



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

EDUARDO SANTOS SILVA

**VioLED:** instrumento musical aumentado + software como serviço para adesão  
e engajamento do público no aprendizado musical

Recife

2022

EDUARDO SANTOS SILVA

**VioLED:** instrumento musical aumentado + software como serviço para adesão e engajamento do público no aprendizado musical

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de doutor(a) em Ciência da Computação. Área de concentração: Inteligência Computacional.

Orientador: Giordano Ribeiro Eulalio Cabral

Recife  
2022

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Monick Raquel Silvestre da S. Portes, CRB4-1217

S586v Silva, Eduardo Santos  
VioLED: instrumento musical aumentado + software como serviço para adesão e engajamento do público no aprendizado musical / Eduardo Santos Silva. – 2022.  
212 f.: il., fig., tab.

Orientador: Giordano Ribeiro Eulalio Cabral.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CIn, Ciência da Computação, Recife, 2022.  
Inclui referências e apêndices.

1. Inteligência computacional. 2. Interação humano-computador. I. Cabral, Giordano Ribeiro Eulalio (orientador). II. Título.

006.31

CDD (23. ed.)

UFPE - CCEN 2023-16

**Eduardo Santos Silva**

**VioLED: instrumento musical aumentado + software como serviço para adesão e engajamento do público no aprendizado musical**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação. Área de Concentração: Inteligência Computacional

Aprovado em: 25/03/2022.

---

**Orientador: Prof. Dr. Giordano Ribeiro Eulalio Cabral**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Filipe Carlos de Albuquerque Calegario  
Centro de Informática / UFPE

---

Prof. Dr. Jean-Pierre Michel Briot  
Departamento de Informática da LIP6 / Sorbonne Université – CNRS

---

Prof. Dr. Flávio Luiz Schiavoni  
Departamento de Computação / UFSJ

---

Prof. Dr. Andre Menezes Marques das Neves  
Departamento de Design / UFPE

---

Prof. Dr. Lucas Silva Figueiredo  
Laboratório Voxar - CIn / UFPE

## **AGRADECIMENTOS**

Este projeto foi realizado com o apoio das instituições CNPq e FACEPE em editais atribuídos à empresa Daccord Music Software. Além disso, só foi realizado pelo apoio dos meus pais, minhas irmãs, meu irmão, Finha e toda minha família; Meus orientadores de doutorado e mestrado Giordano Cabral e Geber Ramalho; Toda equipe da Daccord: Rodrigo Pereira, Filipe Calegario, Mek, Havi, Renata, Leocadio, Antônio Neto, Yellow, Júlio Rangel, Evandro Lins, Mateus Ferreira, Fernanda Oliveira; Às pessoas que passaram pela Daccord durante o período: Cybelle Wessen, Camem, Victor, Bruno, Hugo, Giovanna, Leonardo Vilela; Abercio Martins; Anaís Simões; Sara, Leandro e Pedrinho; Danilo Coelho; Pedro Sette, Renato Gusmão, Neto Farias e o pessoal do Nerd Soccer; João Tragtenberg, Rodrigo Medeiros, Ricardo Scholz, Ricardo Brasileiro, Douglas Brito, Jader Abreu, Rute Maxsuelly, Paulo Sérgio, Valter Jorge e o pessoal do MustIC; Verônica Teichrieb, Lucas Figueiredo e o pessoal do Voxar Labs.

## RESUMO

Nos últimos anos, a área de computação musical tem presenciado o surgimento de diversas tecnologias que permitem novas formas de interação com música, variando desde novas formas de reprodução musical aos chamados Instrumentos Musicais Digitais (IMDs) e *smart instruments*. Particularmente, os avanços nas áreas de Internet das Coisas (IoT) e interfaces gestuais proporcionam a criação instrumentos musicais aumentados, que utilizam estas tecnologias para incorporar novas funcionalidades. No contexto de aprendizado musical, surgem sistemas que utilizam LEDs para exibir o conteúdo musical diretamente no corpo do instrumento – e.g. Fretlight, Fret Zealot e populele –, os quais serão referenciados como instrumentos musicais aumentados para estudo (AMIS, do inglês *Augmented Musical Instruments for Study*). Isto gera novas oportunidades para auxiliar o aprendizado de instrumentos musicais, que envolve a aquisição de habilidades cognitivas e motoras para entendimento de conceitos musicais e tradução destes conceitos para o instrumento. Desta forma, é possível que estas tecnologias possam ser utilizadas para solucionar alguns dos obstáculos relacionados com este aprendizado, e.g., guiar e motivar o estudante no aprendizado, auxiliar na aquisição destas habilidades, etc. Entretanto, estes sistemas estão inseridos em um contexto de design de interação que envolve demandas em diferentes dimensões: sistemas interativos, design simultâneo de *hardware* e *software*, sistemas de “tempo real” e o aprendizado musical. Isto demanda de aspectos de engenharia (e.g. consumo de energia, latência, confiabilidade); de usabilidade (e.g. legibilidade, antecipação e oclusão de informação); do processo de design (e.g. exploração de ideias, prototipação, seleção dos recursos, adaptabilidade a mudanças de sistema); do aprendizado musical (e.g. motivação do usuário, diferentes formas de aprendizado, etc.); além do fato de ser uma área relativamente nova, carente de métodos e diretrizes de design estruturados. Assim, este projeto buscou investigar como estes AMIS podem ser desenvolvidos para auxiliar o aprendizado de violão popular, focando atingir uma parcela do público não coberta pelas soluções existentes para o aprendizado de instrumentos, buscando também o processo de ativação e engajamento dos estudantes. Para isso, foi desenvolvido, em parceria com a empresa Daccord Music Software, um violão com LEDs capaz de exibir notas/acordes musicais na escala do instrumento, focando principalmente no serviço para este AMIS e em atender as demandas dos usuários.

Foi possível identificar um processo de desenvolvimento de AMIS para violão, levantando insights sobre os métodos de design utilizados durante cada etapa, além de levantar insights sobre obstáculos e hipóteses de soluções para futuros testes e para auxiliar futuros designers e pesquisadores. Foram realizados dois ciclos de desenvolvimento para ambos o hardware e o aplicativo do sistema além de testes com potenciais usuários. Além disso, foi desenvolvido um sistema que incorpora melhorias como antecipação de acordes, simplificação de notação musical e implementação de demandas do público-alvo.

**Palavras-chave:** design de interação; interação humano-computador; instrumentos musicais aumentados; aprendizado musical.

## ABSTRACT

In recent years, the computer music research field has seen the emergence of several technologies that allow new means for music interaction, varying from new music playback devices to new Digital Musical Instruments (DMIs) and *smart instruments*. Particularly the advancements in Internet of Things (IoT) and gestural interfaces technologies contribute to the creation of augmented musical instruments, which benefit from these technologies to implement new features. In the context of musical learning, systems that use LEDs to display musical content directly on the instrument's body emerge – e.g., Fretlight, Fret Zealot and Populele -, which will be referred to as Augmented Musical Instruments for Study (AMIS). Study). This creates new opportunities to help beginner musicians in the learning process, which involves the acquisition of cognitive and motor skills to the understanding of musical concepts and their application onto the instrument. Thus, it is possible that these technologies could be used to solve some obstacles related to the learning process, e.g., guide and motivate the student in the learning process, support skill acquisition, etc. However, these systems are inserted in an interaction design context that has requirements in different dimensions: interaction systems, hardware-software codesign, real-time systems as well as musical learning. This demands aspects in engineering (e.g., power consumption, latency, reliability); usability (e.g., legibility, information anticipation and occlusion); design process (e.g., idea exploration, prototyping, feature selection, adaptability to system changes); and music learning (e.g., student motivation, different means of learning, etc.); in addition to being a relatively new research area, which lacks structured design methods and guidelines. Thus, this project investigates how these AMIS can be developed to support music learning, aiming to reach a part of the audience that has not been covered by existing solutions, also focusing in the activation process and student engagement. Therefore, it was developed, in partnership with the Pernambuco based company Daccord Music Software, an acoustic guitar with LEDs capable of display musical notes/chords in the instrument's fretboard, mainly focusing in the services for this AMIS and in meeting users' needs. It was possible to identify a process to develop AMIS for acoustic guitars, raising insights about the design methods in each step of the process and about the obstacles involved, as well as possible solutions for future testing that could help future designers and researchers. Two development cycles were carried out for both the hardware and

the system application in addition to testing with potential users. Furthermore, it was developed a system that incorporates improvements such as chord anticipation, music notation simplification and that implements users' demands.

**Keywords:** interaction design; human-computer interaction; augmented musical instruments; music learning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	iChords.	26
Figura 2 –	Projeto VioLED	27
Figura 3 –	Teclado conectado a uma interface computacional por meio do protocolo MIDI.	31
Figura 4 –	De cima para baixo, da esquerda para direita: Apple iPhone XS, Samsung Smart TV, Wacom Cintiq Pro e painel de controle do Tesla.	32
Figura 5 –	Modelo de DMI proposto por ROVAN et.al., 1997.	33
Figura 6 –	De cima para baixo, da esquerda para a direita. Aether Cone, Aumeo headphone personalizer, concerto da banda Coldplay usando pulseiras Xylobands, Soundbrenner Pulse.	36
Figura 7 –	Exemplo de aplicações para o aprendizado de instrumentos.	37
Figura 8 –	Representação de Piano Roll.	54
Figura 9 –	Representações gráficas. Partitura (superior esquerda), tablatura (superior direita), cifra (inferior esquerda), representação do acorde Dó maior (inferior direita).	54
Figura 10 –	Kalimba.	56
Figura 11 –	Diferentes microcontroladores Arduino.	63
Figura 12 –	Interface do Proto.io.	64
Figura 13 –	Padrões de interface de aplicativos.	65
Figura 14 –	Padrões de interação em tela multitoque para aplicativos que utilizam o sistema operacional iOS.	66
Figura 15 –	Processo de design adotado.	70
Figura 16 –	Linha do desenvolvimento detalhada do desenvolvimento do projeto.	74
Figura 17 –	Observação no processo de design.	77
Figura 18 –	Persona 1: Adolescente que nunca tocou um instrumento musical.	79
Figura 19 –	Persona 2: Adulta que tentou aprender e se frustrou.	80
Figura 20 –	Persona 3: Aposentado que está procurando um novo hobby.	81
Figura 21 –	Persona 4: Jovem adulto que já sabe tocar.	82
Figura 22 –	Fretlight.	89

Figura 23 – Fret Zealot.	90
Figura 24 – Esquema de cores para os dedos da mão esquerda no aplicativo do Fret Zealot.	91
Figura 25 – FretX.	91
Figura 26 – gTar.	92
Figura 27 – Esquema de cores da gTar.	93
Figura 28 – Populele.	94
Figura 29 – EZ Guitar (superior) e ION All-Star Guitar (inferior).	95
Figura 30 – Yamaha EZ Keyboard (acima) e Clavinova CSP (abaixo).	96
Figura 31 – Protótipo de realidade aumentada para ensino de guitarra.	97
Figura 32 – TAP: The Augmented Piano.	98
Figura 33 – Music Everywhere.	98
Figura 34 – Yalp (esquerda), Chordify (centro) e Fender Riffstation (direita).	100
Figura 35 – Yousician.	101
Figura 36 – Gráfico de valores para Fret Zealot, FretX, Populele e Fretlight.	109
Figura 37 – Gráfico de valores para gTar, Ion All-Star Guitar, Yamaha EZ Guitar, Yamaha EZ Keyboard, Yamaha Clavinova CSP, Tabber Guitar Sleeve, GuitAR, P.I.A.N.O., T.A.P. e Instant Musician.	109
Figura 38 – Gráfico de valores para Dream Piano Arcade, Chordify, Yalp, Yousician, Songsterr, Guitar Pro.	110
Figura 39 – Gráfico de valores para Fender Riffstation, Synthesia, MyMusicTeacher, Jameasy, FourChords e sites de cifras (e.g. CifraClub).	110
Figura 40 – Ideação inicial no processo de design.	113
Figura 41 – Desenvolvimento do protótipo no processo de design.	119
Figura 42 – Exemplos de interfaces geradas na dinâmica 2.	121
Figura 43 – Etapa de avaliação do protótipo inicial no ciclo de desenvolvimento.	122
Figura 44 – LED WS2812B.	123
Figura 45 – Escala do protótipo desenvolvido.	124
Figura 46 – Etapa de aprendizado da versão v0.2 no ciclo de desenvolvimento.	125
Figura 47 – Etapa de construção da versão v0.2 no ciclo de desenvolvimento.	126

Figura 48 – Etapa de medição da versão v0.2 no ciclo de desenvolvimento.	127
Figura 49 – Interface do Modo de Música utilizando o aplicativo TouchOSC.	129
Figura 50 – Interface do Modo de Animações utilizando o aplicativo TouchOSC.	130
Figura 51 – Interface do Modo de Escalas utilizando o aplicativo TouchOSC.	130
Figura 52 – Formato do protocolo de comunicação.	133
Figura 53 – Exemplo de mensagem de ligar/desligar nota.	134
Figura 54 – Esquema da arquitetura atual do sistema.	134
Figura 55 – Modo dicionário do aplicativo. Dicionário de acordes (à esquerda) e escalas (à direita).	136
Figura 56 – Modo de Dicionário de Escalas.	136
Figura 57 – Esquema de navegação para aprender a tocar uma música.	137
Figura 58 – Ajuste de andamento da música.	138
Figura 59 – Modo de animações.	138
Figura 60 – Antecipação de acorde.	139
Figura 61 – Oclusão causada pela mão do usuário.	143
Figura 62 – Interface inicial do iChords v0.4.	151
Figura 63 – Tela de performance do iChords v0.4	152
Figura 64 – Tela do protótipo de loja da versão v0.4 do iChords.	153
Figura 65 – Nova etapa de aprendizado para o segundo ciclo de desenvolvimento do aplicativo no diagrama de desenvolvimento.	153
Figura 66 – Exemplo de caixa morfológica	155
Figura 67 – Notações gráficas comuns na música ocidental: partitura (esquerda), tablatura (centro) e cifra (direita).	158
Figura 68 – Padrão de cifra utilizado por Almir Chediak.	159
Figura 69 – Diferentes interfaces de aplicativos musicais.	159
Figura 70 – Matriz esforço vs impacto das histórias de usuário.	165
Figura 71 – Diferentes versões do vídeo com elementos em preto e branco.	167
Figura 72 – Versão final do vídeo emulando a tela de performances do iChords versão v0.5 (esquerda) e tela do aplicativo (direita).	168
Figura 73 – Estudo de área disponível para exibição do conteúdo.	169
Figura 74 – Desenvolvimento do iChords v.0.5 no ciclo de design.	170

Figura 75 – Arquitetura do iChords v0.5.	170
Figura 76 – Formato de input das músicas.	171
Figura 77 – Avaliação do sistema no processo de design.	173
Figura 78 – Setup do experimento da SNCT.	174
Figura 79 – Faixa etária dos participantes.	175
Figura 80 – Familiaridade dos participantes com instrumentos musicais.	175
Figura 81 – Resultados do questionário relacionados com preferência (acima), confiança (abaixo).	176
Figura 82 – Resultados do questionário relacionados com potencial de adesão (abaixo).	176
Figura 83 – Respostas do questionário relacionadas com a experiência do aprendiz.	181
Figura 84 – Quadro de avaliação Jamboard 1 (P01-PESQ).	183
Figura 85 – Quadro de avaliação Jamboard 2 (P02-PESQ,FR).	183
Figura 86 – Quadro de avaliação Jamboard 3 (P03-DEV).	183
Figura 87 – Quadro de avaliação Jamboard 4 (P04-DT,FR).	184
Figura 88 – Quadro de avaliação Jamboard 5 (P05-U,FR).	184
Figura 89 – Quadro de avaliação Jamboard 6 (P06-PESQ).	184
Figura 90 – Distância entre o iChords VioLED e demais produtos.	185
Figura 91 – Apresentação com o sistema VioLED.	196

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Matriz de importância vs satisfação para tópicos identificados durante a elaboração dos <i>Jobs-to-be-Done</i> .	87
Quadro 2 –	Serviços e valores identificados durante a análise de similares.	104
Quadro 3 –	Exemplo de conceitos e funcionalidades geradas durante a dinâmica de <i>brainwriting</i> 6-3-5.	115
Quadro 4 –	Caixa morfológica do segundo ciclo de desenvolvimento para o aplicativo do iChords VioLED	162

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Escala de concordância de Likert utilizada durante a avaliação.	179
Tabela 2 –	Resultados do SUS para a versão v0.4 do iChords + VioLED.	180
Tabela 3 –	Desvios padrões na medição das distâncias entre o iChords VioLED e demais produtos.	186

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 –	Cálculo de oportunidade.	86
Equação 2 –	Consumo de corrente da plataforma (acima) e de cada LED (abaixo).	149
Equação 3 –	Corrente no pior caso (todos os LEDs acesos na cor branca).	149
Equação 4 –	Cálculo de resultado do System Usability Scale.	180

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
1.1	MOTIVAÇÃO	22
1.2	OBJETIVOS	23
1.3	ABORDAGEM E MÉTODO	24
1.4	OPORTUNIDADE NA DACCORD MUSIC	26
<b>1.4.1</b>	<b>Novas oportunidades no mercado musical para o aprendizado musical</b>	<b>27</b>
1.5	ESTRUTURA DA TESE	28
<b>2</b>	<b>AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA INTERAÇÃO E ENSINO MUSICAL</b>	<b>30</b>
2.1	INSTRUMENTOS MÚSICAIS DIGITAIS (DMIS)	32
2.2	TECNOLOGIAS DE IOT EM MÚSICA	34
2.3	TECNOLOGIA NO ENSINO MUSICAL	38
2.4	TECNOLOGIAS DE IOT NO ENSINO	40
2.5	TECNOLOGIAS DE REALIDADE AUMENTADA NO ENSINO	41
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
<b>3</b>	<b>DESAFIOS DE DESIGN</b>	<b>45</b>
3.1	DESAFIOS EM DESIGN DE INTERAÇÃO	45
3.2	DESAFIOS NO DESIGN SIMULTÂNEO DE HARDWARE E SOFTWARE	48
3.3	DESAFIOS DE APLICAÇÕES EM TEMPO REAL	49
<b>3.3.1</b>	<b>Interação em tempo real</b>	<b>51</b>
3.4	DESAFIOS DURANTE O APRENDIZADO MUSICAL	52
<b>3.4.1</b>	<b>Representações musicais</b>	<b>52</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Autodeterminação e Curva de aprendizado</b>	<b>55</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Habilidades envolvidas no aprendizado musical</b>	<b>57</b>
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
<b>4</b>	<b>REVISÃO DE MÉTODOS</b>	<b>60</b>
4.1	ABORDAGENS DE DESIGN	60
4.2	MÉTODOS DE PROTOTIPAÇÃO	61
<b>4.2.1</b>	<b>Ferramentas de prototipação de hardware</b>	<b>62</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Ferramentas de prototipação de software</b>	<b>64</b>
4.3	MÉTRICAS PARA AQUISIÇÃO E RETENÇÃO	66

