma alternativa viável.

6. Conclusão

A proposta de solução desenvolvida neste projeto contribui para a área de Design de Interação na exploração de novas Interfaces Tangíveis, pois possibilita novas formas de interação humano-computador, e contribui também para o desenvolvimento do estudo da Háptica Musical, assim como do estudo de novos Instrumentos e/ou Controladores Digitais Musicais. Um dos principais contributos deste projeto reside na criação de uma interface híbrida analógico/digital e físico/virtual que proporciona *feedback* háptico em dispositivos *touchscreen,* que não dispõem, geralmente, este tipo de interação.

O estudo da origem dos instrumentos mecânicos e da evolução dos tipos de interação com instrumentos musicais permitiu contextualizar a investigação do ponto de vista histórico e, posteriormente, permitiu criar o enquadramento que impulsionou o desenvolvimento dos controladores MIDI. A fase de estudo inicial permitiu, portanto, entender o impacto destes tipos de controladores do ponto de vista histórico e enquadrar as necessidades atuais, de modo a definir corretamente o objeto de estudo e exigências da interface ao nível do projeto. A análise ao mercado permitiu, primeiramente, comparar os controladores MIDI analógicos e digitais e, posteriormente, concluir que os controladores MIDI em dispositivos *touchscreen* existentes no mercado são mais económicos e mais versáteis pela sua portabilidade e capacidade de personalização; mas, ao contrário dos controladores analógicos, estes não possuem *feedback* háptico, uma característica fundamental na interação musical. Esta necessidade de *feedback* háptico em instrumentos e controladores musicais é devidamente justificada pelos diversos estudos analisados no capítulo do estado da arte.

Existindo esta carência nos controladores MIDI *touchscreen* no mercado atual, entendeu-se que existia a oportunidade de desenvolver uma solução híbrida que combinasse as qualidades de interação dos controladores analógicos com os benefícios da sua vertente digital. Através do uso de tecnologias *touchscreen*, impressão 3D e materiais inovadores, foi possível desenvolver a proposta de solução, tendo sido criada uma prova de conceito composta por oito módulos diversificados.

Para avaliar a solução foi criado um teste de funcionalidade com objetivo de comparar a mesma com controladores analógicos e controladores puramente *touchscreen*, e foi desenvolvido um questionário com objetivo de entender a usabilidade da interface híbrida e o seu interesse do ponto de vista do utilizador. Os resultados comprovaram os benefícios da interface híbrida modular face aos controladores tradicionais e *touchscreen*, e demonstraram ainda que existe interesse dos utilizadores num produto com estas características no mercado.

O sistema modular desenvolvido possibilita o papel ativo do utilizador, dando-lhe a oportunidade de personalizar o seu próprio controlador, desde o *layout* até às peças de cada módulo, que resulta num produto original, capaz de satisfazer adequadamente as necessidades funcionais, ergonómicas e estéticas dos utilizadores. Sendo estes controladores parte de um sistema *open-source*, existe a possibilidade de os utilizadores adotarem o conceito de DIY, de criarem os seus próprios módulos e ainda de expandirem as suas formas de interação, dentro dos limiares do sistema.

Estes controladores modulares possibilitam também, pela sua versatilidade, o uso em outras áreas, como Arte, Design, *Gaming* e Educação, entre outros, e viabilizam a aplicação no controlo de outros *softwares*, nomeadamente fora do âmbito musical (p. ex. para controlo de *softwares* edição de imagem) e na indústria do entrenimento, nomeadamente ao nível da aplicação em jogos virtuais (p. ex. como comando de videojogos), bem como o uso ao nível da Educação, sob a forma de brinquedos ou outras interfaces adequadas a atividades educativas (p. ex. sob a forma de controladores modulares com encaixes para peças do tipo Lego).

Trabalho Futuro

Durante o processo de desenvolvimento dos protótipos foi identificado o potencial para novos tipos aplicações, nomeadamente ao nível de controlo de dispositivos e interfaces de outras áreas do conhecimento, tanto para fins artísticos e lúdicos, como também sociais e educacionais. Existe, portanto, o potencial para o desenvolvimento de novos módulos, devidamente adaptados a novos contextos. Essa possibilidade de desenvolvimento está pendente da realização de nova avaliação dos protótipos, com o objetivo de verificar ou rejeitar as propostas deste projeto.

Durante o desenvolvimento dos protótipos e após avaliação dos mesmos, verificou-se existir a necessidade de explorar novos materiais, nomeadamente para melhorar a qualidade dos módulos e a fluidez das interações; o desenvolvimento de protótipos com novos materiais permitirá facilitar a personalização dos módulos. Adicionalmente, os processos de produção poderão ser revistos e otimizados, de modo a dar continuidade ao projeto e, eventualmente, viabilizar a criação de um novo produto ou serviço.

Referencias

Banu (sons of Musa) bin Shakir (s.d.). The Book of Ingenious Devices

Bateman, T. (2012). How MIDI changed the world of music. Fonte: https://www.bbc.com/news/technology-20425376 [Acedido a 10/11/19]

Beringuilho, G., & Martins, F. (2019). *Interface de Controlador MIDI Háptico em Dispositivos Touchscreen Haptic MIDI Controller Interface on Touchscreen Devices*. 4. CISTI'2019

Colin H. (2018). Instructive Synthesizer. Tone Lab Fonte: http://www.colinhearon.com/tone-lab [Acedido a 10/11/19]

Erlhoff, M., Marshall, T, (2008) Design Dicitonary, Perspective on Design Terminology

Faragher, S. (2011) The Hammond Organ: An Introduction to the Instrument and the Players Who Made It Famous

Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. A. S. (1995). Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '95*, 442–449. https://doi.org/10.1145/223904.223964

Fowler, C. B. (1967). The Museum of Music: A History of Mechanical Instruments

Geiger, G. (2006) Using the Touch Screen as a Controller for Portable Computer Music Instruments . International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME06) p.61-64

Gjøsæter, T. (2015). Interaction with mobile augmented reality: An exploratory study using design research to investigate mobile and handheld augmented reality.