4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
<b>5</b>	<b>ABORDAGEM ADOTADA: PESQUISA ATRAVÉS DO DESIGN</b>	<b>69</b>
5.1	METODOLOGIA	69
<b>5.1.1</b>	<b>Aprender</b>	<b>71</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Construir</b>	<b>71</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Ideação</b>	<b>71</b>
5.1.3.1	Seleção de Ideias	72
5.1.3.2	Prototipação	73
<b>5.1.4</b>	<b>Medir</b>	<b>73</b>
5.2	CICLOS DE DESENVOLVIMENTO	74
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
<b>6</b>	<b>CICLO DE OBSERVAÇÃO</b>	<b>77</b>
6.1	LEVANTAMENTOS DE PERSONAS	77
6.2	USO DE ENTREVISTAS NO PROCESSO DE DESIGN	82
6.3	PROTOCOLO DAS ENTREVISTAS	83
6.4	RESULTADOS DAS ENTREVISTAS	84
<b>6.4.1</b>	<b>Temas comuns e Jobs-to-be-Done</b>	<b>85</b>
6.5	ANÁLISE DE SIMILARES	88
<b>6.5.1</b>	<b>Fretlight Guitar</b>	<b>88</b>
<b>6.5.2</b>	<b>Fret Zealot</b>	<b>89</b>
<b>6.5.3</b>	<b>FretX</b>	<b>91</b>
<b>6.5.4</b>	<b>gTar</b>	<b>92</b>
<b>6.5.5</b>	<b>Populele</b>	<b>93</b>
<b>6.5.6</b>	<b>Ion All-Star Guitar &amp; Yamaha EZ Guitar</b>	<b>94</b>
<b>6.5.7</b>	<b>Yamaha EZ Piano e Clavinova CSP</b>	<b>95</b>
<b>6.5.8</b>	<b>Realidade Aumentada</b>	<b>96</b>
<b>6.5.9</b>	<b>Aplicativos interativos</b>	<b>99</b>
<b>6.5.10</b>	<b>Serviços</b>	<b>101</b>
<b>6.5.11</b>	<b>Quadro de serviços e valores</b>	<b>103</b>
6.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
<b>7</b>	<b>CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE: IDEAÇÃO INICIAL</b>	<b>113</b>
7.1	DINÂMICA DE IDEAÇÃO	114
7.2	RESULTADOS INICIAIS DE IDEAÇÃO	115

7.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
<b>8</b>	<b>O PROTÓTIPO VIOLED</b>	<b>119</b>
8.1	PROTÓTIPOS DE BAIXA FIDELIDADE	120
<b>8.1.1</b>	<b>Resultados da dinâmica</b>	<b>121</b>
8.2	TECNOLOGIAS DE HARDWARE	123
<b>8.2.1</b>	<b>Indicadores Luminosos</b>	<b>123</b>
<b>8.2.2</b>	<b>Microcontrolador</b>	<b>124</b>
8.3	VERSÃO V0.1	125
8.4	VERSÃO V0.2	125
<b>8.4.1</b>	<b>Configuração</b>	<b>126</b>
<b>8.4.2</b>	<b>Discussões</b>	<b>127</b>
8.5	MUDANÇA DO SOFTWARE DE CONTROLE DA VERSÃO V0.2	128
<b>8.5.1</b>	<b>Tecnologias Utilizadas</b>	<b>128</b>
<b>8.5.2</b>	<b>Configuração</b>	<b>129</b>
<b>8.5.3</b>	<b>Discussões</b>	<b>131</b>
8.6	VERSÃO V0.3	131
<b>8.6.1</b>	<b>Tecnologias Utilizadas</b>	<b>132</b>
8.6.1.1	Comunicação	132
8.6.1.2	Protocolo de comunicação	132
<b>8.6.2</b>	<b>Configuração</b>	<b>134</b>
8.6.2.1	Arquitetura do Sistema atual	134
8.6.2.2	Serviços	135
<b>8.6.3</b>	<b>Discussões</b>	<b>139</b>
8.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	139
<b>9</b>	<b>OBSTÁCULOS IDENTIFICADOS NO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE</b>	<b>141</b>
9.1	OBSTÁCULOS DE USABILIDADE	141
<b>9.1.1</b>	<b>Antecipação do acorde</b>	<b>141</b>
9.1.1.1	Hipóteses de soluções	141
<b>9.1.2</b>	<b>Oclusão</b>	<b>142</b>
9.1.2.1	Hipóteses de soluções	143
<b>9.1.3</b>	<b>Feedback relativos a acertos e erros</b>	<b>144</b>
<b>9.1.4</b>	<b>Escopo</b>	<b>146</b>
9.2	OBSTÁCULOS DE DESENVOLVIMENTO	146

<b>9.2.1</b>	<b>Abordagem intrusiva vs abordagem não-intrusiva</b>	<b>146</b>
<b>9.2.2</b>	<b>Latência e jitter</b>	<b>147</b>
<b>9.2.3</b>	<b>Consumo de energia</b>	<b>148</b>
9.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
<b>10</b>	<b>SEGUNDO CICLO DE DESENVOLVIMENTO PARA O SOFTWARE</b>	<b>151</b>
10.1	ICHORDS VERSÃO V0.4	151
<b>10.1.1</b>	<b>Discussões</b>	<b>153</b>
10.2	CAIXAS MORFOLÓGICAS	154
10.3	CAIXA MORFOLÓGICA NA IDEAÇÃO DO ICHORDS	155
<b>10.3.1</b>	<b>Identificando recursos e funcionalidades essenciais do software</b>	<b>155</b>
<b>10.3.2</b>	<b>Listar possíveis implementações para cada recurso ou função</b>	<b>157</b>
10.3.2.1	Tipos de conteúdo e interface	157
10.3.2.2	Feedback	160
10.3.2.3	Outros aspectos	161
<b>10.3.3</b>	<b>Desenhar uma tabela contendo as possíveis subsoluções</b>	<b>162</b>
<b>10.3.4</b>	<b>Identificar as combinações de soluções factíveis</b>	<b>162</b>
10.4	HISTÓRIAS DE USUÁRIO E PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES	163
10.5	VÍDEO DEMO E ESTUDO DE TELA	166
<b>10.5.1</b>	<b>Espaço disponível na tela</b>	<b>168</b>
10.6	ICHORDS V0.5	170
10.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	172
<b>11</b>	<b>AVALIAÇÃO DO SISTEMA</b>	<b>173</b>
11.1	EXPERIMENTO NA SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (SNCT)	173
<b>11.1.1</b>	<b>Setup</b>	<b>174</b>
<b>11.1.2</b>	<b>Perfil dos entrevistados</b>	<b>175</b>
<b>11.1.3</b>	<b>Resultados do questionário</b>	<b>175</b>
11.2	AVALIAÇÃO UTILIZANDO O SYSTEM USABILITY SCALE (SUS)	178
11.3	SEGUNDA ETAPA DE AVALIAÇÃO	182
11.4	ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS	187
<b>11.4.1</b>	<b>Resultados</b>	<b>188</b>
11.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	191
<b>12</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>193</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>200</b>

<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SEMIESTRUTURADO COM POTENCIAIS USUÁRIOS</b>	<b>211</b>
<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE IMPORTÂNCIA E SATISFAÇÃO PARA JOBS-TO-BE-DONE</b>	<b>212</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a área de computação musical tem presenciado o surgimento de diversas tecnologias que permitem novas formas de interação com música. Sistemas que variam desde novas maneiras de reprodução musical (e.g. Aether Cone<sup>1</sup>) aos chamados Instrumentos Musicais Digitais (DMIs, do inglês *Digital Musical Instruments*) (MIRANDA; WANDERLEY, 2006) e *smart instruments* (TURCHET; FISCHIONE; BARTHET, 2017).

Particularmente nas áreas de interfaces gestuais e Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), a evolução tecnológica propicia a criação dos chamados instrumentos musicais aumentados, também conhecidos como instrumentos híbridos ou *hyperinstruments*, i.e., instrumentos acústicos (ou elétricos) que podem ser integrados com tecnologias de computação física – sensores, atuadores, microcontroladores, etc. – para estender as capacidades sonoras do instrumento (e.g. adicionando novos recursos como efeitos sonoros).

Além disso, no contexto do aprendizado de instrumentos musicais, novos sistemas, que serão referenciados no texto como AMIS (do inglês, *Augmented Musical Instruments for Study*), se beneficiam destas tecnologias de IoT podem ser vistos em pesquisas acadêmicas (LÖCHTEFELD et al., 2011; RAYMAEKERS; VERMEULEN, 2014; ROGERS et al., 2014), bem como em novas tendências do mercado de instrumentos musicais como o Fretlight<sup>2</sup>, Fret Zealot<sup>3</sup>, Populele<sup>4</sup> e Yamaha Clavinova CSP<sup>5</sup>. É possível notar o surgimento destes instrumentos integrados com indicadores luminosos, e.g. diodos emissores de luz (LEDs, do inglês *Light Emitter Diodes*) para visualização de conteúdo representativo musical – notas, escalas e/ou lições musicais, entre outros – diretamente no corpo do instrumento, com intuito de auxiliar o aprendizado de músicos iniciantes.

Este tipo de aplicação é propiciado devido ao crescimento, nos últimos anos, de áreas como IoT, interfaces gestuais, computação física e popularização da internet de banda larga. Estas áreas vêm ganhando atenção de pesquisadores da área de Interação Humano-Computador (HCI, do inglês *Human-Computer Interaction*) e do

---

<sup>1</sup> Mais informações disponíveis em: < <https://trendland.com/the-thinking-music-player/>>.

<sup>2</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://fretlight.com/>>.

<sup>3</sup> Mais informações disponíveis em: <<http://fretzealot.com/>>.

<sup>4</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://popuband.com/>>.

<sup>5</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://yamaha.io/2E8maKI>>.

público geral com o surgimento de tecnologias como *smartphones*, *tablets*, *wearable devices*, etc., além de possibilitarem a criação de sistemas como veículos autônomos, ambientes inteligentes, controle de recursos (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010) e também de produtos na área musical, incluindo instrumentos musicais.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

O surgimento destes instrumentos imbuídos de tecnologias de visualização de informação gera oportunidades para criação de serviços que possam auxiliar o aprendizado de instrumentos musicais. Durante este aprendizado, as pessoas necessitam desenvolver tanto habilidades motoras quanto habilidades cognitivas para entender conceitos musicais, notações musicais (para grande parte dos instrumentos), postura, corpo de técnicas, etc., e ainda traduzir estas informações no corpo do instrumento (PALMER; MEYER, 2000).

Jordà discute que depende da curva de aprendizado do instrumento, mais especificamente destaca dois pontos relacionados com esta curva: o ponto de recompensa – tempo que leva para o musicista adquirir habilidades tais que a sua experiência se torne agradável – e o ponto de domínio ou maestria – ponto para que o musicista aprenda como controlar a performance com o instrumento (JORDÀ, 2004). O autor ainda discute que enquanto instrumentos como piano e kalimba possuem uma facilidade para obter um resultado sonoro mínimo, instrumentos como flauta transversal e violino possuem uma maior dificuldade de início. Pesquisadores ainda discutem que o processo de masterização de alguns instrumentos musicais, e.g. piano e violino, é bastante longo, podendo levar cerca de 10 anos para alcançar este nível (WANDERLEY; ORIO, 2002). Além disso, outros obstáculos físicos devem ser ultrapassados durante este processo, como calos, dores nos dedos, mãos e braços ao pressionar as cordas dos violões ou ao aprender instrumentos de percussão, dores nos músculos da face durante o aprendizado de instrumentos de sopro, entre outros.

Estes obstáculos combinados aos processos e ferramentas existentes para ensino e aprendizado de instrumentos musicais, seja no ensino formal – escolas de música, professores particulares, etc. – ou no ensino informal – revistas e sites de cifras, vídeo aulas, aplicativos interativos, etc. – podem afetar a motivação do músico e, possivelmente, levar à desistência de diversos iniciantes no aprendizado de instrumentos. É algo que vem sendo notado por grandes fabricantes de instrumentos,

como a empresa Fender, a qual reportou que cerca de 90% dos iniciantes abandonam o instrumento no primeiro ano (CARBONARA, 2018).

Os AMIS poderiam, então, ser utilizados para auxiliar o processo de aprendizagem ao buscar aumentar a legibilidade e inteligibilidade do conhecimento musical durante este processo, facilitando a visualização da notação musical diretamente no instrumento para auxiliar o aprendizado motor. Além disso, os serviços atrelados a estes AMIS podem incorporar elementos que auxiliem a motivação e engajamento dos estudantes, e.g. elementos de redes sociais, gamificação, etc.

## 1.2 OBJETIVOS

Neste contexto, o **objetivo principal** do projeto é investigar **como** estes avanços tecnológicos nas áreas de IoT, interfaces gestuais e computação física, particularmente estes AMIS podem ser desenvolvidos para auxiliar o aprendizado musical do violão popular, buscando atingir uma parcela do público que gostaria de aprender a tocar violão ou que tentou aprender com métodos existentes – escolas de música, cursos online, sites e revistas de cifras, videoaulas, entre outros. Além disso, busca-se utilizar estes AMIS como forma de guiar os usuários, tentando descomplicar o processo, sanar algumas das dores durante do aprendizado de instrumentos e permitindo que consigam aprender a tocar músicas mais rapidamente.

Entretanto, primeiramente devemos explorar o problema para identificar o que deve ser realizado e quais são os serviços que devem ser priorizados. Assim podemos dividir as perguntas de pesquisa em:

1. Como estes sistemas de instrumentos aumentados e serviços podem ser desenvolvidos para auxiliar o aprendizado musical de violão popular?
2. Quais são os serviços que precisam ser atacados para auxiliar este aprendizado?

Este projeto foca particularmente no processo de desenvolvimento de um sistema que contém um instrumento aumentado e um software para o público não coberto pelos métodos de aprendizado de violão popular existentes. Além disso, pode-se identificar indícios no impacto que desse sistema na ativação e retenção destes usuários, o que pode impactar no aprimorar engajamento dos músicos no processo de aprendizado e atuando nos conceitos de autoeficácia (MARGOLIS; MCCABE,

2006; MCPHERSON; MCCORMICK, 2006) e autodeterminação (RYAN; DECI, 1985 p.70) dos usuários.

Além disso, ainda é possível identificar algumas *guidelines* relativas à usabilidade e prototipação destes instrumentos devido aos desafios encontrados durante o desenvolvimento do protótipo. Estas *guidelines* podem auxiliar novos designers de AMIS no desenvolvimento de sistemas similares.

### 1.3 ABORDAGEM E MÉTODO

Para atingir estes objetivos, foi desenvolvido, em uma iniciativa da empresa Daccord Music Software<sup>6</sup> em parceria com a Batebit Artesania Digital<sup>7</sup>, um sistema que compreende um violão que contém LEDs instalados entre o braço e a escala do instrumento. Com esta plataforma, é possível exibir o conteúdo de representação musical (notas, acordes, escalas musicais, etc.) e elaborar métodos para auxílio no aprendizado musical.

Estas plataformas possuem desafios por estarem inseridas em um contexto específico de design de interação, com demandas e desafios em diferentes dimensões: por serem sistemas interativos, por serem plataformas em que *hardware* e *software* são projetados e utilizados simultaneamente, por serem sistemas interativos em tempo real e por estarem inseridas no contexto de aprendizado musical, o que pode demandar um maior cuidado em seu design.

Estes desafios estão relacionados com HCI, como requerimentos de usabilidade do sistema, facilidade de uso e aprendizado, dificuldade da tarefa, entre outros; desafios no design simultâneo de hardware e software (*HW/SW codesign*), como a influência dos requerimentos de software em mudanças de hardware e vice-versa, além de confiabilidade de componentes, níveis de abstração de programação, entre outros; desafios pelo fato de serem sistemas de tempo real, como o aumento de complexidade, visualização e entendimento de como será a interação, latência/jitter e confiabilidade dos protocolos de comunicação. Por fim, como estão inseridas no contexto musical, desafios relacionados com o aprendizado das notações musicais, a motivação do usuário, as habilidades que devem ser adquiridas e transferidas para o instrumento (PAINE, 2005), etc. devem ser levados em consideração.

---

<sup>6</sup> Mais informações em: <<https://www.daccord.com.br/quemsomos/>>.

<sup>7</sup> Mais informações em: <<http://batebit.cc>>.

Assim, a abordagem adotada envolveu a utilização de princípios de design centrado no usuário (NORMAN; DRAPER, 1986) – que parte da ideia de buscar as soluções dos problemas de determinada área a partir das pessoas que fazem parte do contexto – e de rápida prototipação para gerar soluções o mais cedo possível para que aspectos fundamentais sejam identificados, além de obstáculos e funcionalidades que devem ser descartadas.

De forma a situar o leitor, pode-se dividir o desenvolvimento em dois ciclos: o desenvolvimento do sistema de hardware e do aplicativo que irá enviar mensagens para o sistema de hardware.

Inicialmente foram realizadas dinâmicas de geração de ideias utilizando métodos tradicionais de design para identificar aspectos e conceitos essenciais do sistema. Após esta etapa inicial, durante o desenvolvimento das versões do protótipo foi possível identificar algumas diretrizes de usabilidade – e.g. presença de antecipação dos acordes para os usuários e variação de andamento da música (velocidade que a música é tocada) –; possíveis diretrizes que devem ser investigadas – e.g. uso de padrão de cores para identificar a posição dos dedos –; aspectos de portabilidade do sistema e consumo de energia; além de identificar obstáculos específicos que devem ser contornados.

Ademais, durante o processo de desenvolvimento do protótipo, alguns aspectos apontam para a necessidade de um método consolidado para a criação destes AMIs aplicados ao aprendizado musical. Elementos como o uso de métodos de geração de ideias tradicionais (*brainstorming*, *brainwriting*) combinados à utilização de plataformas de rápida prototipação e programação (e.g. Arduino e Processing), além de aspectos relacionados com consumo de energia e protocolos de comunicação.

Durante o ciclo de desenvolvimento do sistema, foi realizado um levantamento de personas para identificar o público-alvo da solução. Levantadas as personas, entrevistas de investigação e validação do problema foram realizadas para levantamento dos principais problemas enfrentados por eles durante o aprendizado de violão popular.

Após o levantamento dos temas mais comuns levantados pelos usuários, foram utilizados métodos como caixas morfológicas, levantamento de histórias do usuário e priorização das funcionalidades a serem desenvolvidas junto à equipe da empresa Daccord. Além disso, foi realizado um estudo de usabilidade relacionado com a área útil de exibição de conteúdo do aplicativo junto à equipe de design da empresa. Após

as etapas iniciais, durante os estágios iniciais do desenvolvimento do aplicativo, vídeos demonstrativos foram feitos pela equipe de produção visual da empresa para visualização e estudo das possibilidades de exibição do conteúdo musical na tela do dispositivo móvel.

#### 1.4 OPORTUNIDADE NA DACCORD MUSIC

A Daccord Music Software é uma empresa de tecnologia musical brasileira que atua no mercado de comércio eletrônico nacional, também atuando no mercado internacional desde 2003. Além de ser revendedora de diversos produtos relacionados com aprendizado musical e produção musical – possuindo exclusividade na distribuição de alguns softwares bastante utilizados no mercado, e.g. Finale<sup>8</sup>, Mixcraft<sup>9</sup> e FL Studio<sup>10</sup> –, também desenvolveu diversos softwares de educação musical como o Afinador de Violão, Dicionários de Violão e Teclado, Violão Master<sup>11</sup>, Violão Player<sup>12</sup>, entre outros.

Figura 1 – iChords.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Em 2006, a Daccord iniciou o projeto que deu nome ao software iChords (FIGURA 1). O software é capaz de extrair automaticamente, por meio de ferramentas de Recuperação de Informação Musical (MIR, do inglês *Music Information Retrieval*), informações como os acordes, tempos e tonalidades de músicas armazenadas em

<sup>8</sup> Mais informações em: <<https://www.finalemusic.com/>>.

<sup>9</sup> Mais informações em: <<https://www.acoustica.com/mixcraft/>>.

<sup>10</sup> Mais informações em: <<https://www.image-line.com/flstudio/>>.

<sup>11</sup> Mais informações em: <[https://daccord.com.br/violaomaster\\_detalhes/](https://daccord.com.br/violaomaster_detalhes/)>.

<sup>12</sup> Mais informações em: <[daccord.com.br/violaoplayer20\\_detalhes](https://daccord.com.br/violaoplayer20_detalhes/)>.

arquivos de áudio. Assim, o sistema exibe, de maneira intuitiva, como os acordes da música devem ser tocados no violão, utilizando representações de acordes e antecipando em animações os acordes que deverão ser tocados.

Possuindo expertise nas tecnologias de processamento de áudio e aplicações interativas, a empresa tomou a iniciativa de analisar as tendências de mercado e a oportunidade da aplicação das tecnologias de IoT para o aprendizado musical.

#### 1.4.1 Novas oportunidades no mercado musical para o aprendizado musical

Em 2016, a empresa iniciou uma nova fase do software iChords, buscando integrar o conteúdo musical disponível e espalhado pela internet, como serviços de streaming de música, cifras musicais, letras e lições em um único sistema. Também integrando esta ideia aos avanços tecnológicos da área de IoT para construir um violão que pudesse auxiliar músicos no processo de aprendizado: o projeto VioLED (FIGURA 2). O VioLED foi uma iniciativa da Daccord music em parceria com a empresa Batebit Artesania digital, para desenvolver o hardware do VioLED.

Figura 2 – Projeto VioLED



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Esta iniciativa partiu das oportunidades e tendências do mercado musical. Primeiramente, o crescimento dos serviços de streaming de música – Spotify, Youtube, Apple Music, etc. – e a existência de APIs para conexão com estes serviços proporciona a integração destes AMIS com um crescente acervo de músicas. Além

disso, algumas APIs disponíveis utilizam tecnologias de MIR para análise e processamento dos áudios destas músicas (Spotify<sup>13</sup>, The Echo Nest<sup>14</sup>, Discogs<sup>15</sup>, Gracenote<sup>16</sup>). Ademais, a evolução das tecnologias de IoT e as grandes bases de dados de cifras (e.g., Cifra Club, Cifras, Ultimate Guitar) podem ser conectadas com estes instrumentos para combinar todos estas informações em um sistema único.

O projeto desta tese parte foca primariamente no desenvolvimento do software de controle do hardware (software embarcado) e no aplicativo de interação, tendo como ponto de partida o *hardware* do VioLED em sua primeira versão v0.1 desenvolvida pela empresa Batebit. Entretanto, alguns aspectos relativos a alterações de hardware e arquitetura do sistema serão discutidos, uma vez que focam implicam em modificações de software.

## 1.5 ESTRUTURA DA TESE

Esta seção descreve como a tese está estruturada da seguinte maneira:

- O capítulo 2 descreve os avanços tecnológicos na interação musical, incluindo a descrição dos instrumentos musicais digitais, avanços em tecnologias na área da internet das coisas, além de aplicações na área musical;
- O capítulo 3 descreve os desafios durante o processo de design de serviços similares com instrumentos aumentados e *software*, destacando os desafios nas áreas de Interação Humano-Computador (HCI), no design simultâneo de *hardware* e *software*, desafios por serem sistemas de tempo real e por serem sistemas de aprendizado musical;
- O capítulo 4 descreve uma revisão de métodos no design de sistemas similares ao apresentado nesta tese;
- O capítulo 5 apresenta a abordagem de design adotada durante o projeto, detalhando as etapas do processo.
- O capítulo 6 apresenta o ciclo de observação, o qual envolveu o levantamento das personas, entrevistas para validação do problema e análise dos similares.

---

<sup>13</sup> Mais informações em: <<https://developer.spotify.com/>>.

<sup>14</sup> Mais informações em: <<http://static.echonest.com/enspex/>>.

<sup>15</sup> Mais informações em: <<https://www.discogs.com/developers/>>.

<sup>16</sup> Mais informações em: <<https://developer.gracenote.com/web-api/>>.

- Os capítulos 7, 8 e 9 descrevem o primeiro ciclo de desenvolvimento do sistema: o ciclo de desenvolvimento do *hardware* do VioLED. Este ciclo engloba o processo de ideação, a apresentação das iterações do VioLED e os obstáculos encontrados durante esse processo.
- O capítulo 10 descreve o segundo ciclo de desenvolvimento, apresentando as etapas de ideação, seleção e priorização de funcionalidades e descrição do aplicativo iChords.
- O capítulo 11 descreve o processo de avaliação do sistema. Primeiramente o experimento realizado com potenciais usuários durante a 16ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia e uma segunda etapa de avaliação do iChords VioLED com potenciais usuários e com especialistas.

## 2 AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA INTERAÇÃO E ENSINO MUSICAL

Este capítulo discute como os avanços tecnológicos na área de Interação Humano-Computador (HCI, do inglês Human-Computer Interaction) e Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) vêm alterando as formas de interação na área musical e como proporcionaram o surgimento dos Instrumentos Musicais Aumentados (AMIs, do inglês *Augmented Musical Instruments*) no contexto de aprendizado musical. Além disso, descreve avanços tecnológicos no ensino musical, integração de tecnologias de IoT e realidade aumentada (AR) no ensino.

Evidências dos avanços tecnológicos em música podem ser notados ao longo de gerações, como técnicas para tratamento de couro de animais, madeira e técnicas para produzir metais na fabricação de novos instrumentos. Além disso, a descoberta da eletricidade e invenção do telefone possibilitaram a conversão de ondas sonoras em sinais elétricos e vice-versa (GOHN, 2001) e impulsionaram a invenção de instrumentos como o *Dynamophone*, um dos precursores dos sintetizadores atuais (SHEPARD, 2013) e do Thérémin; a concepção dos instrumentos elétricos utilizados atualmente e avanços nos sistemas de amplificação de áudio.

A evolução das mídias digitais e a criação de microprocessadores, culminou na criação de um protocolo para comunicação entre os instrumentos musicais e os sistemas computacionais: o protocolo MIDI (“*Musical Instruments Digital Interface*”). Com o avanço nos protocolos de comunicação, processamento dos computadores atuais e como alternativa ao protocolo MIDI, protocolos como o OSC (*Open Sound Control*) surgiram para esta interação de instrumentos com dispositivos computacionais (FIGURA 3), possibilitando a criação de diversos controladores e sintetizadores.

Figura 3 – Teclado conectado a uma interface computacional por meio do protocolo MIDI.



Fonte: GEARanking (2022)<sup>17</sup>

Junto a esta evolução de tecnologias musicais conectadas a sistemas digitais, o surgimento das interfaces gestuais trouxe uma gama de novas possibilidades de interação que não eram possíveis com as interfaces de botões, incluindo interações mais naturais (SAFFER, 2008). Estas interfaces gestuais buscavam romper com os paradigmas de interação computacionais que utilizavam monitores, teclados, mouses e o modelo WIMP (*Windows, Icons, Menus and Pointing devices*).

A popularização destas tecnologias após a publicação da pesquisa de Han (HAN, 2005) fez com que diversos dispositivos como controladores de videogame, eletrônicos de consumo— e.g. *smartphones, tablets, smart TVs, etc.* – (FIGURA 4) e dispositivos de captura de gestos fossem desenvolvidos (SAFFER, 2008).

---

<sup>17</sup> Disponível em: <<https://gearanking.com/pt/controladores-pt/teclados-controladores-midi-para-iniciantes-e-profissionais/>>.

Figura 4 – De cima para baixo, da esquerda para direita: Apple iPhone XS, Samsung Smart TV, Wacom Cintiq Pro e painel de controle do Tesla.



Fonte: Compilado de figuras feito pelo autor<sup>18</sup>

Na área de música, este salto tecnológico proporcionou a invenção de novas interfaces de interação com áudio e a possibilidade de criação de novos instrumentos (MIRANDA; WANDERLEY, 2006).

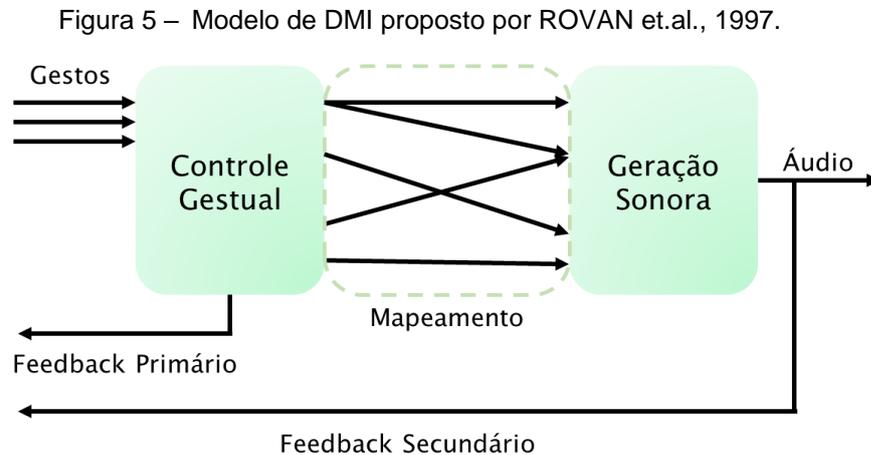
## 2.1 INSTRUMENTOS MUSICAIS DIGITAIS (DMIS)

Um destes casos de novas interações com áudio é a criação dos chamados Instrumentos Digitais Musicais (DMIs, do inglês *Digital Musical Instruments*). O aumento da capacidade de processamento dos computadores atuais ligado à evolução nas tecnologias de interação com áudio, protocolos de comunicação, sensores/atuadores, algoritmos de processamento de áudio e controle de interface, proporcionaram o desenvolvimento destes DMIs (MIRANDA; WANDERLEY, 2006).

Os DMIs são artefatos digitais construídos com a finalidade de produzir um resultado musical, os quais possuem a interface de controle independente da geração de resultado sonoro. Neste caso, os parâmetros de entrada (*input*) são relacionados com a saída sonora (*output*) por meio de um mapeamento (*mapping*) escolhido pelo designer do instrumento (MIRANDA; WANDERLEY, 2006; ROVAN et al., 1997). O controle de entrada é geralmente feito por gestos, sejam eles gestos livres ou

<sup>18</sup> Imagens retiradas da PCMag, tudocelular.com, digitalavmagazine.com e businesskorea.co.kr.

interagindo com algum objeto tangível. A figura abaixo (FIGURA 5) apresenta um modelo de DMIs proposto por pesquisadores da área (ROVAN et al., 1997):



Fonte: Figura composta pelo autor a partir do modelo de Rován et.al. (1997).

A partir desta independência do controle gestual e da geração sonora, a possibilidade de criação de novos instrumentos é expandida, uma vez que, diferentemente dos instrumentos acústicos convencionais, a produção sonora não é limitada pelas restrições físicas do instrumento (MIRANDA; WANDERLEY, 2006). Pesquisadores discutem que este mapeamento entre parâmetros de entrada e saída pode ser projetado com relação de *um-para-um*, convergente (muitos para um) ou divergente (um para muitos) (ROVAN et al., 1997), o que amplia as possibilidades de exploração de ideias. Ao combinar diferentes sensores e dispositivos de captura de gestos com os variados tipos de geração sonora, nota-se uma variedade de DMIs. Assim, Miranda e Wanderley propõem uma classificação para estes DMIs dependendo de certas características específicas (MIRANDA; WANDERLEY, 2006):

- **Instrumentos musicais aumentados:** Instrumentos acústicos que utilizam sensores e atuadores para aprimorar ou suas capacidades sonoras.
- **Simuladores de instrumentos acústicos:** DMIs construídos para reproduzir o controle gestual e a produção sonora de instrumentos acústicos existentes.
- **DMIs inspirados em instrumentos acústicos:** DMIs que herdam o controle gestual de instrumentos acústicos existentes, porém com finalidades sonoras diferentes.

- **Controladores alternativos:** Instrumentos que não possuem semelhança com instrumentos acústicos. Ainda assim podem ser criados para reproduzir o resultado sonoro de instrumentos acústicos.

Apesar de o protótipo utilizado neste projeto seguir uma linha similar aos instrumentos musicais aumentados, não pode ser exatamente categorizado na classificação proposta por Miranda e Wanderley. Neste caso, o propósito do aprimoramento do instrumento não está relacionado com suas capacidades sonoras, mas sim com a integração de novas tecnologias para o auxílio ao aprendizado musical.

## 2.2 TECNOLOGIAS DE IOT EM MÚSICA

Nos últimos anos, o crescimento da área de Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) foi impulsionado pela popularidade de eletrônicos de consumo – smartphones, tablets, *wearable devices*, etc. –, avanços nas tecnologias de sensores, atuadores, protocolos de comunicação e popularização da internet de banda larga. O que permitiu o crescimento de mercados como automação de casas, controle de sistemas de mídia a partir de *smartphones*, *smartwatches* entre outros. O crescente número de dispositivos conectados à internet (LUETH, 2020) junto à popularização da internet de banda larga e a proliferação das redes de conectividade Wi-Fi, 3G e 4G expandem o acesso aos serviços e ecossistemas de compartilhamento de dados, incluindo a possibilidade de conexão banda larga em dispositivos móveis. Além disso a difusão de sensores, atuadores, identificadores, tecnologias de comunicação (e.g. Bluetooth, Xbee, NFC) e popularização de microcontroladores (e.g. Arduino, Raspberry Pi, etc.) de baixo custo incentivam o desenvolvimento de projetos eletrônicos e computacionais. Estes componentes são essenciais em sistemas eletrônicos e computacionais (SMITH, 1993) e fazem parte das bases da arquitetura de sistemas de IoT (MINERVA; BIRU; ROTONDI, 2015).

Apesar das diferentes definições para o termo “*Internet of Things*” (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010), esta discussão foge do escopo deste projeto. Aqui utilizaremos a seguinte definição, descrita pela IEEE:

“Internet das Coisas é uma rede que conecta “Coisas” unicamente identificáveis à Internet. As “Coisas” possuem capacidades de sensoriamento/acionamento e potencial de programabilidade. Através da exploração da identificação única e do

sensoriamento, informação sobre a “Coisa” pode ser coletada e o estado da “Coisa” pode ser alterada de qualquer lugar, a qualquer momento e por qualquer coisa”.<sup>19</sup> (MINERVA; BIRU; ROTONDI, 2015).

Além dos aspectos relacionados com as “coisas”, suas capacidades e conexão à uma rede de comunicação, levaremos em consideração os **serviços** que as “coisas” podem fornecer por meio desta rede de comunicação, utilizando (ou não) interação humana, capturando informações e atuando no ambiente, etc. Assim, os **serviços** implementados para estas tecnologias acrescentam novos valores aos artefatos que se beneficiam das tecnologias de IoT.

Na área musical, estes avanços proporcionaram o surgimento de diversas aplicações diferentes na área de música. Exemplos imediatos são o controle de reprodução de músicas em determinados ambientes; controle de sistemas sonoros, a partir de um *smartphone* ou *tablet*, por meio de conexão via Internet é, possivelmente, a aplicação de IoT mais utilizada atualmente na área de música, especialmente com o crescimento de serviços de streaming de música. Exemplos de aplicações de IoT na área musical são reprodutores como o Aether Cone<sup>20</sup> (FIGURA 6, superior à esquerda), que reconhece o que as pessoas gostam de escutar e possibilitando sincronizar as músicas de várias pessoas e personalizando a playlist. Outros dispositivos visam ajustar as bandas de frequência das músicas para suprir falhas na audição do usuário (FIGURA 6, superior direita), auxílio artístico em concertos ao vivo (FIGURA 6, inferior à esquerda), auxílio de performance (FIGURA 6, inferior direita), ampliar elementos das músicas (Basselet<sup>21</sup>), entre outros.