Gunther, E. G., Davenport, and S. O'Modhrain. 2002. Cutaneous Grooves: Composing for the sense of touch. Proc. 2002 International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME02, pp. 37-42.

Hoggan, E., Brewster, S. A., & Johnston, J. (2008). Investigating the effectiveness of tactile feedback for mobile touchscreens. In Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems - CHI '08 (p. 1573). Florence, Italy: ACM Press. https://doi.org/10.1145/1357054.1357300

Holmes, T. B. (2002) Electronic and Experimental Music: Pioneers in Technology and Composition, 42

Huber, D. M. (2007). The MIDI Manual

Islam, M.N. (2017). Using Design Science Research Approach In Human-Computer Interaction (HCI)

Jacob, R. J. K., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., & Zigelbaum, J. (2008). Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. In Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems - CHI '08 (p. 201). Florence, Italy: ACM Press. https://doi.org/10.1145/1357054.1357089

Kolko, J. (2011) Thoughts on Interaction Design.

Li, M., Sareh, S., Xu, G., Ridzuan, M. B., Luo, S., Xie, J., ... Althoefer, K. (2016). Evaluation of Pseudo-Haptic Interactions with Soft Objects in Virtual Environments. PLOS ONE, 11(6), e0157681. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157681

Libin, L, Clutton, C., Ripin, E. (2019) Keyboard Instrument. Encylopedia Britannica. Fonte: https://www.britannica.com/art/keyboard-instrument. [Acedido a 10/11/19]

March. S. T., Smith, G. F. (1995) Design and Natural Science Research on information technology. Decision Support Systems 15. p.251-266

Marôco, J. (2018) Análise estatística com o SPSS Statistics

MIDI Association, T. (2018). MIDI History: Chapter 1- 850 AD to 1850 AD. Fonte: https://www.midi.org/articles/midi-history-chapter-1

O'Brien, R. (1998) "An Overview of the Methodological Approach of Action Research"

Pappeti, S., Saitis, C. (2018). Music Haptics.

Peffers, K., Tuunanen, T., Gengler, C. E., Rossi, M., & Hui, W. (s.d.). THE DESIGN SCIENCE RESEARCH

Podles, J. (2013) "Motion Sensing MIDI Controllers for Live Performances" Fonte: https://soundista.com/motion-sensing-midi-controllers-for-live-performances [Acedido em 12/02/2019].

Rene, Z., Mehra, R., Coposky, J., & Lin, M. (2012). Designing virtual instruments with touch-enabled interface. In Proceedings of the 2012 ACM annual conference extended abstracts on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts - CHI EA '12 (p. 433). Austin, Texas, USA: ACM Press. https://doi.org/10.1145/2212776.2212820

Sachs, C. (2006) The History of Musical Instruments

Sein, H., Purao, Rossi, & Lindgren. (2011). Action Design Research. MIS Quarterly, 35(1), 37. https://doi.org/10.2307/23043488

Shaer, O. (2009). Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction, 3(1–2), 1–137. https://doi.org/10.1561/1100000026

Strylowski, B., Allison, J., & Guessford, J. (2014). Pitch Canvas: Touchscreen Based Mobile Music Instrument, 4.

Sui, Linda. (2018) "Strategy Analytics: Apple iPhone X Becomes World's Best- Selling Smartphone Model in Q1 2018". Fonte: https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/news/strategy-ana-lytics-press-releases/strategy-analytics-press- release/2018/05/03/strat-egy-analytics-apple-iphone-x-becomes-world's-best-selling-smartphone-model-in-q1-2018 [Acedido em 12/02/2019].

Terrenghi, L., Kirk, D., Richter, H., Krämer, S., Hilliges, O., & Butz, A. (2008). Physical handles at the interactive surface: exploring tangibility and its benefits. *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '08*, 138. https://doi.org/10.1145/1385569.1385593

Ulmer,B, Ishii H. (2001). Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces, Human-Computer Interaction in the New Millenium p.579-601

Vail, M. (2014) The Synthesizer: A Comprehensive Guide To Understanding, Programming, Playing, And Recording The Ultimate Electronic Music Instrument

Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing*, *68*(1), 1–17.

Vincent H.,Oliver R. Astley,Manuel Cruz-Hernandez,Danny Grant,Gabriel Robles-De-La-Torre (2003) Haptic Interfaces and Devices

Wolf, M., & McQuitty, S. (2011). Understanding the do-it-yourself consumer: DIY motivations and outcomes. *AMS Review*, *1*(3–4), 154–170. https://doi.org/10.1007/s13162-011-0021-2

Young, G., & Murphy, D. (2015). HCI Models for Digital Musical Instruments: Methodologies for Rigorous Testing of Digital Musical Instruments. https://doi.org/10.13140/rg.2.1.3949.9364

Young, G., & Murphy, D. (2015). Digital Musical Instrument Analysis: The Haptic Bowl. https://doi.org/10.13140/rg.2.1.4474.2240

Young, G. W., Murphy, D., & Weeter, J. (n.d.). *A Qualitative Analysis of Haptic Feedback in Music Focused Exercises*. 7.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Imagens do Desenvolvimento e Interação da Interface Híbrida



Figura 84. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa

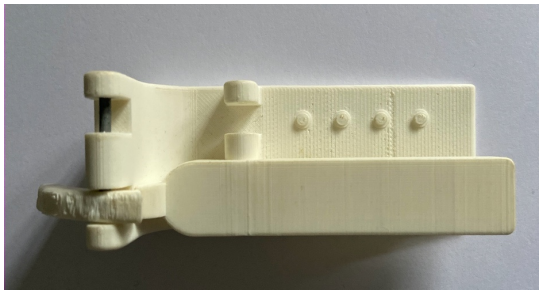


Figura 85. Protótipo Tecla Piano 3.ª Etapa



Figura 86. Protótipo Tecla Piano 3.ª Etapa

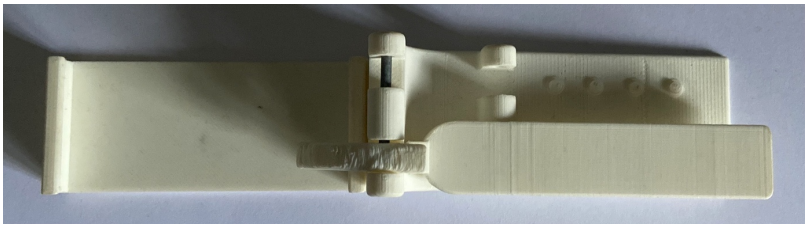


Figura 87. Protótipo Tecla Piano 3.ª Etapa

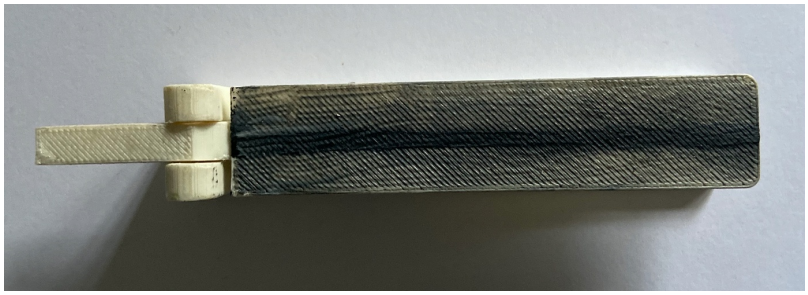


Figura 88. Protótipo Tecla Piano 4.ª Etapa

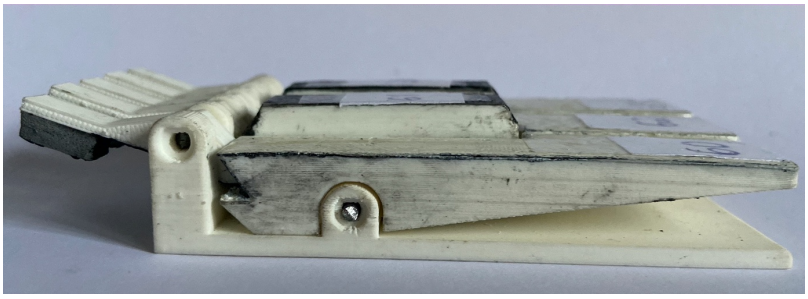


Figura 89. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa

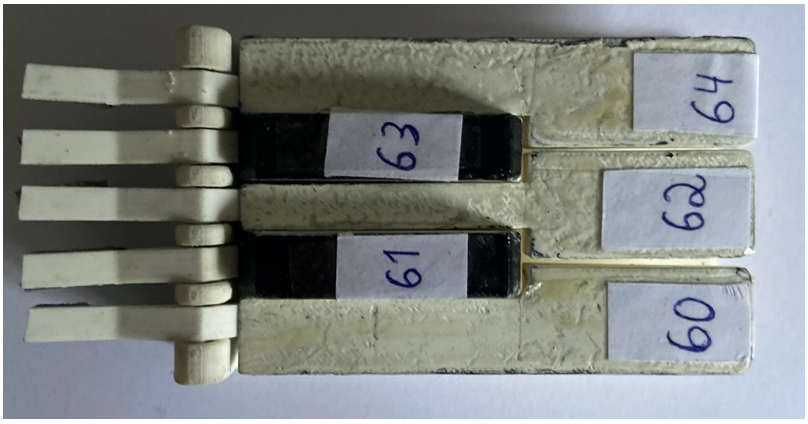


Figura 90. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa

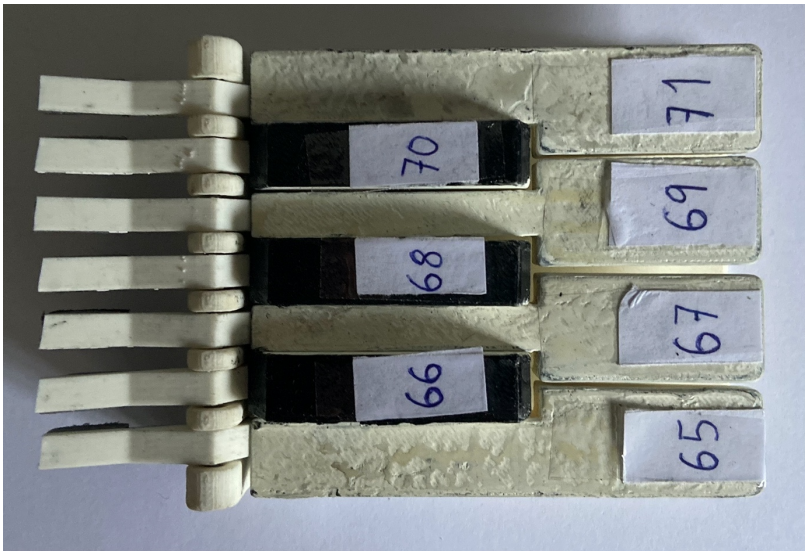


Figura 91. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa

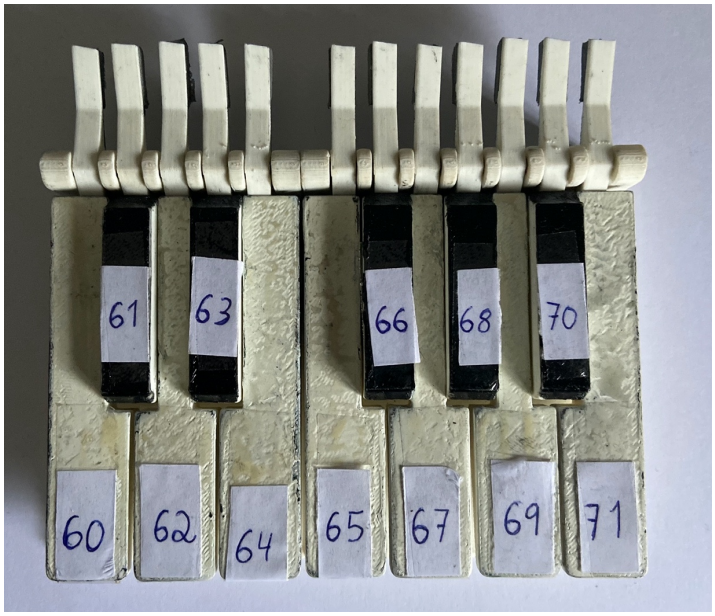


Figura 92. Protótipo Tecla Piano 1.ª Etapa