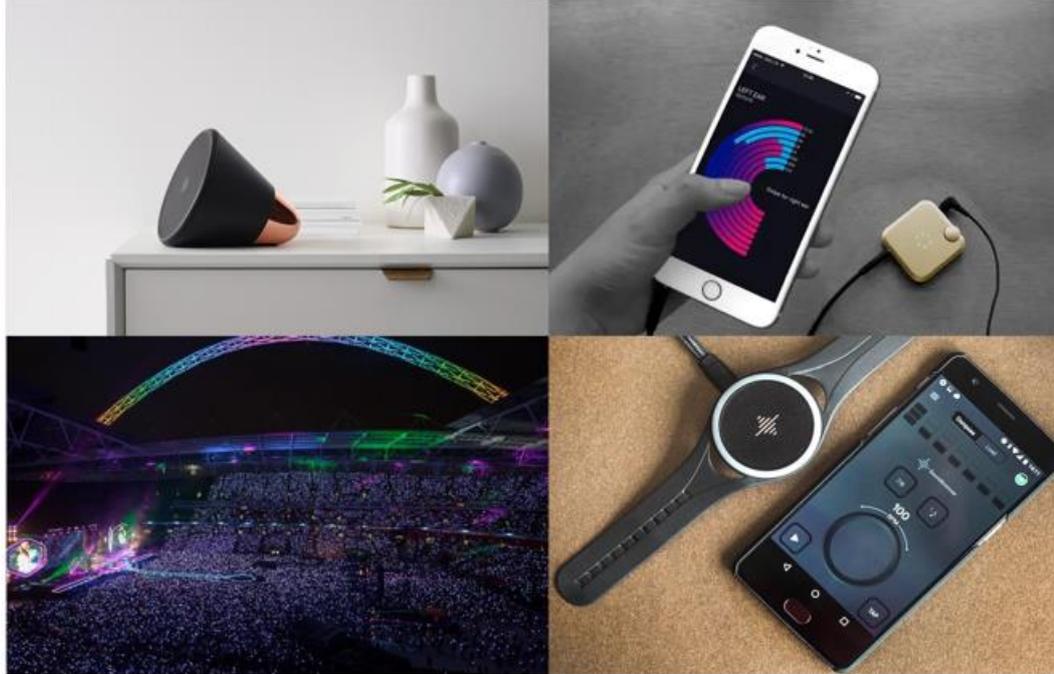
---

<sup>19</sup> “Internet of Things is a network that connects uniquely identifiable “Things” to the Internet. The “Things” have sensing/actuation and potential programmability capabilities. Through the exploration of unique identification and sensing, information about the “Thing” can be collected and the state of the “Thing” can be changed from anywhere, anytime, by anything”.

<sup>20</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://trendland.com/the-thinking-music-player/>>.

<sup>21</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://lofelt.com/>>.

Figura 6 – De cima para baixo, da esquerda para a direita. Aether Cone, Aumeo headphone personalizer, concerto da banda Coldplay usando pulseiras Xylobands, Soundbrenner Pulse.



Fonte: Compilado de imagens feita pelo autor<sup>22</sup>

Na literatura, alguns pesquisadores descrevem o conceito de “*Internet of Musical Things*” como uma rede de “coisas” musicais que podem ser conectadas para geração, exploração e consumo de conteúdo musical (TURCHET; FISCHIONE; BARTHET, 2017). Neste contexto, diversos dispositivos podem ser conectados para sincronizar, criar e mapear conteúdo, permitindo a interação entre músicos, entre músicos e a audiência, e entre indivíduos na audiência (TURCHET; FISCHIONE; BARTHET, 2017).

Além disso, uma das aplicações para as tecnologias de IoT em música é o caso dos AMIs, i.e., instrumentos musicais que podem ser integrados com tecnologia de IoT especificamente para o aprendizado destes instrumentos.

<sup>22</sup> Aether Cone, Aumeo Audio, concerto do grupo Coldplay e Soundbrenner Pulse.

Figura 7 – Exemplo de aplicações para o aprendizado de instrumentos.



Fonte: Compilado de imagens feito pelo autor<sup>23</sup>

Exemplos deste tipo de aplicação (FIGURA 7) são o Fretlight, Fret Zealot, Populele, Yamaha Clavinova CSP, entre outros. Estes instrumentos utilizam LEDs para que o conteúdo musical possa ser identificado diretamente no instrumento. Neste caso, os LEDs podem ser integrados no instrumento de forma intrusiva – embutidos durante o processo de fabricação – ou não-intrusiva (e.g. Fret Zealot) – afixados ao instrumento acústico como “luvas”.

Neste caso, o conteúdo musical e o “corpo” de técnicas que foram aperfeiçoados ao longo de gerações podem ser “traduzidos” para uma linguagem de visualização direta. As representações musicais gráficas passam a ser compreendidas no próprio no corpo do instrumento, o que pode auxiliar no processo de aprendizado, principalmente para músicos iniciantes que buscam o aprendizado informal e almejam alcançar o resultado musical mais rapidamente.

Entretanto, o design destas plataformas possui diversos desafios específicos do contexto em que estão inseridas (discutidos no próximo capítulo), fazendo com que diversas destas soluções sejam desenvolvidas utilizando uma abordagem *ad hoc*, ou seja, seus serviços são criados independentemente das outras disponíveis do mercado, não aproveitando de aspectos de usabilidades que podem ser encontrados nas outras soluções. Além disso, a falta de diretrizes de usabilidade pode fazer com que funcionalidades essenciais possam ser esquecidas, e.g., *feedback*, controle de velocidade do acompanhamento, etc.

<sup>23</sup> Imagens retiradas dos vídeos do youtube do Fretlight, FretX, Populele e Yamaha Clavinova CSP.

## 2.3 TECNOLOGIA NO ENSINO MUSICAL

*“Ironically, whereas technology used to be viewed as a threat to music as an art form, a threat to music teachers and music teaching, and a threat to the humanness of music, technology is now embraced for its potential to save music education from a slow and ignominious death” (MANTIE, 2017 pp. 23).*

No livro *“The Oxford Handbook of Technology and Music Education”* Mantie descreve uma visão que alguns professores e pesquisadores da área musical possuem da adesão de tecnologias no ensino e aprendizado de música. Pesquisadores como Sousa retratam uma preocupação, ou especificamente uma “ameaça”, no uso de música produzida por máquinas<sup>24</sup>, ressaltando que tecnologias como o fonógrafo estavam substituindo instrumentos convencionais e tomando seus lugares no processo de aprendizado e consumo de música (SOUSA, 1906). Sousa argumentava que este tipo de tecnologia iria resultar no possível declínio do aprendizado musical, uma vez que não haveria esforços para as crianças se empenharem na prática prejudicando também a profissão do professor de música.

Em contrapartida, outros pesquisadores relatam exatamente o oposto. Ao negligenciar os avanços tecnológicos para o ensino musical, podem resultar no desinteresse do público mais jovem. Mantie ainda discute que diversas das pesquisas orientadas na área de tecnologias para educação musical não realizam uma análise crítica na área de educação (MANTIE, 2017).

As pesquisas de Dormfman, e Reese Reese e Rimington revelam que grande parte dos professores de músicas em escolas tendem a utilizar algum tipo de tecnologia para uso pessoal ou planejamentos de aula, entretanto, raramente utilizam em cenários pedagógicos (DORFMAN, 2008; REESE; RIMINGTON, 2000) ou se sentem confortáveis o suficiente para utilizá-las (BAUER; DAMMERS, 2016). Apesar disso, pesquisadores notam um aumento de cursos online de música nos últimos anos (BAUER; DAMMERS, 2016). Os autores ainda notam que, embora o resultado de *surveys* note que grande parte dos cursos musicais abordarem algum tipo de

---

<sup>24</sup> *Machine-made music.*

tecnologia musical, grande parte dos estudantes não passam por experiências utilizando estas tecnologias para o ensino.

Dammers e LoPresti levantam algumas possibilidades do uso de tecnologia direta ou indiretamente no ensino/aprendizado (DAMMERS; LOPRESTI, 2020):

- **Performance:** Tecnologias para expansão do repertório, auxílio na impressão de músicas, exercícios e novos instrumentos;
- **Criação:** suporte na criação e composição de música com controle de parâmetros;
- **Improvisação:** sistemas que oferecem acompanhamento musical com alterações de parâmetros como compasso, andamento, tom, faixas de *backing track*, etc.;
- **Ler, analisar e descrever:** sistemas que auxiliam ampliar o conhecimento do usuário a ler/escrever notação musical e interpretar aspectos musicais;
- **Avaliação:** ferramentas que auxiliam as pessoas a avaliar suas próprias performances, particularmente a ouvir suas performances para serem avaliadas;
- **Conexão com outros contextos:** ferramentas de conexão da música com outras formas de arte, outras disciplinas acadêmicas, contextos históricos, etc.

Os autores ainda mencionam que estas ferramentas auxiliam os professores a expandir as fronteiras da sala de aula e podem ser úteis para solucionar limitações de tempo de ensaio, uma vez que o estudante pode explorar o conteúdo musical fora da sala de aula. Diferentes modelos de ensino como *Triple E*, *SAMR* (*Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition*) e *TPACK* (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) facilitam o entendimento de como as tecnologias podem ser incorporadas para aprimoramento e expansão do ensino musical, além de possibilitar redefinições ou criação de novas práticas de aula (DAMMERS; LOPRESTI, 2020).

Nart classifica que as tecnologias de *software* musicais podem ser divididas nas seguintes categorias (NART, 2016):

- **Software de tutorial:** auxiliam no entendimento de conceitos teóricos e estruturas musicais sem estabelecer comunicação interativa com o estudante.

- **Treinamento e prática:** permitem que o usuário pratique e avalie seu conhecimento musical sobre teoria, técnica, notação, etc. além de incluir *software* designados para a prática musical, e.g. Band-in-a-box e Cakewalk.
- **Jogos:** *software* que utilizam jogos com ferramentas de avaliação e pontuação para ensino de música.
- **Software de notação:** permitem escrita, leitura, análise e reprodução de música. Ex.: Finale e Sibelius.
- **Sequenciadores e gravação:** ferramentas que permitem sequenciação e gravação de música ou de dados representativos musicais (e.g., MIDI) para reprodução e compartilhamento de conteúdo musical

## 2.4 TECNOLOGIAS DE IOT NO ENSINO

Como discutido anteriormente, os avanços das tecnologias de comunicação, identificadores, popularização da internet banda larga, eletrônicos de consumo, etc. tem possibilitado novas aplicações na área de IoT, incluindo na área de música. Especificamente na área de instrumentos musicais, novos instrumentos estão surgindo integrados com tecnologias de IoT para auxiliar o aprendizado.

Entretanto, estes avanços tecnológicos na área de IoT podem auxiliar outras áreas de aprendizado, ampliando como o conteúdo é acessado e entregue aos estudantes, podendo ser acessados de qualquer lugar, rompendo barreiras geográficas e expandindo o acesso e independência do estudante (PEI et al., 2013). Além disso os autores discutem que estas tecnologias permitem a personalização do conteúdo para cada usuário, se afastando da abordagem tradicional de ensino generalizado e permitindo modificações em:

- **Personalização:** permite que cada estudante aprenda da maneira que prefere em seu próprio ritmo. Professores poderiam, por exemplo, personalizar as experiências para diferentes estudantes e reforçar temáticas de acordo com análise de dados coletados a partir de cada dispositivo.
- **Colaboração:** colaboração entre estudantes pode beneficiar o aprendizado, principalmente aproximando estudantes em ambientes de aprendizado à distância.

Alguns pesquisadores apontam que o uso de *Big Data* e computação na nuvem podem ser úteis para esta personalização (MOREIRA; FERREIRA; CARDOSO, 2017). Tecnologias de *analytics* podem ser utilizadas para armazenar dados relativos ao aprendizado, e.g., tempo levado em determinados exercícios, quantidade de vezes que o mesmo conteúdo foi acessado, entre outros. Assim, estes dados podem ser utilizados pelos professores para propor diferentes direcionamentos em estudos e exercícios personalizados para satisfazer as demandas de cada estudante (MOREIRA; FERREIRA; CARDOSO, 2017).

Além disso, outros pesquisadores se beneficiam de tecnologias de IoT como microcontroladores, atuadores e sensores para geração e prototipação de ideias no ensino de disciplinas. Akiyama et. al. propõem o ensino de tecnologias de IoT em áreas diferentes de engenharia, mais especificamente testado no curso de artes liberais da universidade *Hosen College of Childhood Education* em Tokyo, para entendimento destes sistemas de IoT e criação de novos serviços utilizando estas tecnologias (AKIYAMA et al., 2017).

Outros pesquisadores fazem um levantamento do uso de tecnologias na área de educação como, um modelo de implementação de tecnologias de IoT em campus universitário auxiliar estudantes em aula, na logística e no aprendizado; propostas para integração destas tecnologias no currículo de disciplinas universitárias (AL-EMRAN; MALIK; AL-KABI, 2020).

Entretanto, outros pesquisadores notam certos desafios na inclusão destas tecnologias no ensino. Estes estão relacionados com preparo dos espaços de ensino para lidar com prototipação, equipamentos adequados de prototipação, teste, fabricação digital e treinamento da equipe de suporte aos estudantes, recursos de segurança para lidar com equipamentos como solda, alta tensão e voltagens quando necessário, conexão de internet adequada e possivelmente suporte à autenticação e mecanismos de segurança de rede, integração das tecnologias de IoT com software, seleção dos equipamentos adequados, entre diversos outros (BURD et al., 2018). Ainda assim, os autores apontam grandes valores ao incorporar estas tecnologias no ensino.

## 2.5 TECNOLOGIAS DE REALIDADE AUMENTADA NO ENSINO

Definições de realidade aumentada apontam “*objetos virtuais em 3D integrados em ambientes 3D reais em tempo real*” (AZUMA, 1997 apud SANTOS et al., 2014).

Os sistemas de AMIS apresentados nesta tese não se encaixem nesta definição por não utilizarem elementos virtuais combinados a um ambiente real ou pelo fato de não possuírem sistemas de rastreamento comumente presentes em aplicações de realidade aumentada. Entretanto, herdaram alguns conceitos relacionados com o uso dos sensores e atuadores integrados para o auxílio na aprendizagem e no aprimoramento da visualização de conteúdo digital em sistemas reais.

Estas tecnologias de realidade aumentada (RA ou AR do inglês *Augmented Reality*) têm ganhado interesse na área de educação (CHEN et al., 2017; SANTOS et al., 2014). Pesquisadores discutem que o uso de tecnologias de AR em disciplinas no ensino escolar para facilitar novas formas de interação com a informação e melhora na experiência de aprendizado (SANTOS et al., 2014), além de facilitar visualização e aplicabilidade de certos conceitos em matérias como física, química, geografia, entre outras (MATSUTOMO et al., 2012).

A pesquisa de Santos et. al. ainda discute vantagens relacionadas com a integração de tecnologias de AR, como (SANTOS et al., 2014):

- **Anotação no mundo real:** disponibilização de comentários, textos explicativos e informações adicionais em objetos reais, podendo reduzir a sobrecarga cognitiva. Ex.: informações históricas de pinturas em museus;
- **Visualização contextual:** disponibilizar conteúdo virtual para contextos específicos, disponibilizando conteúdo mais relevante. Ex.: visualização de linhas de segurança em plataformas de metrô para conscientizar a população ou linhas virtuais de impedimento em partidas de futebol para ensinar regras para uma audiência iniciante;
- **Visualização háptico-visual<sup>25</sup>:** permitindo interações incorporadas de elementos virtuais e podendo aumentar a absorção de conhecimento por proporcionar conteúdo a partir da visão e do tato. Ex: receber *feedback* de força da reação que a “pele” de um instrumento de percussão simulado virtualmente produz ao ser golpeado.

Além disso os autores afirmam que pesquisadores utilizam AR no aprendizado para se beneficiar de exploração de conteúdo que pode não ser facilmente entendido por métodos tradicionais, promovem a colaboração entre estudantes e aumentam a imersão dos estudantes no aprendizado.

---

<sup>25</sup> *Vision-haptic visualization.*

Alguns pesquisadores destacam aplicações do uso de realidade aumentada em ensino superior e especializado em diversas disciplinas, utilizando marcadores e *Head-Mounted Displays*, além de possibilitar aplicações na indústria como manutenção de equipamentos (LEE, 2012). Outros pesquisadores discutem que o uso de realidade virtual em experiências como museus pode aumentar a absorção e imersão dos participantes, impactando a educação, entretenimento e a intenção de retornarem à estas experiências (LEE et al., 2020).

Particularmente no ensino musical, alguns sistemas foram desenvolvidos com tecnologias de projeção (LÖCHTEFELD et al., 2011; RAYMAEKERS; VERMEULEN, 2014; ROGERS et al., 2014) e de marcadores (CAKMAKCI; BÉRARD; COUTAZ, 2003; LIAROKAPIS, 2005) para ensino de piano, violão/guitarra e baixo. Particularmente os sistemas que utilizam marcadores utilizam câmeras únicas ou *Head-Mounted Displays* para visualização de notas, acordes e cifras de músicas. Os dispositivos que utilizam tecnologias de projeção serão mais detalhados durante a análise de similares.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo buscou contextualizar como os avanços tecnológicos possibilitaram novas formas de interação na área de música. O surgimento das interfaces gestuais, protocolos de comunicação e tecnologias da área de IoT possibilitam a geração de diversos sistemas e serviços atrelados.

Em particular, na área de aprendizado musical, é possível notar o surgimento de plataformas que utilizam indicadores visuais, particularmente LEDs, para auxiliar músicos durante este processo de aprendizado. Estes Instrumentos Musicais Aumentados para Estudo (AMIS) podem exibir notas, acordes, escalas musicais, que podem auxiliar o entendimento do conteúdo musical durante o aprendizado. Entretanto, como será visto no próximo capítulo, estes AMIS exploram um nicho de design de interação específico que envolve diversas dimensões, apresentando desafios para cada uma destas dimensões, dificultando o processo de design. Estes fatores fazem com que as soluções disponíveis no mercado utilizem abordagens *ad hoc*.