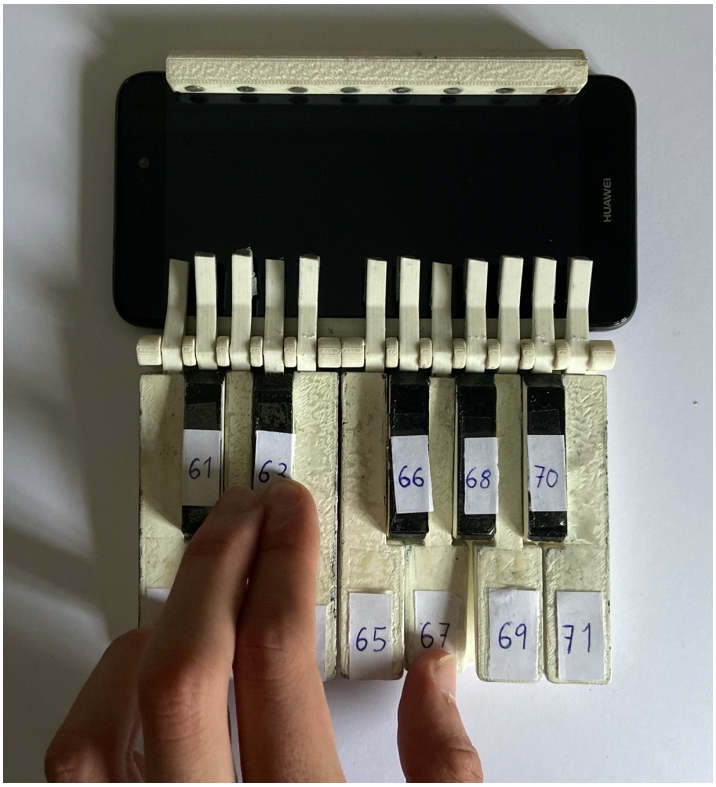


Figura 93. Interação com o protótipo de teclado

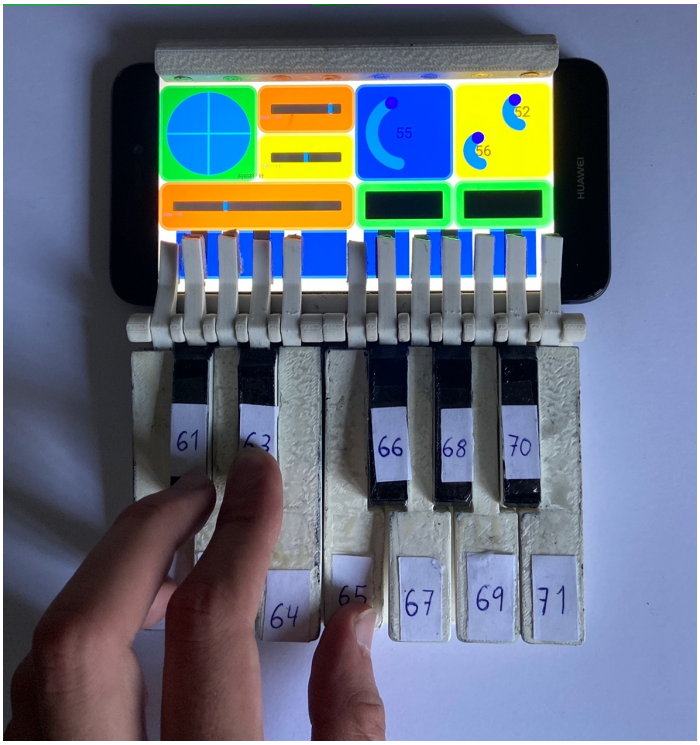


Figura 94. Interação com o protótipo de teclado e aplicação móvel

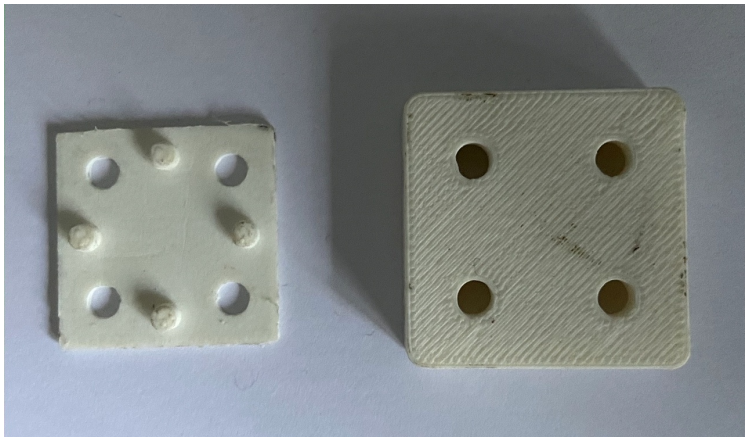


Figura 95.Protótipo Knob 1.ª Etapa



Figura 96. Protótipo Knob 1.ª Etapa

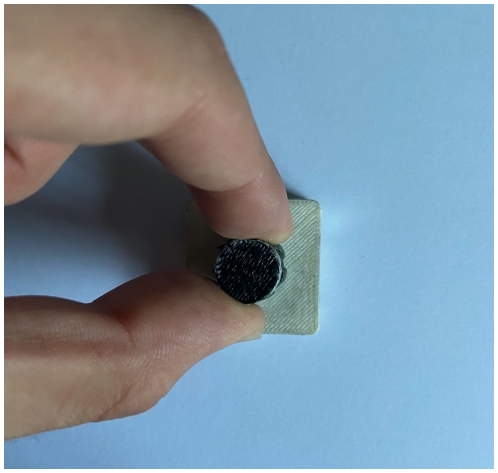


Figura 97. Interação com modulo Knob

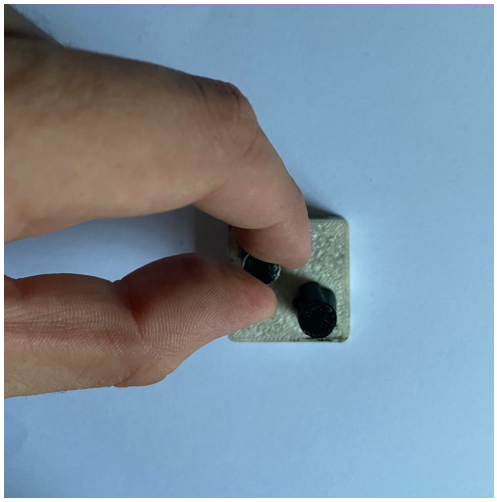


Figura 98. Interação com Knob Mini

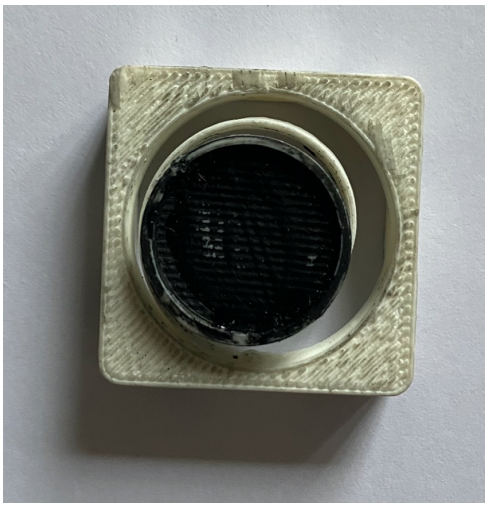


Figura 99. Protótipo *Joystick* 2.ª Etapa

APÊNDICE B: Interação e Layout de Testes de Funcionalidade

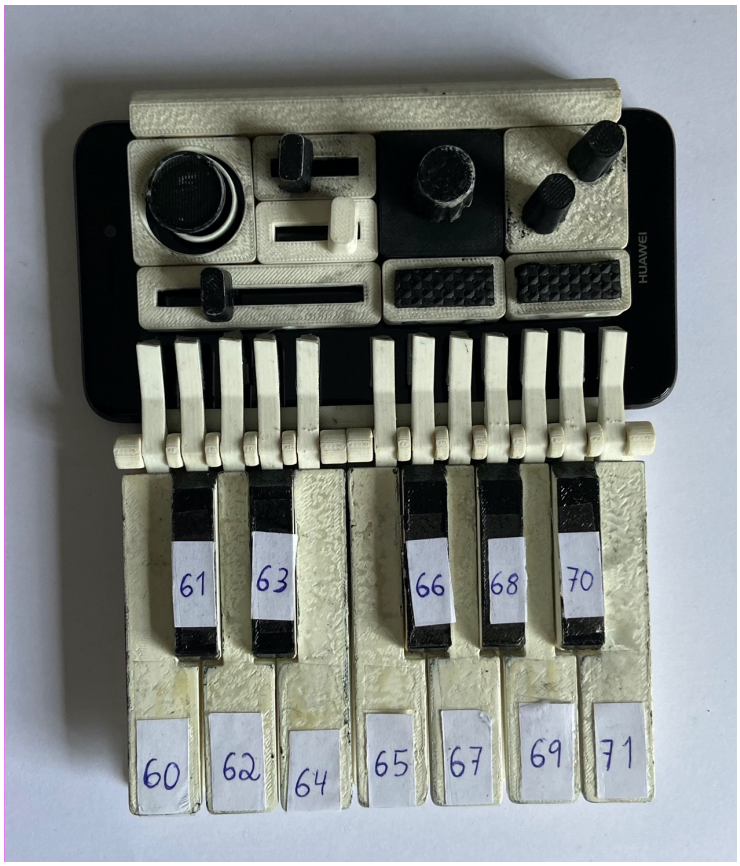


Figura 100. Layout de Teste de funcionalidade

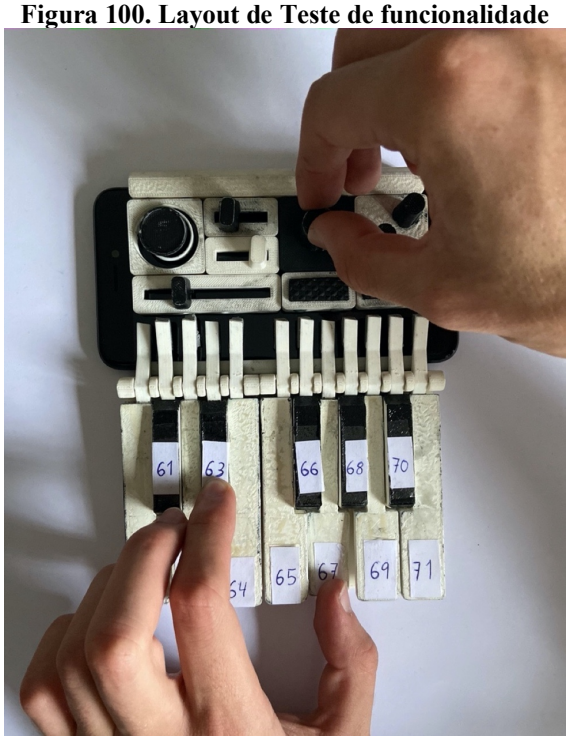