Além disso, o capítulo apresenta avanços tecnológicos utilizados no ensino/aprendizado musical, assim como a integração de tecnologias de IoT e AR no

ensino. Os avanços tecnológicos nestas áreas vêm benefícios para o aprendizado geral e musical, proporcionando vantagens em imersão do estudante, remoção de barreiras geográficas e de acesso ao conteúdo, personalização do aprendizado, entre outras.

### 3 DESAFIOS DE DESIGN

Este capítulo busca apresentar os desafios de design específicos para estes instrumentos musicais aumentados, principalmente ao lidar com instrumentos aumentados para o aprendizado musical. Apesar de não ser o escopo da tese, parte dos desafios no desenvolvimento dos sistemas está relacionado com estes desafios de design.

Durante o processo de design do protótipo e do software, foi identificado que estes sistemas possuem determinadas restrições por estarem inseridas em um contexto específico com desafios de *design* em diferentes dimensões: por serem aplicações interativas, aplicações em que *hardware* e *software* são utilizados e projetados simultaneamente, por serem utilizados para atividades em tempo real e por estarem inseridas no contexto de aprendizado/educação musical.

#### 3.1 DESAFIOS EM DESIGN DE INTERAÇÃO

Esta seção busca apresentar desafios específicos da área de design de interação e HCI que podem afetar o design destes AMIs.

*“Think about when some device caused you considerable grief – how much time did you waste trying to get it work? [...] Why do you think these things happen time and time again? Moreover, can anything be done about it?”*

*“Many products that require users to interact with them to carry out their tasks [...] have not necessarily been design with the user in mind...” (PREECE; ROGERS; SHARP, 2002 pp.1).*

Os autores argumentam que o papel do design de interação, da área de Interação Humano-Computador (HCI, do inglês *Human-Computer Interaction*), é trazer o aspecto de usabilidade no processo de design de sistemas, proporcionando a criação de “*sistemas que são seguros, eficientes, fáceis e agradáveis de se usar ao mesmo tempo que funcionais*” (ISSA; ISAIAS, 2015 pp.22).

Embora existam diversas definições diferentes sobre o termo **usabilidade**, esta discussão foge do escopo deste trabalho. Assim, o termo “usabilidade” será

considerado como “um atributo de qualidade utilizado para avaliar a interação e facilidade de uso de um sistema a partir de determinados parâmetros” (ISSA; ISAIAS, 2015).

Ademais, diferentes fatores devem ser considerados para elaboração destes sistemas, segundo a classificação definida por Preece (PREECE et al., 1994). Estes estão relacionados com fatores organizacionais, ambiente em que o sistema será utilizado, saúde e segurança, conforto, usuário, interface, a tarefa a ser executada, restrições, funcionalidades do sistema e fatores relacionados com a produtividade. Os sistemas podem ser afetados por questões logísticas, políticas, iluminação, barulho, stress, dores, motivação, personalidade, tipo de linguagem utilizada, dificuldade da tarefa, entre diversos outros.

Lidar com *trade-offs* entre estes diversos fatores durante o processo de design ou selecionar os aspectos mais importantes do sistema já é um desafio considerável por possuir uma grande quantidade de variáveis e possibilidades. Por exemplo, um software de edição de fotos como o Adobe Photoshop© possui uma grande quantidade de funcionalidades diferentes, entretanto isto aumenta a complexidade da interface do usuário para conter e organizar todas estas funcionalidades.

Ao analisar com a usabilidade de sistemas, características de diferentes *stakeholders* devem ser consideradas, particularmente o usuário, o sistema e a tarefa (ISSA; ISAIAS, 2015):

- **Usuário:** motivação, conhecimento sobre o sistema e/ou tarefa, escolha entre realizar, ou não, determinado sistema ou parte dele;
- **Tarefa:** frequência que a tarefa é realizada e capacidade do sistema de fornecer informação para usuários que tenham conhecimentos diferentes;
- **Sistema:** facilidade de realizar uma tarefa para usuários iniciantes ou que já sejam familiarizados com o sistema (*ease of learning* e *ease of use*), e compatibilidade entre as informações fornecidas pelo sistema, suas funcionalidades e as tarefas que devem ser realizadas.

De forma a suportar a usabilidade destes sistemas, Issa e Isaias sugerem alguns princípios identificados na literatura (DIX et al., 2005, pp. 162; NIELSEN, 2012 apud ISSA; ISAIAS, 2015) para aprimorar a usabilidade do sistema:

- **Capacidade de aprendizado (*Learnability*):** Prover auxílio para que um usuário iniciante possa dominar o sistema e atingir uma performance de um usuário experiente.

- **Flexibilidade (Flexibility)**: Formas de troca de informações entre o usuário e o sistema.
- **Robustez (Robustness)**: Nível de apoio fornecido pelo sistema para determinação de sucesso no progresso e avaliação de metas.
- **Eficiência (Efficiency)**: Relacionada com a velocidade que o usuário é capaz de realizar as tarefas, uma vez que ele possui conhecimento sobre o sistema.
- **Memorabilidade (Memorability)**: Aspecto referente ao quão fácil o usuário é capaz de lembrar as funcionalidades do sistema, após um período sem tê-lo utilizado.
- **Erros (Errors)**: Relacionado com quantos erros o usuário comete, a gravidade destes erros e a capacidade do usuário de “se recuperar” após cometer o erro.
- **Satisfação (Satisfaction)**: Aspecto relacionado com o quanto a utilização do sistema é agradável para o usuário.

Entretanto a própria avaliação destes conceitos é complexa, necessitando muitas vezes distinguir se os métodos de avaliação necessários são qualitativos ou quantitativos (HORNBAEK, 2006). O autor ainda indica que um dos desafios no aprendizado e retenção de conhecimento sobre um sistema pode ser avaliado medindo o tempo para os usuários obterem certos níveis de proficiência. Além disso, discute que um dos desafios é entender como a usabilidade do sistema se desenvolve à medida em que o sistema é utilizado a longo prazo (HORNBAEK, 2006 pp.93).

Em relação ao design de interação de aplicações para dispositivos móveis, pesquisadores notam que existem limitações relativas aos componentes disponíveis, tamanho da interface do usuário, projetar para mobilidade do sistema, além da necessidade de novas estruturas de navegação (menus, ícones, tipo de interação) adaptadas às restrições (HUANG, 2009), e.g., legibilidade do texto ou posição dos elementos na tela em contraste aos diferentes resoluções e tamanhos de dispositivos.

Como será discutido nas próximas seções, o sistema e os serviços atrelados aos AMIS desenvolvidos para o aprendizado musical possuem aspectos de interação peculiares que merecem a atenção dos designers destes sistemas, especialmente por serem sistemas que irão operar em tempo real. Por serem sistemas com diversas variáveis e elementos de interação, dificulta o entendimento de como a interação entre

o usuário e o sistema funcionará, conseqüentemente dificultando a seleção das funcionalidades e conceitos que serão mais eficazes e que proporcionarão uma maior facilidade de uso, além dos *trade-offs* associados com estas escolhas. Assim, determinados desafios comuns da área de HCI podem ser acentuados devido às demandas destes sistemas.

A complexidade da tarefa de aprendizado de instrumentos musicais também influencia a usabilidade e interação do sistema, uma vez que envolve diferentes conceitos e habilidades específicas deste contexto. Estes desafios serão vistos na seção 3.4.

### 3.2 DESAFIOS NO DESIGN SIMULTÂNEO DE HARDWARE E SOFTWARE

A área de design simultâneo de *hardware* e *software* (*HW/SW codesign*) é uma área que vem crescendo desde a década de 1990 no design de sistemas que utilizam circuitos integrados, especialmente na área de sistemas embarcados (TEICH, 2012). Pesquisadores desta investigam como atender as demandas de novos sistemas a partir da sinergia entre *hardware* e *software* durante o processo de design (MICHELI; GUPTA, 1997).

Independentemente, *hardware* e *software* já possuem desafios em seu design. No caso de *hardware*, a escolha de componentes como sensores, atuadores, protocolos de comunicação, além da sensibilidade, estabilidade e confiabilidade desses componentes (SMITH, 1993), incluindo seus conversores analógico-digitais e digital-analógicos (JORDÀ, 2005). Além disso, latência da informação, consumo de energia, tamanho, etc. são outros aspectos que podem trazer *trade-offs* para o sistema (HENZINGER; SIFAKIS, 2006; KOOPMAN, 1996).

Já no caso do *software* as escolhas de linguagem, bibliotecas e kits de desenvolvimento de software (SDKs, do inglês *Software Development Kits*) podem facilitar a implementação de funcionalidades. Entretanto, o uso dessas bibliotecas pode restringir certas possibilidades de design (MICHELI; GUPTA, 1997). Particularmente no design simultâneo de *hardware* e *software*, isso pode acarretar inclusive em restrições no *hardware*.

Entretanto, a área de *HW/SW codesign* possui desafios específicos por estar lidando especificamente com o design simultâneo destes sistemas. No caso de design de sistemas embarcados, diferentes aspectos serão mais relevantes dependendo do

tipo de sistema que será desenvolvido. Sistemas de processamento de informação e de tempo real (RT, do inglês *Real Time*) possuirão uma demanda maior em performance ao serem comparados com sistemas de controle (MICHELI; GUPTA, 1997). Por outro lado, sistemas de controle possuem exigem uma atenção maior para **confiabilidade**, **viabilidade** (KOPETZ, 2011) e **segurança** (YANG et al., 2015).

Micheli e Gupta ainda destacam desafios relacionados com a modelagem, validação e implementação do sistema durante o processo de design. Neste caso, estes desafios estão associados à conceitualização e refinamento das especificações do sistema, ao nível de confiabilidade de o sistema se comportar como esperado e do próprio desenvolvimento do *hardware* e *software* (MICHELI; GUPTA, 1997). Além disso, no processo de modelagem do sistema, alguns desafios podem ser estendidos ao lidar com o design do artefato e de um aplicativo controlado pelo usuário, e.g., identificar quais recursos serão melhores implementados no artefato e quais são mais adequados para o software.

No caso de circuitos integrados, os autores se referem ao design dos circuitos e *software* que controlam estes circuitos. Na área de IoT, o design de novos sistemas geralmente envolve a fabricação de novos circuitos baseados em processadores de uso geral ou de circuitos especializados para realização de determinadas tarefas, fazendo com que esta área possua desafios comuns de *codesign* de HW/SW.

Este tipo de design simultâneo é comumente utilizado na área de IoT ao lidar com o tempo de comercialização (*time-to-market*) destas soluções (CHEN et al., 2016). O design de *hardware* geralmente é dispendioso pois o custo de engenharia não-recorrente (NRE, do inglês *Non-Recurring Engineering*) é alto e a realização de mudanças ou aprimoramentos não é trivial (MICHELI; GUPTA, 1997).

Este último aspecto também influencia diretamente a **implementação** e **prototipação** dos sistemas. Neste caso, a ausência de flexibilidade para mudanças e aprimoramentos de *hardware* pode restringir tanto a exploração das possibilidades de design quanto alterações de demandas e requisitos de *software* (CHEN et al., 2016; YANG et al., 2015), atrasando o processo de design e, conseqüentemente, o ***time-to-market***. Além disso, mudanças de *hardware* também influenciam o desenvolvimento do software, restringindo ou abrindo novas possibilidades de implementação de recursos.

### 3.3 DESAFIOS DE APLICAÇÕES EM TEMPO REAL

Esta seção apresenta as dificuldades de *design* de sistemas de *tempo-real*. Particularmente, são apresentados os desafios que influenciam o processo de design em áreas como jogos digitais, sistemas embarcados e DMIs.

Sistemas de tempo real são tais que o seu comportamento, mais precisamente seu comportamento correto, não dependerão apenas da informação capturada por seus componentes ou do resultado do processamento destas informações, mas também dependerão do tempo necessário para que este resultado ocorra (KOPETZ, 2011). Sistemas de tempo real são altamente demandantes da precisão de captura de informação e resposta do sistema, uma vez que a presença de erros ou atrasos na obtenção da informação ou na resposta do sistema pode ocasionar em falhas que podem ser graves dependendo do tipo de sistema.

Como visto na seção anterior, sistemas de controle em tempo real possuem demandas em relação a *confiabilidade*, viabilidade e segurança do sistema. Além disso, possuem demandas funcionais, temporais, com o design de interação dos seus serviços e com o processo de design em geral. Demandas funcionais estão relacionadas com a resolução dos componentes utilizados, confiabilidade dos dados capturados e a repetitividade desta captura (SMITH, 1993).

Por outro lado, as demandas temporais estão geralmente associadas à **latência** e **jitter** (CALEGARIO, 2013; JORDÀ, 2005; MIRANDA; WANDERLEY, 2006):

- **Latência:** atraso temporal que distancia uma ação do usuário à resposta do sistema.
- **Jitter:** variação na latência entre diferentes eventos.

Estes sistemas de AMIS, com instrumentos aumentados, se enquadram numa categoria de sistemas de tempo real devido ao tipo de interação do aprendizado com música. Embora falhas de sistema não apresentem falhas de segurança graves comparativamente a sistemas automotivos ou controles de usinas de energia, os sistemas musicais podem ser altamente demandantes do tempo para que não prejudiquem a experiência do usuário, uma vez que o “tempo é um recurso fundamental em música” (WANDERLEY; ORIO, 2002b). Dependendo do tipo de evento que o sistema reproduza – e.g., disparo de notas, controle de samples, controle de efeitos, etc. – os sistemas podem tolerar latências mais altas ou não (JORDÀ, 2005). Alguns pesquisadores relatam que alguns sistemas, como DMIs que simulam

instrumentos de percussão, podem demandar de uma latência menor que 10 milissegundos (WESSEL; WRIGHT, 2002).

No caso do aprendizado musical, atrasos da resposta do sistema pode afetar a experiência de um músico. Como será discutido na próxima seção, os músicos necessitam adquirir diversas habilidades cognitivas e motoras durante este processo. Latências/jitter na exibição do conteúdo ou perda de pacotes de envio de dados podem afetar diretamente o processo de aprendizado do conteúdo musical.

### 3.3.1 Interação em tempo real

Com a evolução dos componentes e funcionalidades dos sistemas de tempo real, ocorre geralmente um aumento da complexidade deste sistema. Pesquisadores da área discutem que esta complexidade pode vir de diversos fatores como o contexto em que o sistema está inserido e suas demandas; adição de novas funcionalidades em atualizações; e buscar generalizar o tipo de aplicação para diversos usuários e contextos de uso (MYERS, 1994).

Pesquisadores e profissionais da área de jogos digitais relatam, ao mencionar o papel da prototipação nesta área, que *“à medida que um jogo se torna mais complexo, é mais difícil para um game designer permanecer com a imagem completa de todos os elementos do sistema de gameplay em sua mente”* (MIKROS, 2004a). A autora cita que existem situações em que a interação do usuário com o sistema não é capaz de ser experienciada diretamente por um modelo ou por um protótipo de papel.

Na área de DMIs, alguns pesquisadores discutem a complexidade no design destes instrumentos musicais digitais devido ao fato de estes sistemas possuírem “diversos componentes interativos, poucos *guidelines* existentes e os critérios de sucesso são raramente explícitos” (DAHL, 2016). Isto também é algo comum em sistemas interativos como jogos. Métodos de *playtest* se solidificaram na indústria por auxiliar a identificar como os usuários experienciam o jogo e se este está se comportando como esperado (FULLERTON; SWAIN; HOFFMAN, 2004).

Mais especificamente, AMIS criados para o aprendizado musical também possuem este nível de complexidade. Estes AMIS são sistemas que possuem prazos temporais rigorosos e bem definidos para o aprendizado musical seguindo uma música de acompanhamento. Também envolve o aprendizado de habilidades motoras e cognitivas, elementos de visualização simultânea no aplicativo e no próprio

instrumento. Isto faz com que a análise de como será a experiência do usuário seja uma tarefa desafiadora para os *designers*, necessitando de ferramentas que possam ajudá-lo a entender como esta interação acontecerá.

### 3.4 DESAFIOS DURANTE O APRENDIZADO MUSICAL

Como visto nas seções anteriores, AMIs desenvolvidos para o aprendizado musical possuem diversos fatores por estarem inseridos em uma interseção de diversas áreas diferentes, herdando diversos de seus desafios. Além disso, por serem sistemas e serviços com o objetivo de auxiliar músicos iniciantes no aprendizado, desafios desta área devem ser levados em consideração, como o tipo de aprendizado, representações musicais utilizadas, habilidades envolvidas no aprendizado e a própria curva de aprendizado de um instrumento musical.

O aprendizado musical clássico, também conhecido como aprendizado musical formal, vem evoluindo ao longo de gerações, incorporando diversos conceitos e um “corpo” de técnicas musicais, como relatado por pesquisadores da área (OORE, 2005). No caso do aprendizado informal, existem diversos métodos de auto aprendizado como livros de cifras, videoaulas, tablaturas ou ensino desestruturado com amigos e familiares, etc. incluindo músicos que descrevem seu aprendizado como “aprender de ouvido” (FOLKESTAD, 2005).

Além disso, outros pesquisadores discutem as diferenças dos aprendizados em relação com o objetivo do estudante ao iniciar o aprendizado. Alguns pesquisadores descrevem o aprendizado formal como uma formação de virtuosos (PINTO, 1978 p. 5) e o foco no aprendizado de notação musical, escrita, estruturas musicais, técnicas de performance, em “como fazer música” (FOLKESTAD, 2005) e no repertório clássico (COUTO, 2009). Já o aprendizado informal é mais independente de notação musical, e aprendizado de estruturas musicais, uma vez que as habilidades podem ser adquiridas copiando familiares, amigos ou aprendendo “de ouvido”, com o foco maior no resultado: “fazer a música” (COUTO, 2009; FOLKESTAD, 2005).

#### 3.4.1 Representações musicais

Uma das barreiras para o aprendizado do instrumento musical pode ser o aprendizado da notação musical em si. “Traduzir” o conteúdo encontrado em revistas,

websites e plataformas como Youtube para o que deve ser feito no instrumento pode se tornar um processo tedioso ou dispendioso que exige o desenvolvimento de uma habilidade cognitiva do músico.