Figura 101. Interação com a Interface híbrida no *layout* de teste de funcionalidade

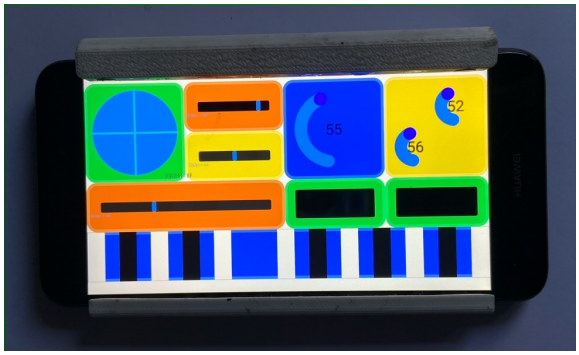


Figura 102. Interface de aplicação móvel de teste de funcionalidade

APÊNDICE C: Tabelas de Resultados da Avaliação

User	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1	2	2	3	1	4	3	4	4
2	4	2	4	1	4	2	3	5
3	2	1	5	1	5	1	5	5
4	1	1	4	1	3	1	4	3
5	3	1	4	1	3	4	5	4
6	4	2	4	3	4	2	4	4
7	5	1	5	1	5	1	5	5
8	3	2	5	3	4	4	5	4
9	3	2	5	3	4	3	4	5
10	2	2	4	4	4	2	4	5
11	3	1	5	1	5	1	5	5
12	1	1	4	2	4	1	4	3
13	4	1	5	2	4	1	5	5
14	3	1	5	1	5	2	5	5

15	3	2	5	2	4	1	4	4
16	4	1	5	1	4	3	5	5
17	2	2	4	3	4	3	5	4
18	3	1	5	2	4	2	4	3
19	3	1	4	1	5	2	4	5
20	4	1	4	3	5	1	5	3

21	5	1	4	1	3	2	4	5
22	3	2	5	1	4	2	5	5
23	2	2	5	1	4	3	5	4
24	5	1	5	3	5	1	4	4
25	5	1	5	2	4	1	4	5
26	3	1	4	1	4	2	4	4
27	2	2	5	1	5	3	5	4
28	1	2	4	2	4	2	5	5
29	4	1	5	1	5	1	4	4
30	4	1	5	1	5	2	5	4

Média	**3,1**	**1,4**	**4,53**	**1,7**	**4,23**	**1,96**	**4,46**	**4,33**

Tabela 4. Resultados SUS

User	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**
1	1	2	2	3	3	2
2	2	1	3	4	2	2
3	1	1	2	3	2	1
4	1	1	3	4	2	2
5	1	3	2	5	2	1
6	2	1	3	5	2	1
7	2	1	3	5	1	1
8	2	1	3	4	2	4
9	2	2	2	4	3	2
10	4	4	5	3	3	1
11	3	1	5	3	3	4
12	1	1	1	3	2	1

13	1	1	1	4	1	1
14	1	1	1	3	2	1
15	2	2	3	3	2	2
16	1	1	3	5	1	1
17	2	1	3	3	2	2
18	2	1	2	3	2	2
19	3	1	3	5	3	2
20	1	2	2	4	3	1

21	2	2	4	4	1	1
22	1	3	2	3	3	2
23	2	1	4	4	3	2
24	1	3	2	2	1	2
25	1	3	2	3	2	1
26	2	1	4	2	2	1
27	2	4	2	2	2	4
28	3	1	2	2	1	2

29	2	1	4	3	3	3
30	2	1	1	3	2	2
Média	**1,76**	**1,63**	**2,63**	**3,46**	**2,1**	**1,8**