A maioria dos instrumentos musicais convencionais possui um material didático que evoluiu ao longo de gerações, criando um corpo de conhecimento técnico que é passado por professores, livros, entre outros materiais didáticos (MEDEIROS et al., 2014; OORE, 2005). Este material exige um conhecimento técnico de leitura notações musicais – e.g. partituras musicais, tablaturas, cifras, representação dos dedos das mãos, ritmos musicais, entre outros.

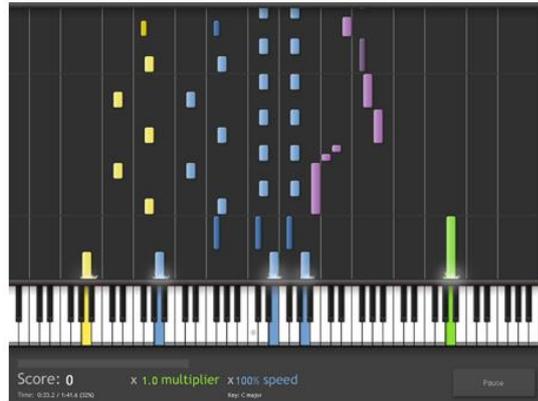
A literatura classifica a representação musical em três diferentes tipos: **representação gráfica**, **representação simbólica** e **representação por áudio** (MÜLLER, 2015). Segundo o autor, a **representação por áudio** compreende a representação de ondas sonoras acústicas. A **representação simbólica** está relacionada com todo o tipo de representação que pode ser “lida” e seus dados interpretados por máquinas – eg., Piano Roll<sup>26</sup>, MusicXML, MIDI, etc. Já a **representação gráfica** é referente a todo tipo de representação gráfica impressa ou digitalizada.

No aprendizado musical ocidental, as **representações gráficas** mais comuns são partituras musicais, tablaturas musicais e cifras (FIGURA 9). Entretanto, alguns aplicativos de aprendizado de piano utilizam a representação de *Piano Roll*, que indicam o posicionamento e duração das notas (FIGURA 8).

---

<sup>26</sup> Originalmente, a notação de *Piano Roll* foi desenvolvida para os chamados *player pianos*, i.e., pianos que tocavam “sozinhos”. Estes pianos utilizavam um rolo de papel que possuía buracos que eram interpretados por sensores. Os buracos indicam parâmetros de controles e quando as notas devem ser tocadas (MÜLLER, 2015). Com a evolução das tecnologias digitais de áudio, alguns *softwares* de aprendizado, de produção musical e estações de trabalho de áudio digital (DAW, do inglês *Digital Audio Workstation*) incorporaram a representação visual da notação *Piano Roll* como uma representação gráfica.

Figura 8 – Representação de Piano Roll.



Fonte: synthesiagame.com (2022)

As **partituras** musicais possuem uma representação formal de notações musicais, identificando notas, duração dessas notas, compasso da música, andamento, dinâmica musical – intensidade da nota ou trecho –, além de identificar outros aspectos da música, e.g. altura das notas apresentadas (por meio das claves) (MÜLLER, 2015). No caso das **tablaturas**, a representação de andamento da música é presente na notação, entretanto não há representação da duração das notas. Assim, o espaço relativo entre as notas serve como indicador de duração. Já no caso das **cifras**, os principais elementos musicais utilizados são os acordes – conjunto de notas tocadas simultaneamente – e geralmente não há nenhum tipo de representação do tempo de duração dos acordes ou do andamento da música.

Figura 9 – Representações gráficas. Partitura (superior esquerda), tablatura (superior direita), cifra (inferior esquerda), representação do acorde Dó maior (inferior direita).

<p><b>G</b> <b>C</b></p> <p>Quando oiei a terra ardendo</p> <p><b>G D7/F# G</b></p> <p>Qual fogueira de São João</p> <p><b>G7 C</b></p> <p>Eu perguntei a Deus do céu, ai</p> <p><b>D7 G</b></p> <p>Por quê tamanha judiação</p>	<p><b>C</b></p>

Fonte: Compilado de imagens feito pelo autor.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Imagens de partitura, tablatura, cifra do CifraClub e cifra de Dó retirada do CifraClub.

Estes tipos de representação musical, especialmente a representação gráfica pode ser um desafio durante o processo de aprendizado musical, uma vez que são utilizadas para desenvolver as habilidades cognitivas do usuário. Além disso, há um *trade-off* entre a complexidade e detalhe da informação que deve ser utilizada.

### 3.4.2 Autodeterminação e Curva de aprendizado

Ao discutir o aprendizado de instrumentos musicais e suas curvas de aprendizado, diversos pesquisadores relacionam este contexto como uma atividade que pode ser descrita pela teoria de autodeterminação (SDT, do inglês *Self-Determination Theory*), que relata que a motivação de um indivíduo para a realização de certa atividade é regulada por fatores intrínsecos e extrínsecos. Enquanto fatores extrínsecos estão fora do controle do indivíduo – e.g. recompensas, punições, ameaças e prazos, os fatores intrínsecos estão ligados à “*inclinação natural de assimilação, domínio, interesse espontâneo, e exploração*” (RYAN; DECI, 2000, pp.70). Esta teoria é utilizada por diversos pesquisadores da área de música e HCI (DENIS; JOUVELOT, 2005; EVANS, 2016; WALLIS et al., 2013) e define vários aspectos relacionados com o **domínio** do sistema, **autonomia** e **propósito** do usuário ao usar um sistema.

Segundo a pesquisa de Jordà (JORDÀ, 2004, 2005), o termo “curva de aprendizado” é definido em outras áreas como um gráfico para representar o custo de realização de determinada atividade em relação ao número de vezes que foi realizada, ou uma medida de aprendizado de algo em relação ao número de tentativas. No caso de instrumentos musicais, pesquisadores relatam que este termo está associado com o tempo necessário para se atingir um **ponto de recompensa** e um **ponto de domínio**. O primeiro relativo ao tempo necessário para adquirir habilidades suficientes para que atingir resultados gratificantes, enquanto que o último é o ponto para aprender como controlar a performance com o instrumento, i.e., o “ponto de masterização” deste instrumento – que pode levar um período maior que dez anos (LEHMANN, 1997).

Instrumentos de sopro e instrumentos não temperados – que utilizam a escala musical natural e são fabricados sem divisões na escala, e.g. violino – são difíceis para um músico iniciante conseguir executar notas corretamente (JORDÀ, 2005), o que indica que suas curvas de aprendizado são mais suaves em comparação com

instrumentos como a kalimba (FIGURA 10) ou o piano, com os quais pessoas que não tem familiaridade com o instrumento são capazes de executar notas e acordes.

Figura 10 – Kalimba.



Fonte: Youtube (2016).<sup>28</sup>

Esta curva de aprendizado pode influenciar na motivação do estudante iniciante. Instrumentos que possuem uma barreira de entrada muito grande, i.e., uma curva de aprendizado muito suave, podem causar frustração para músicos que estão tocando pela primeira vez. Por não serem capazes de extrair resultados satisfatórios, podem acabar abandonando o instrumento. Em contrapartida, um instrumento pode possuir uma curva de aprendizado íngreme – fácil de se familiarizar e atingir o **ponto de recompensa** mais rapidamente - e não oferecer desafios para que um músico iniciante ganhe controle total todas suas nuances. Neste caso, ao atingir o **ponto de domínio** rapidamente e não encontrar uma grande variedade nas possibilidades de exploração musical, é possível que o músico se sinta entediado, o que também pode levar ao abandono do instrumento. O'Modhrain argumenta que, primeiramente, o instrumento deve apresentar um “desafio a ser dominado, estimulando o desenvolvimento de uma virtuosidade” (MODHRain, 2011, pp. 34).

De fato, pesquisadores da área de HCI argumentam que a complexidade da interação influencia positivamente na motivação à longo prazo, porém não deve ser imposto a usuários iniciantes (WALLIS et al., 2013). Alguns pesquisadores argumentam que, idealmente, o instrumento deve possuir uma pequena barreira de entrada e alto nível de complexidade, permitindo que o **ponto de recompensa** possa

---

<sup>28</sup> Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=OenOjdbclqI>>.

ser alcançado rapidamente, mas que haja um desafio para atingir o **ponto de domínio** (WESSEL; WRIGHT, 2002).

### 3.4.3 Habilidades envolvidas no aprendizado musical

Diversos pesquisadores da área de música relatam que o aprendizado de um instrumento musical é um processo cinestésico, que músicos iniciantes devem “aprender fazendo” (DENIS; JOUVELOT, 2005, pp.1), que essa aquisição se dá por “imersão diária” (GREEN, 2001, pp.22apud COUTO, 2009 pp.4) e que a prática é responsável por “desenvolver uma representação de memória interna para entender e executar tarefas musicais” (MCPHERSON; DAVIDSON; EVANS, 2015, pp. 409). Além disso, outros pesquisadores argumentam que envolve outras habilidades como habilidades aurais – relacionadas com a audição -, de leitura, motoras, sensação de tempo musical, rítmicas, tonais, cognitivas, entre outras (MCPHERSON; DAVIDSON; EVANS, 2015; PALMER; MEYER, 2000; WANDERLEY; ORIO, 2002).

Paine relata que o músico, utiliza sua capacidade cognitiva para traduzir o conhecimento musical adquirido bem como suas capacidades motoras para produzir som no instrumento musical (PAINE, 2013). Estas habilidades motoras são desenvolvidas ao longo do processo de aprendizado, o que na maioria das vezes pode ser um processo longo, podendo levar cerca de 10 anos (WANDERLEY; ORIO, 2002).

Estas habilidades motoras são necessárias para adquirir todo “corpo de técnicas” (OORE, 2005, pp. 5) desenvolvido ao longo de gerações para cada instrumento (JORDÀ, 2004; MEDEIROS et al., 2014). Levitin et. al. destacam algumas das atividades necessárias na performance musical, como selecionar notas, começar/parar de tocá-las, tocar técnicas específicas para cada instrumento, alterar dinâmica, entre outras (LEVITIN; MCADAMS; ADAMS, 2002, pp. 173).

Ao desenvolver estas habilidades, durante o processo de aprendizado, é formada uma relação física entre os músicos e este instrumento. Assim, a partir da experiência adquirida, o músico consegue prever como o instrumento funcionará antes mesmo de tocá-lo, e.g. ele consegue identificar o local de uma nota mais facilmente no instrumento e sabe como será a sonoridade do instrumento ao executar determinadas tarefas. Pesquisadores da área de música caracterizam esta experiência como o **gesto mental** (FREITAS, 2008) do músico, que relaciona o movimento com a produção sonora. Medeiros et. al. (MEDEIROS et al., 2014) remetem esta relação

física à descrição de Paine (PAINE, 2013) de **relação incorporada** (*embodied relationship*). Este **gesto mental** também é descrito na literatura como o **plano** (e/ou **planejamento**) **mental** desenvolvido pelo músico durante o aprendizado (PALMER; MEYER, 2000).

Ao mesmo tempo, o músico necessita adaptar seu corpo para produzir o som daquele instrumento. Para aprender instrumentos como o violão, bongôs e trompetes, um músico iniciante geralmente precisa superar obstáculos físicos que o impedem de produzir o som adequadamente, muitas vezes causando calos nos dedos, exaustão muscular nos braços e nos músculos faciais, respectivamente. Este processo pode levar tempo, uma vez que exige um aprendizado muscular para que a pessoa consiga superar estes obstáculos.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram apresentados diversos desafios que influenciam o design de AMIS para o aprendizado musical. Por estar inserido em uma interseção de diferentes áreas como HCI, design simultâneo de *hardware* e *software*, e sistemas de tempo real, estes sistemas herdam diversos desafios específicos destas áreas.

Pelo fato de serem sistemas inseridos no contexto do aprendizado musical, existem desafios relacionados diretamente com este processo. Diversas habilidades cognitivas e motoras devem ser adquiridas durante o processo para absorção do conhecimento musical – notações musicais, estruturas, conhecimento de técnicas, etc. – e execução deste conhecimento junto ao instrumento musical. Ademais, a própria curva de aprendizado do instrumento influencia neste processo. Muitas vezes este processo é demorado e pode levar muito tempo para atingir um ponto de recompensa, o que pode desestimular o usuário. Outro fator que pode afetar a motivação é o fato de o estudante se deparar com um tipo de aprendizado (formal ou informal) que vá de encontro com seu objetivo principal (e.g., “aprender como fazer música” ou simplesmente “fazer música”).

As consequências destes desafios vêm sendo notadas no mercado musical por grandes empresas como a Fender – uma das maiores fabricantes da indústria de instrumentos musicais. Segundo seu CEO, Andy Mooney, cerca de “45% das guitarras vendidas por eles, a cada ano, são para músicos iniciante” e “90% desse público abandona o instrumento nos primeiros 12 meses – senão nos primeiros 90 dias”

(CARBONARA, 2018). Isto mostra que a taxa de retenção de músicos iniciantes é extremamente baixa comparada a taxa de interesse pelo instrumento.

Simultaneamente, por serem sistemas interativos, estes AMIs já encontram uma série de demandas e aspectos referentes à usabilidade do sistema, confiabilidade, redução de erros do usuário, etc. que devem ser levados em consideração. O foco em certos aspectos de usabilidade comumente ocasiona em *trade-offs*, o que pode dificultar o direcionamento e seleção de funcionalidades do sistema. Além disso, a própria avaliação destes aspectos em sistemas que são utilizados ao longo de muito tempo, como no caso dos AMIS, pode se tornar complexa pela adaptação do usuário ao sistema.

Por outro lado, como são sistemas de tempo real, as demandas temporais e a confiabilidade do resultado influenciarão diretamente esta interação, uma vez que falhas no sistema podem prejudicar a experiência do usuário. Além disso, à medida que o sistema incorpora mais sistemas interativos, a visualização completa da interação se torna mais complexa, necessitando da elaboração de protótipos funcionais que podem prejudicar o processo de design para investir mais recursos em soluções que possam vir a fracassar.

Demandas de HW/SW *codesign* tornam este processo de design ainda mais desafiador ao introduzir demandas específicas como consumo de energia, funcionamento adequado dos componentes, limitações ao escolher linguagens de programação, arquitetura do sistema, entre outros. Ademais, dificulta a prototipação dos sistemas, uma vez que mudanças de requerimentos de *software* podem causar restrições no *hardware* ou exigir alterações e vice-versa.

## 4 REVISÃO DE MÉTODOS

Neste capítulo, será apresentado uma revisão de métodos no design de sistemas similares. Aqui serão discutidas abordagens, métodos de design, ferramentas de suporte, de exploração de ideias e de prototipação que buscam solucionar os desafios apresentados no capítulo anterior.

### 4.1 ABORDAGENS DE DESIGN

Na tentativa de solucionar os problemas de design de interação apresentados no capítulo anterior e criar sistemas e serviços que sejam mais eficientes, fáceis de usar e que atendam as demandas do usuário, diversos pesquisadores da área de HCI mencionam a importância do envolvimento do usuário no processo de design (HUANG, 2009; ISSA; ISAIAS, 2015; MYERS, 1994; PREECE; ROGERS; SHARP, 2002; ZIMMERMAN; FORLIZZI; EVENSON, 2007), utilizando uma abordagem de design centrado no usuário (NORMAN; DRAPER, 1986).

O propósito de utilizar um design centrado no usuário é buscar a solução dos problemas de determinada área a partir das pessoas que estão inseridas naquele contexto (NORMAN; DRAPER, 1986). Além disso, Preece et. al. argumentam que envolver o usuário no processo de design de um sistema é a *“melhor maneira de assegurar que o desenvolvimento continuará a levar em consideração as atividades do usuário”* (PREECE; ROGERS; SHARP, 2002, p. 280). Os autores ainda mencionam que pode auxiliar no gerenciamento de expectativas do usuário e aumentar a sensação de propriedade estabelecida no usuário ao participar do processo de criação, fazendo com que o usuário sinta que está contribuindo para um problema que enfrenta no cotidiano.

Existe diferentes níveis de envolvimento do usuário durante o processo de design (PREECE; ROGERS; SHARP, 2002). Usuários podem estar envolvidos durante todo o processo de design do sistema ou em etapas específicas do processo. Métodos como o design participativo envolvem usuários durante todo o processo de design, integrando-o à equipe de design (MARTIN; HANINGTON, 2012). Entretanto, usuários podem ser envolvidos apenas em certas etapas do processo, ou ter participação parcial no processo. Usuários podem ser incluídos em etapas como na exploração e seleção de ideias da solução e na avaliação das soluções elaboradas.

Entretanto cada abordagem possui vantagens e desvantagens. Ao participarem de todo processo de design, os usuários darão contribuições valiosas, porém suas contribuições podem ser enviesadas com o tempo. Por outro lado, usuários envolvidos parcialmente contribuirão menos, porém não serão tão enviesadas por não estarem imersas no processo de design (PREECE; ROGERS; SHARP, 2002).

Métodos utilizados nestas abordagens podem envolver estudos etnográficos, grupos focais, entrevistas com usuários e especialistas, observações, entre outros (MARTIN; HANINGTON, 2012). A pesquisa de Calegario faz um levantamento de diferentes métodos utilizados durante o processo de design de novos DMIs (caso dos AMIs). Calegario discute que as pesquisas nesta área envolvem a solução de apenas partes dos sistemas DMIs, faltando abordagens holísticas no design destes sistemas (CALEGARIO, 2017).

Entretanto, algumas pesquisas apresentam *guidelines* e abordagens para desafios específicos de design. Algumas pesquisas apresentam *guidelines* para requisitos de latência durante o processo de design destes DMIs (JORDÀ, 2005; WESSEL; WRIGHT, 2002). O'Modhrain e Chafe apresentam diretrizes relacionadas com feedback (O'MODHRAIN; CHAFE, 2000). Além disso, Wanderley e Orio utilizam abordagens de HCI para determinar quais tarefas podem ser utilizadas na avaliação destes sistemas (WANDERLEY; ORIO, 2002). Miranda e Wanderley propõem uma abordagem para design de DMIs mais próxima a *guidelines* e passos que devem ser tomados durante o processo de design, desde a seleção de gestos, estratégias de captura, escolhas de sensores, escolha de síntese sonora, mapeamento e feedback (MIRANDA; WANDERLEY, 2006).