Tabela 5. Resultados NASA Load Index

Tabela 6. Resultados: Teste De Funcionalidade

User	Teclado1	Knob1	Joystick1	KnobMini1	SliderMini1	Slider1	PadBotão	Teclado2	Knob2	Joystick2	KnobMini2	SliderMini2	Slider2	PadBotão2	Teclado3	Knob3	Joystick3	KnobMini3	SliderMini3	Slider3	PadBotão3
1	2,09	2,16	2,57	3,27	3,19	1,3	0,34	8,05	1,2	3,14	3,58	1,42	2,59	0,38	2,09	4,25	1,1	1,3	3,16	2,33	0,43
2	2,26	1,38	4,16	2,1	2,37	1,44	0,22	3,22	1,58	1,37	2,55	2,56	8,39	0,5	2,26	2,59	2,56	2,42	6,2	7,9	0,3
3	2,42	2,26	3,21	1,14	2,27	1,22	0,36	4,22	1,45	1,52	7,3	2,34	3,25	0,3	2,42	2,52	0,51	5,2	5,16	7,18	0,27
4	1,46	2,25	2,22	2,45	2,45	2,15	2,31	7,1	1,59	2,11	1,58	2,24	2	0,32	1,46	2,6	1,38	2,29	2,38	2,42	0,25
5	2,31	1,27	4,54	2,4	2,58	1,25	0,33	11,44	4,3	2,34	1,29	1,52	2,3	0,37	2,31	2,51	4,21	3,28	1,46	2,14	0,24
6	3,06	2,57	4,24	1,33	2,6	1,42	0,28	4,11	2,57	1,19	3,25	3,32	0,47	1,02	3,06	3,49	2,1	1,31	7,14	0,56	0,28
7	1,59	2,2	5,51	2,41	2,55	2,38	0,39	6,29	3,34	6,19	1,58	2,15	5,44	1,35	1,59	2,28	2,33	1,34	5,16	3,6	0,29
8	1,47	1,51	2,45	1,32	2,17	2,24	0,58	3,01	3,11	3,2	1,48	2,27	1,41	0,46	1,47	5,2	3,56	2,25	2,1	3,36	0,24
9	3,12	3,45	5,1	2,9	7,18	0,54	0,44	3,59	4,58	2,52	3,42	4,14	5,37	0,27	3,12	1,19	3,16	1,21	7	3,25	0,41
10	1,47	2,6	4,3	2,47	3,23	1,35	0,57	5,46	1,44	2,24	12,17	2,29	3,28	0,33	1,47	3,18	0,5	3,25	3,3	1,18	0,23
11	2,43	1,48	3,54	1,12	2,41	3,2	1,46	4,35	4,44	3,6	1,21	1,46	1,16	1,2	1,15	3,32	2,18	1,46	1,17	4	0,37
12	6,24	6,1	4,32	3,26	2,1	4,14	0,23	4,3	4,2	2,9	2,41	3,1	2,6	0,38	4,36	1,48	1,37	3,1	2,24	1,35	0,53
13	1,31	1,37	1,54	2,1	3,4	4,41	0,29	5,14	3,13	1,46	2,47	2,2	0,47	1,01	1,31	1,4	3,47	2,34	2,41	2,37	0,21
14	2,38	2,36	5,18	2,19	3,38	1,29	0,37	4,44	2,47	10,8	3,21	1,43	7,21	0,4	2,26	2,15	3,52	5,51	2,49	1,27	0,3
15	2,13	3,4	2,12	3,39	2,4	1,41	0,49	3,2	3,29	2,15	6,44	1,51	1,14	0,25	1,36	2,47	1,29	1,16	2,37	3,46	0,36
16	2,32	2,14	3,17	2,4	2,22	2,08	0,46	3,4	3,07	3,16	3,28	0,51	6,54	0,44	1,5	1,18	0,49	2,11	2,47	2,3	0,32
17	2,83	3,15	4,34	2,13	2,41	0,56	0,51	4,06	1,29	4,17	2,1	3,46	2,44	1,2	1,37	2,09	3,54	3,57	3,29	1,33	0,28
18	2,22	2,42	2,16	1,26	2,15	3,35	0,24	5,21	3,17	2,02	2,39	3,05	6,31	0,47	2,04	3,12	1,58	2,21	2,22	3,24	0,31
19	2,14	1,57	3,58	1,2	3,14	1,37	1,22	4,51	2,03	1,4	2,54	2,5	3,49	0,35	2,17	2,44	3,09	1,43	2,39	3	0,35
20	1,53	2,23	2,19	2,11	2,2	1,53	0,47	4,19	3,13	3,24	2,1	3,53	5,33	0,55	3,16	1,55	1,4	2,14	2,88	1,51	0,33
21	1,52	4,1	3,1	1,31	1,58	1,19	0,35	3,38	2,46	2,58	3,53	1,37	1,23	1,02	3,05	1,39	1,51	3,41	3,06	2,06	0,49
22	1,53	1,54	4,48	1,28	1,36	1,38	0,31	7,04	2,55	1,36	2,32	3,51	4,01	1,2	2,46	2,21	2,56	2,37	2,43	3,43	0,27
23	2,7	2,15	5,1	1,03	2,28	2,51	1,09	3,59	3,1	2,2	3,42	3,25	3,36	0,42	1,28	3,2	3,32	2,15	2,3	2,54	0,3
24	1,32	2,59	2,2	2,59	2,06	2,15	0,5	3,42	2,56	2,44	2,13	2,54	2,27	0,35	2,55	1,43	3,01	1,3	2,53	1,43	0,38
25	2,06	1,47	3,07	1,34	1,58	3,11	0,33	5,13	2,44	3,45	4,48	2,53	6,03	0,41	2,18	2,17	1,43	1,24	3,35	2,59	0,26
26	1,51	1,52	2,3	1,51	2,11	2,38	0,48	6,23	2,35	3,2	1,11	3	2,59	0,44	2,5	2,26	3,5	1,49	3,28	3,18	0,55
27	2,34	2,27	2,23	2,27	2,32	0,5	0,36	3,12	3,5	2,46	3,25	3,31	1,46	0,56	2,15	2,51	2,27	2,33	1,55	2,27	0,36
28	1,36	1,55	3,11	1,47	2,43	1,15	1,24	3,49	2,54	4,14	1,43	3,49	5,22	1,07	1,57	3,11	2,22	1,37	1,42	0,45	0,3
29	1,42	2,06	1,14	2,39	3,05	1,54	0,54	4,25	1,47	3,53	3,41	3,4	3,26	0,29	4,31	2,33	2,53	1,14	2,14	1,22	0,27
30	2,49	2,3	1,57	1,3	2	1,06	0,43	3,36	4,33	2,38	3,27	2,32	1,23	0,32	2,47	1,48	2,47	1,56	3,48	1,1	0,35

APÊNDICE D: *Renders* de Modelos 3D



Figura 103. Personalização de *layout*

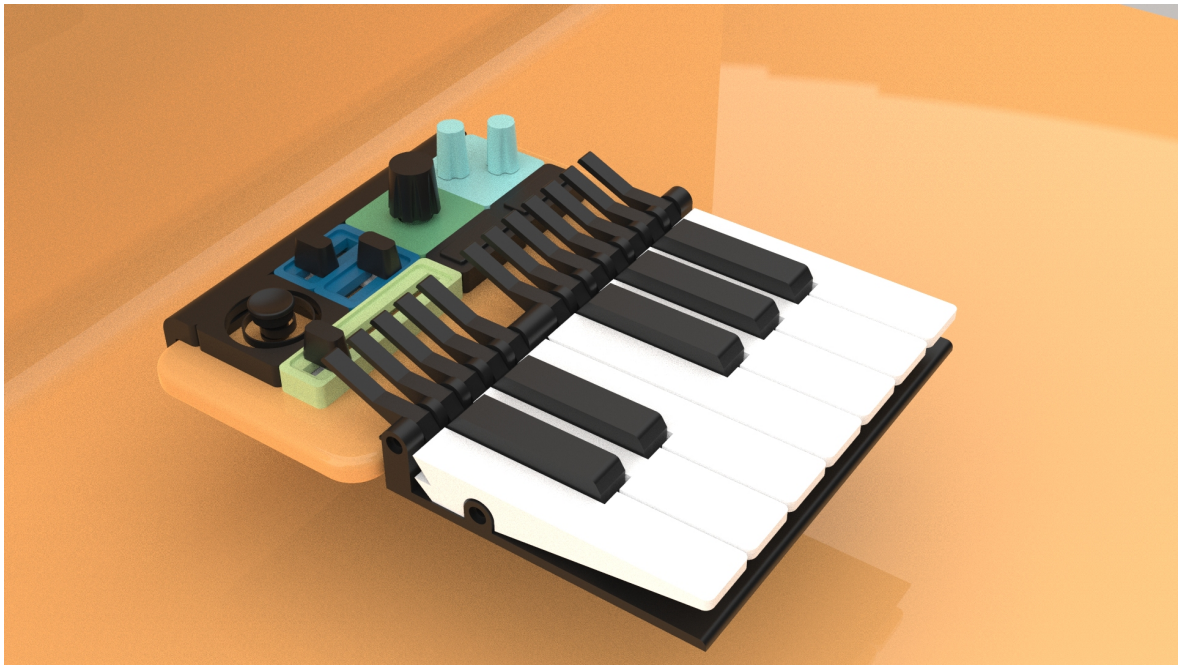


Figura 104. *Layout* de Teste em Modelo 3D

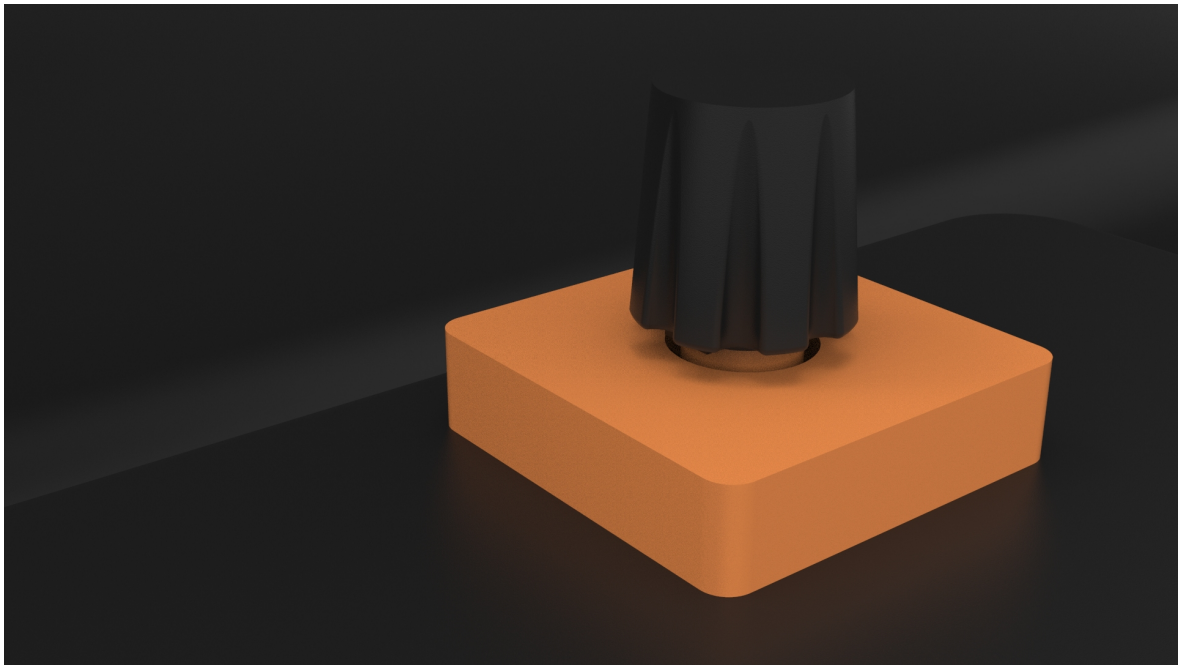


Figura 105. Modelo 3D de módulo *Knob*