## 4.2 MÉTODOS DE PROTOTIPAÇÃO

Diversos pesquisadores da literatura relatam que o uso de protótipos, especialmente protótipos funcionais são de extrema utilidade no design de sistemas interativos (BEAUDOUIN-LAFON; MACKAY, 2012; HUANG, 2009; PREECE; ROGERS; SHARP, 2002), sistemas de tempo real (CALEGARIO, 2017; MIKROS, 2004) e HW/SW *codesign* (CHEN et al., 2016; MICHELI; GUPTA, 1997; YANG et al., 2015). Entretanto, Calegario relata que pesquisadores da área de design consideram que há um *trade-off* no uso de protótipos funcionais durante o processo de design (CALEGARIO, 2017). O autor discute que o uso de protótipos funcionais pode ser

aconselhável para identificar possíveis interações do usuário, mas pode prejudicar o tempo necessário para desenvolvimento do protótipo, limitar no processo criativo, entre outros.

Pesquisa que envolvem HW/SW *codesign* relatam o uso de *software* de Projeto Assistido por Computador (CAD, do inglês *Computer Assisted Design*) para simulação mútua de HW/SW, exploração das possibilidades de design, e redução do *time-to-market* (CHEN et al., 2016). Outras abordagens são o uso de processadores de propósito geral e circuitos reprogramáveis (e.g. FPGAs) na tentativa de explorar as possibilidades de design e atender as demandas de HW/SW (MICHELI; GUPTA, 1997; YANG et al., 2015).

#### 4.2.1 Ferramentas de prototipação de hardware

Calegario discute que existem diversas ferramentas no mercado que podem ser utilizadas para a prototipação de DMIs (CALEGARIO, 2017):

- Microcontroladores e microprocessadores de baixo custo (e.g. Arduino, Raspberry Pi, Intel Galileo);
- Kits de sensores, placas, módulos (e.g. Littlebits<sup>29</sup>, Makey Makey<sup>30</sup>);
- Controladores MIDI (e.g. Roli Seabord<sup>31</sup>, Ableton Push<sup>32</sup>, Korg Wavedrum<sup>33</sup>, entre outros);
- Linguagens de programação geral (e.g. C/C++, Java, Python);
- Linguagens de programação específica para áudio (Puredata, Max/MSP, Isadora, etc.);
- Software de mapeamento (e.g. Osculator, libmapper);
- Estações de trabalho de áudio digital (DAW) – e.g. Ableton Live, Logic Pro, Pro Tools, etc.

Além disso, diversas bibliotecas, kits de desenvolvimento de software (SDKs) e interfaces de programação de aplicação (APIs) estão disponíveis em websites de repositório de códigos-fonte, e.g. Github. Diversos websites, como o instructables<sup>34</sup>,

<sup>29</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://littlebits.com/>>.

<sup>30</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://makeymakey.com/>>.

<sup>31</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://roli.com/products/seaboard/>>.

<sup>32</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://www.ableton.com/en/push/>>.

<sup>33</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://www.roland.com/br/products/spd-sx/>>.

<sup>34</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://www.instructables.com/>>.

auxiliam pessoas a construir e implementar projetos, fornecendo exemplos de projetos com instruções passo-a-passo para construir suas partes e, caso possuam, códigos de exemplos.

No caso dos microcontroladores, iniciativas como o Arduino (FIGURA 11) foram desenvolvidas para possibilitar que entusiastas que não possuem um nível técnico avançado em instrumentação eletrônica e computação física sejam capazes de desenvolver seus próprios projetos. Estes microcontroladores possuem fácil integração com sensores, atuadores e módulos de comunicação para facilitar a exploração de ideias.

Figura 11 – Diferentes microcontroladores Arduino.



Fonte: Carlossolon Wordpress.<sup>35</sup>.

O ambiente de desenvolvimento é baseado em linguagem de programação C/C++ e Wiring, possuindo funcionalidades de simples implementação e códigos de exemplo. A arquitetura funciona em loops que executam as funcionalidades implementadas.

Plataformas como Arduino, Raspberry Pi e Intel Galileo facilitam a prototipação de sistemas e serviços por possuírem integração com diversos componentes e um rápido tempo de compilação, possibilitando diversas modificações rápidas de código, facilitando diversas iterações do sistema. Outra vantagem destas plataformas é que elas operam em níveis próximos ao *hardware* (BÅÅTH, 2011), o que tende a reduzir a latência das aplicações.

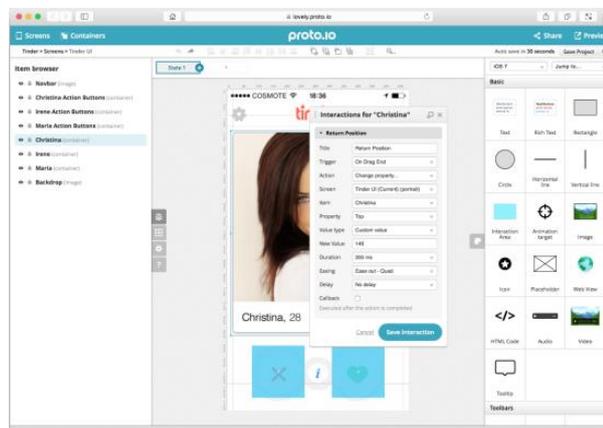
<sup>35</sup> Disponível em: <<https://carlossolon.wordpress.com/2011/03/13/comparacao-de-recursos-do-microcontrolador-arduino/>>.

## 4.2.2 Ferramentas de prototipação de software

Partes destas plataformas foram construídas utilizando os princípios da comunidade *Maker* e “Faça Você Mesmo” (DIY, do inglês *Do It Yourself*) que encorajam entusiastas a buscar o conhecimento sem a ajuda de especialistas pagos (KUZNETSOV; PAULOS, 2010). No contexto computacional, estas comunidades envolvem os princípios de software livre (*Open Source*) e, como mencionado anteriormente, buscam compartilhar códigos, técnicas e conhecimento em diversas áreas.

Na área de desenvolvimento de aplicativos para dispositivos *smartphones*, existem diversas plataformas que auxiliam a prototipação destes sistemas (FIGURA 12). Pela hegemonia de dispositivos que utilizam sistemas operacionais das empresas Apple (iOS) e Google (Android), estas plataformas buscam auxiliar o processo de design com protótipos em *software* que possam ser visualizados antes de as equipes se comprometerem na implementação do código. Alguns destes sistemas são: Balsamiq<sup>36</sup>, InVision<sup>37</sup>, Marvelapp<sup>38</sup>/POP, Proto.io<sup>39</sup>, entre diversos outros.

Figura 12 – Interface do Proto.io.



Fonte: AppInstitute (2022).<sup>40</sup>

<sup>36</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://balsamiq.com/>>.

<sup>37</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://www.invisionapp.com/>>.

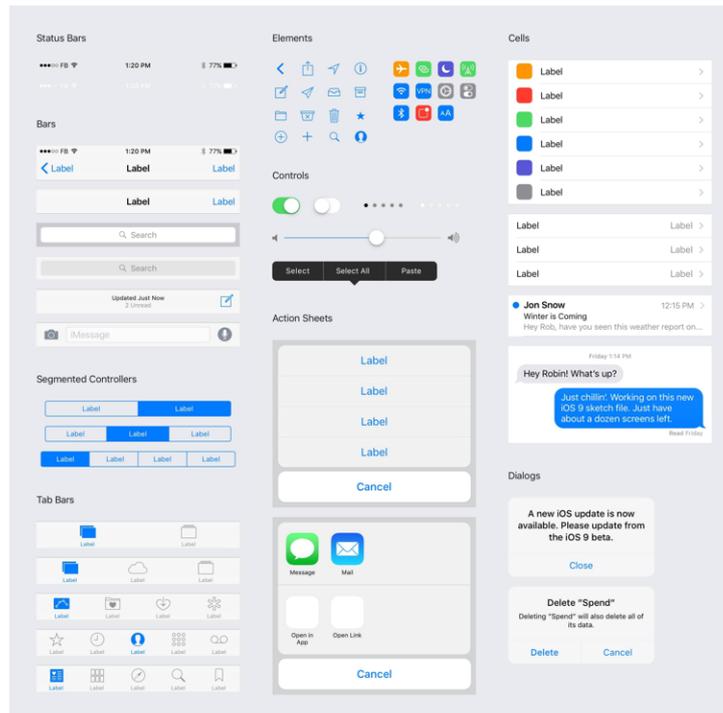
<sup>38</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://marvelapp.com/>>.

<sup>39</sup> Mais informações disponíveis em: <<https://proto.io/>>.

<sup>40</sup> Disponível em: <<http://appinstitute.com/apptools/listing/proto-io/>>.

Estas apresentam ferramentas de edição que contam com modelos de recursos disponíveis (padrões de interação e de navegação) de forma a estimular a geração de ideias a partir dos módulos existentes para estes dispositivos *smartphones*.

Figura 13 – Padrões de interface de aplicativos.



Fonte: Facebookmicrosites (2022)<sup>41</sup>

É possível notar o surgimento de padrões de design da interface (FIGURA 13) - navegação, exibição e seleção de conteúdo, ícones, padrões de cores, entre outros – e da interação (FIGURA 14) destes sistemas e serviços na literatura (NEIL; TIDWELL, 2014) e na internet em websites como Mobbin<sup>42</sup>, Mobile-Patterns<sup>43</sup>, Pptrns<sup>44</sup>, Inspired UI<sup>45</sup>, entre outros.

<sup>41</sup> Disponível em: <<https://facebookmicrosites.github.io/design/old/ios9/>>.

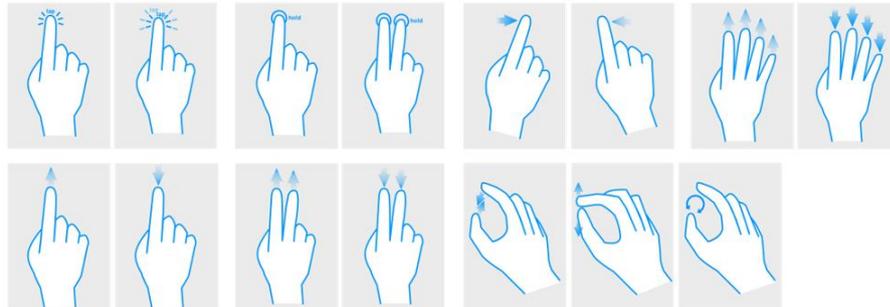
<sup>42</sup> Disponível em: <<https://mobbin.design/>>.

<sup>43</sup> Disponível em: <<https://mobile-patterns.com/>>.

<sup>44</sup> Disponível em: <<https://pptrns.com/>>.

<sup>45</sup> Disponível em: <<http://inspired-ui.com/>>.

Figura 14 – Padrões de interação em tela multitoque para aplicativos que utilizam o sistema operacional iOS.



Fonte: Graffletopia (2022)<sup>46</sup>

### 4.3 MÉTRICAS PARA AQUISIÇÃO E RETENÇÃO

Métricas de negócios são comuns para empresas *startups* no processo de acompanhamento do progresso de projetos e nas tomadas de decisão. Pesquisadores levantam que existem mais de métricas diferentes que variam de métricas convencionais a métricas específicas para modelos de *startup* (KEMELL et al., 2020). Kemmel et. al. classificam estas métricas entre métricas de negócios e finanças; de consumidores e usuários; de engenharia de software e de mídias sociais.

Os autores fazem um levantamento de diversas destas métricas. Algumas destas métricas estão relacionadas com taxa de crescimento de usuários ativos, *churn rate* (taxa de perda de usuários em um determinado tempo), taxa de conversão para modelos de assinatura, intenção de usar o sistema, tempo de sessão, entre outras (KEMELL et al., 2020, pp.114-117).

As chamadas métricas de *startups* para piratas (MCCLURE, 2007) se baseiam em um modelo que envolve descrever o “ciclo de vida” de um usuário em relação ao produto ou negócio, envolvendo as etapas de **Aquisição**, **Ativação**, **Retenção**, **Recomendação** e **Receita**<sup>47</sup> (MCCLURE, 2007):

- **Aquisição:** envolve uso de e-mails, campanhas, propagandas, aplicativos, lojas e sistemas de recomendação, *ad words*, blogs, etc.;
- **Ativação:** envolve uso de hotspots com informações sobre os produtos, vídeos de demonstração de recursos, aplicativos de demonstração, entre outros;

<sup>46</sup> Disponível em: <<https://www.graffletopia.com/stencils/1062>>.

<sup>47</sup> *Acquisition, Activation, Retention, Referral and Revenue.*

- **Retenção:** criação de comunidade, e-mails e alertas, eventos, atualização de conteúdo, uso de gamificação, etc.
- **Recomendação:** envolve a realização de campanhas e competições além de fomentar a própria comunidade criada para compartilhamento de conteúdo;
- **Receita:** uso de propagandas, modelos de assinatura, marketing de vendas, gerar conteúdo específico para usuários assinantes, etc.

Nos últimos anos, houve um aumento do número de aplicativos disponibilizados no modelo *freemium* (derivado da combinação das palavras *free* e *premium*) (BRYCE; DYER; HATCH, 2011) – aplicativos disponibilizados gratuitamente nas lojas de aplicativos, mas que oferecem serviços de assinaturas ou de compras dentro do app para acesso a uma versão paga, ou a funcionalidades e conteúdo exclusivos. Como Bryce, Dyer e Hatch mencionam, este modelo popularizado por empresas como Google, Adobe e Mozilla tem se espalhado para o mercado de aplicativos. Estudos mostram que aproximadamente 94% dos aplicativos disponibilizados na Apple App Store são gratuitos, chegando a 97% na Google Play Store (CECI, 2022).

Pesquisadores acadêmicos remetem ao uso de técnicas de aprendizado para aumento do engajamento e retenção de estudantes durante estudos acadêmicos (CROSLING; HEAGNEY; THOMAS, 2009). Na área musical, alguns autores utilizam elementos de gamificação para aumento da motivação dos estudantes no processo de aprendizado (WAGNER, 2017).

Outras pesquisas na área de jogos notam o uso de elementos de gamificação, que incluem recursos de imersão – avatares, perfis, etc. –, recursos de conquistas – experiência, troféus, níveis e barras de progressão, desafios e metas diárias, etc. –, e recursos de mídias sociais – rankings, competições entre amigos, etc. (MATTKE; MAIER, 2021). Os autores ainda relatam que o uso de elementos de gamificação tem benefícios na associação do usuário com a marca, além de influenciar sua lealdade ao produto e seu engajamento. Sistemas como recompensas por esforço, competição, níveis, placares e se sentir parte de um grupo/comunidade aumentam o engajamento do usuário no aplicativo, enquanto distintivos, recompensas virtuais, restrições de conteúdo e coleções tem impacto na lealdade do usuário (LUCASSEN; JANSEN, 2014).

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentadas abordagens e ferramentas disponíveis na academia e no mercado na tentativa de solucionar os desafios de design de AMIS, particularmente levando em consideração o contexto de uso do aprendizado de instrumentos musicais.

Foram apresentadas diferentes abordagens de design que buscam solucionar problemas complexos como design centrado no usuário, design colaborativo e alguns *guidelines* presentes no design de novos instrumentos musicais digitais. Além disso, diferentes ferramentas de prototipação, como Arduino, Raspberry Pi, circuitos com FPGA, Processing, plataformas de prototipação de aplicativos e padrões de design de aplicativos surgem para auxiliar na exploração de funcionalidades e no design desses sistemas. Foi identificado que diversos pesquisadores das áreas de HCI, HW/SW *codesign*, jogos digitais e design de DMIs acreditam que a prototipação rápida e uma abordagem centrada no usuário são eficazes para tentar solucionar estes desafios.

Além disso, foi identificado que o uso de elementos de gamificação pode auxiliar no engajamento do usuário no aplicativo, enquanto diversos aplicativos que utilizam o modelo *freemium* utilizam diferentes técnicas para expandir o “ciclo de vida” do usuário com seus sistemas.

## 5 ABORDAGEM ADOTADA: PESQUISA ATRAVÉS DO DESIGN

Este capítulo visa apresentar a proposta do projeto de pesquisa. Aqui serão apresentados os princípios e métodos de design que estão sendo adotados durante a pesquisa e a oportunidade da pesquisa junto à empresa Daccord Music.

Zimmerman et. al. discutem que a pesquisa em design emergiu da “necessidade de abordar formalmente a crescente complexidade dos sistemas que estavam sendo solicitados aos designers” (ZIMMERMAN; FORLIZZI; EVENSON, 2007, p. 495). Os autores argumentam que a “pesquisa através do design” (*research through design*) é uma das abordagens ao tratar de “*wicked problems*”, i.e., problemas que são difíceis de modelar e/ou definir devido ao conflito entre diferentes perspectivas e *stakeholders* (ZIMMERMAN; FORLIZZI; EVENSON, 2007).

Outros pesquisadores discutem que este método de “pesquisa orientada para o design”<sup>48</sup> utilizam a criação de protótipos para a produção de conhecimento científico. Fallman argumenta que o termo “*design-oriented*” está diretamente relacionado com o “comprometimento com tecnologia e o desenvolvimento tecnológico” (FALLMAN, 2003, p. 225), produzindo protótipos para testes e avaliações.

Portanto a abordagem de “pesquisa orientada por design” foi utilizada pelo fato de o processo de design contribuir para a produção de conhecimento científico, que por sua vez ajuda na produção de melhores protótipos e produtos finais.

### 5.1 METODOLOGIA

Um dos conceitos utilizados durante o projeto é o do design centrado no usuário, desenvolvido por Donald Norman e Stephen Draper (NORMAN; DRAPER, 1986). Eles partem da ideia de buscar as soluções para os problemas de uma determinada área a partir das pessoas que fazem parte do contexto. Segundo os autores, diferentes abordagens podem ser adotadas, como partir das estruturas de processamento de informação, dos contextos sociais do ambiente que o usuário vivencia e partir da experiência do usuário e tentar aprimorá-la. Em todos os casos parte da ideia de envolver o usuário durante o processo de design (ABRAS; MALONEY-KRICHMAR; PREECE, 2004).

---

<sup>48</sup> *Design-oriented research.*

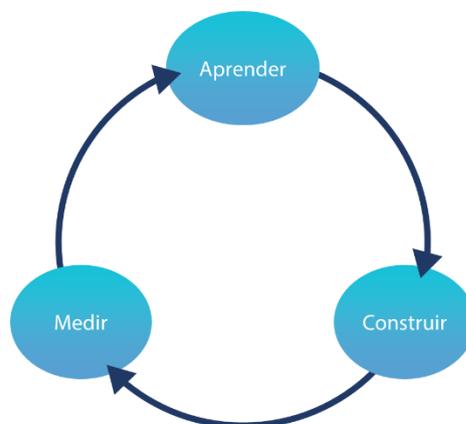
Ademais, o projeto também seguiu a rápida prototipação, que parte dos fundamentos de gerar uma solução o mais cedo possível para ser adaptada e aprimorada ao longo do processo de design. Este conceito é utilizado em diversas áreas como os métodos de desenvolvimento ágeis (BERTHOLDO et al., 2014), e métodos de design como o *Running Lean* (MAURYA, 2012). Esta adaptabilidade permite começar o processo de implementação mais cedo, focando apenas em aspectos essenciais para o usuário. Entretanto, devido aos desafios previamente discutidos, houve a necessidade de utilizar protótipos funcionais para visualização da experiência como um todo em cada iteração.

Pesquisadores da área de design ainda destacam que a prototipação tem um “papel essencial no processo de design de produtos e design de interação” (DOW, 2011 apud CALEGARIO, 2017 P.36). Além disso, é uma que auxilia os *designers* a entender problemas complexos, visualizar ideias abstratas, melhorar a compreensão sobre a interação do usuário, entre outros (CALEGARIO, 2017).

Durante a etapa de avaliação de cada iteração, os recursos do sistema são testados para identificar possíveis falhas, aspectos que devem ser descartados, aspectos essenciais do sistema, reduzindo os esforços em recursos do sistema que não são importantes para o usuário e, o processo iterativo auxilia a redirecionar o processo de design.

Assim, o processo adotado neste projeto segue um processo iterativo que contém as seguintes etapas<sup>49</sup>: **Aprender, Construir e Medir** (FIGURA 15).

Figura 15 – Processo de design adotado.



Fonte: O autor (2022).

---

<sup>49</sup> *Learn, Build and Measure*

### 5.1.1 Aprender

Esta etapa envolve entender o que se sabe sobre o assunto, atentar para oportunidades que possam influenciar o desenvolvimento do projeto, investigar o que já foi feito na literatura acadêmica e as tendências de mercado, buscando identificar artefatos similares que utilizam tecnologias de IoT com instrumentos musicais para aprimorar o processo de aprendizado. Para isso, são realizadas análises de trabalhos acadêmicos, artigos de páginas de jornais e hotspots de produtos similares, vídeos de demonstrações de em sites de compartilhamento como Youtube, etc.

Assim, é possível identificar os **valores** e **serviços** implementados para estes sistemas, possibilitando o foco de atuação e, conseqüentemente, auxiliando nas tomadas de decisão que serão feitas durante o projeto. Além disso, entrevistas com potenciais usuários são realizadas nesta etapa para identificação dos aspectos essenciais no ponto de vista dos usuários e quais destes estão sendo abordados pelas soluções atuais.

Em seguida, diferentes métodos de exploração de ideias são realizados para elaborar uma primeira hipótese de solução. Uma vez definida, utiliza-se uma análise das tecnologias e **serviços** existentes para construção de um primeiro protótipo.

### 5.1.2 Construir

Esta etapa envolve os processos de ideação de uma possível solução, seleção e priorização de funcionalidades a serem implementadas e o processo de prototipação em si. Assim, esta etapa pode ser descrita como diferentes iterações.

A ideação envolve reunir as informações coletadas na etapa de investigação e elaborar formas de tentar solucionar o problema de pesquisa. No caso deste projeto, por ter colaboração direta com uma empresa da indústria de música alguns aspectos foram definidos durante as etapas de inspiração do produto final almejado.

### 5.1.3 Ideação

No ciclo de desenvolvimento do hardware, a etapa de ideação pode ser dividida em duas. Primeiramente, foram realizadas dinâmicas de geração ideias utilizando métodos de design para exploração de ideias, particularmente o **brainwriting 6-3-5** (TAGUE, 2005) e **brainsketching** (VAN DER LUGT, 2002). Fallman acredita que o

uso de *sketches* é importante no processo de design por auxiliar a exteriorizar imagens; facilitar a comunicação com designers e potenciais usuários; transferir conceitos abstratos para formas mais tangíveis (FALLMAN, 2003). Já durante o ciclo de desenvolvimento do software, métodos de **brainstorming** e de **caixa morfológica** foram utilizados para elaborar possibilidades de serviços e seleção de funcionalidades.

Estes métodos foram utilizados por proporcionarem a geração de diversas opções diferentes, quando há o desejo de criar uma grande **quantidade de ideias** em pouco tempo, o que é importante para **fomentar a discussão** entre todos os membros da equipe de design, quando há uma necessidade de **criação de ideias originais** (TAGUE, 2005).

Ao mesmo tempo, a **prototipação** pode ser uma ferramenta para identificar as possibilidades de interação e os recursos disponíveis que podem ser utilizados para auxiliar o processo de aprendizado. Isto permite identificar as limitações das tecnologias utilizadas, que serve para guiar futuras prototipações e ideação de soluções.

#### 5.1.3.1 Seleção de Ideias

Durante a etapa de ideação de ideias, uma abordagem de **design rationale** foi utilizada para a seleção das ideias do projeto. Dix et. al. definem o *design rationale* como a informação – decisões, discussões, debates e negociações – que explica o funcionamento, arquitetura, entre outros aspectos do sistema que será analisado/projetado (DIX et al., 2004). Pesquisadores destacam que o uso do **design rationale** é importante pela “necessidade de reflexão sobre os possíveis cenários e de documentação do processo decisório” (SCHOLZ, 2018, p. 67), primeiramente analisando cenários hipotéticos e, após o avanço dos protótipos funcionais, analisando cenários reais.

Neste projeto, o **design rationale** foi utilizado nas etapas iniciais durante as etapas de discussão das dinâmicas de ideação. Neste caso, as discussões das ideias envolvem diferentes dimensões: aspectos de **estratégia/ inovação no aprendizado musical**, de **mercado**, e **tecnológicos**. Alguns destes aspectos estão relacionados com:

- Integração de novas tecnologias;

- Conexão dos AMIS com conteúdo musical disponível (websites de cifras, serviços de streaming, etc.);
- Tecnologias de recuperação de informação musical (alinhamento de acordes, sistemas de recomendação, etc.);
- Público alvo (primariamente músicos iniciantes ou pessoas que buscaram aprender e desistiram);
- Tendências de mercado;
- Tecnologias utilizadas por sistemas similares;

Outros aspectos estão relacionados com *time-to-market*, potenciais parceiros, canais de distribuição, aspectos técnicos de implementação, entre outros.

Além disso, no ciclo de desenvolvimento do software, foi utilizado um método de **matriz de esforço x impacto** (MODEL THINKERS, [s.d.]) para priorização da implementação destas funcionalidades junto à equipe de design da empresa Daccord. Este método permite a seleção de quais funcionalidades possuem mais impacto para solucionar os problemas identificados e qual o esforço necessário para implementá-las.

#### 5.1.3.2 Prototipação

Primeiramente, o desenvolvedor parte das informações levantadas durante as etapas anteriores de análise da literatura, soluções similares e tendências de mercado. Assim, é possível se familiarizar com o problema além de identificar possíveis restrições de implementação. Em seguida, as soluções levantadas e selecionadas durante o processo de ideação são incorporadas ao sistema para uma nova etapa de exploração da prototipação.

Os protótipos começam a ganhar forma e os resultados das avaliações internas e/ou realizadas diretamente com potenciais usuários ajudam a guiar o *designer* na exploração de novas técnicas, descartar e consolidar técnicas já utilizadas.

#### 5.1.4 Medir

A **avaliação** do sistema é realizada ao final de cada processo iterativo. Como mencionado anteriormente, ao realizar esta etapa é possível analisar o protótipo criado durante a iteração e como ele pode ser refinado. Neste passo, pode-se

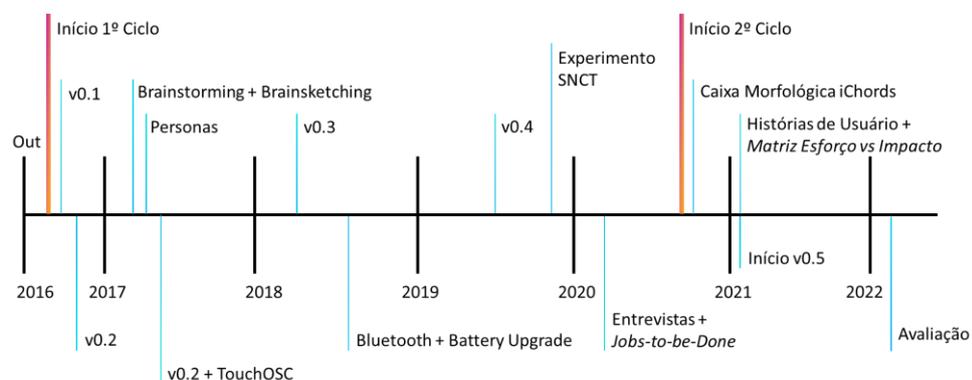
**apresentar o protótipo ao usuário final**, para que este possa apontar possíveis problemas que passem despercebidos pelos *designers* ou demandas essenciais. Em versões iniciais do sistema, estes testes são realizados com grupos restritos com especialistas e indivíduos que fazem parte do público alvo para refinamento do protótipo.

Alguns pesquisadores da área de design de Novas Interfaces para Expressão Musical (NIMEs) destacam que a avaliação de usabilidade para instrumentos musicais é particularmente difícil pelo fato de que métodos de avaliação de usabilidade de ferramentas comumente envolve a medição do tempo que os usuários levam para realizar determinada tarefa. As tarefas musicais possuem a particularidade de serem *“relacionadas com a execução de múltiplos parâmetros e inclui questões relacionadas com tempo, ritmo e treino que não são geralmente presentes em HCI”* (WANDERLEY; ORIO, 2002).

Devido ao aspecto subjetivo da área de música, os autores discutem se estas tarefas devem ser avaliadas quantitativamente ou qualitativamente, uma vez que os músicos estão buscando resultados mais subjetivos e qualitativos do que aspectos quantitativos (WANDERLEY; ORIO, 2002). Neste caso, **avaliações quantitativas** podem ser complementadas com o uso de **avaliações qualitativas** (e.g. questionários, entrevistas semiestruturadas), o que proporciona a descoberta de informações que podem não ser obtidas na avaliação quantitativa (STOWELL et al., 2009).

## 5.2 CICLOS DE DESENVOLVIMENTO

Figura 16 – Linha do desenvolvimento detalhada do desenvolvimento do projeto.



Fonte: O autor (2022).

O projeto foi realizado seguindo uma linha do tempo (FIGURA 16) contendo dois ciclos de design: um ciclo para desenvolvimento do *hardware* e um segundo ciclo de desenvolvimento do aplicativo. No primeiro ciclo, as principais funcionalidades foram implementadas no hardware, assim como a definição de arquitetura deste sistema e implementação do protocolo de comunicação – mais especificamente o conjunto e ordem das mensagens enviadas do aplicativo para o microcontrolador, bem como o tipo de protocolo utilizado para esta comunicação *hardware-software*.

Tendo como partida o hardware do VioLED desenvolvido em sua versão v0.1, o primeiro ciclo envolveu a implementação do software embarcado do *hardware*. A primeira versão implementada neste projeto (v0.2) foi implementada como teste de funcionalidades e para demonstração da plataforma para o público no final de 2016. Após esta versão, foram realizadas dinâmicas de *brainstorming* e *brainwriting* 6-3-5 para geração de ideias sobre as funcionalidades e conceitos que deveriam ser implementados na plataforma, além da análise da base de clientes da empresa e dinâmicas para geração das personas. Após estas dinâmicas, foi identificada a implementação do aplicativo em dispositivo *smartphone*. As versões seguintes foram implementadas primeiramente utilizando o aplicativo TouchOSC e as versões seguintes foram implementadas para Android. Após a finalização da versão v0.4, foram realizados os primeiros experimentos com usuários na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia de 2019.

Em seguida, iniciou-se um segundo ciclo de desenvolvimento do aplicativo que envia mensagens para o VioLED. Isto envolveu a realização de entrevistas com potenciais usuários que fazem parte das personas desenvolvidas, o uso de métodos de design como caixa morfológica, histórias de usuário e matriz de esforço vs impacto para levantamento e seleção de requisitos de sistema, assim como a implementação das funcionalidades deste aplicativo.

Ambos os ciclos seguiram abordagens similares que serão discutidas na próxima seção. Entretanto, métodos específicos utilizados em cada ciclo serão descritos em suas respectivas seções.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

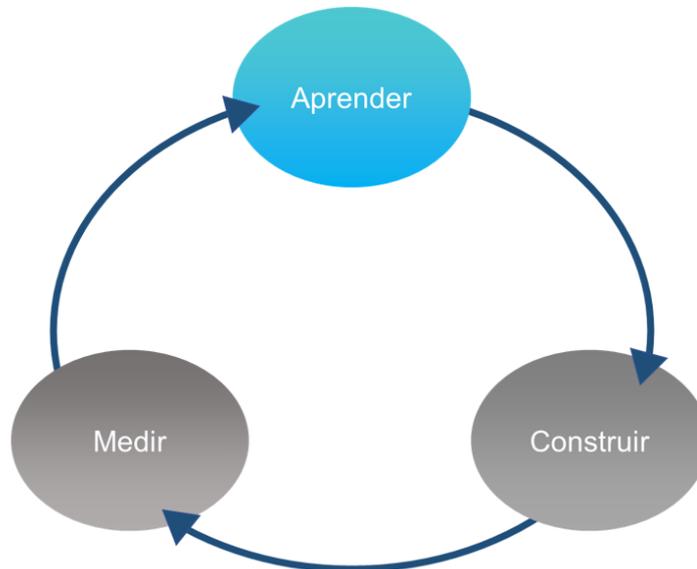
Neste capítulo, foram apresentados os princípios de design e as abordagens que estão sendo utilizados ao longo do projeto, durante o processo de design do sistema em ambos os ciclos de design. São eles:

- Design centrado no usuário;
- Pesquisa através do design;
- Rápida prototipação;

Utilizando os princípios acima, o projeto seguiu um processo iterativo com três etapas: Aprender, Construir e Medir. Durante a primeira etapa, é executada uma revisão de literatura, tendências de mercado, além de entrevistas com potenciais usuários para tentar identificar **valores** e **serviços** que possam solucionar os problemas existentes. Na etapa seguinte, são executadas em dinâmicas utilizando métodos de design como **brainstorming 6-3-5**, **brainsketching**, **caixas morfológicas**, etc. para explorar soluções para o problema. Após a seleção e priorização dessas soluções, os protótipos começam a ser implementados para serem avaliados na etapa final da iteração. Com os resultados da avaliação do protótipo, uma nova fase é iniciada para refinamento e aprimoramento da solução.

## 6 CICLO DE OBSERVAÇÃO

Figura 17 – Observação no processo de design.



Fonte: O autor (2022).

Este capítulo busca apresentar a etapa de observação no ciclo de design (FIGURA 17), envolvendo realizar entrevistas com potenciais usuários para validação do problema e uma análise de sistemas similares. Assim, são descritos o processo de geração de diferentes personas que englobam o público-alvo da solução, elaboração e execução do protocolo experimental das entrevistas, análise dos resultados das entrevistas e análise de diferentes produtos similares desenvolvidos para o aprendizado de instrumentos musicais.

### 6.1 LEVANTAMENTOS DE PERSONAS

Personas são personagens fictícios que são construídas para servirem de representação do público alvo de determinados produtos e/ou serviços, envolvendo padrões de comportamento, objetivos, hábitos, atividades realizadas por estes indivíduos e possivelmente histórias com situações do cotidiano relevantes para o processo de design (MARTIN; HANINGTON, 2012). Pesquisadores discutem que grandes empresas como Microsoft, FedEx e Sony utilizam este método durante o processo de design de produtos e serviços amplamente utilizados (MIASKIEWICZ; KOZAR, 2011).

Miaskiewicz and Kozar ainda discutem os benefícios do uso de personas, como focar no público alvo e suas demandas, criar empatia sobre os problemas enfrentados pelos potenciais usuários, estimular o pensamento inovativo sobre um sistema, definir o escopo de um problema, entre outros (MIASKIEWICZ; KOZAR, 2011). Neste projeto, este método foi utilizado para guiar as discussões de escopo e direcionar a elaboração das perguntas da entrevista.

Alguns aspectos gerais relacionados com o público alvo do sistema foram levantados durante o desenvolvimento de um *Lean Canvas* para o sistema da empresa Daccord, em uma sessão de *Brainstorming*. Estas personas foram geradas buscando atender e expandir a base de clientes consolidada pela empresa Daccord. Esta base de clientes abrange um público majoritariamente masculino acima de 30 anos, com uma parte do público abaixo desta faixa. A maioria do público é de músicos amadores ou que tocam por hobby, com uma parcela de músicos profissionais. Ao mesmo tempo, é uma base de clientes que quer melhorar técnicas de composição e solo/improvisação, mas que também procuram os produtos da empresa para aprender a tocar músicas.

Os perfis identificados foram:

- Usuário não-ativado;
- Músico iniciante;
- Músico amador;
- Músico profissional.

Este último perfil está relacionado com usuários que não são focos primários do sistema, mas são usuários que não devem ser desagradados pela solução final. Desta forma, utilizou-se a plataforma Userforge<sup>50</sup> para desenvolver as seguintes personas (FIGURA 18 a 21):

---

<sup>50</sup> Mais informações em: <<https://userforge.com/>>.

- Adolescente que nunca tocou um instrumento musical [NT]:

Figura 18 – Persona 1: Adolescente que nunca tocou um instrumento musical.

## Mariana

### Adolescente - Nunca Tocou Instrumentos



<b>Idade</b>	<b>Escolaridade</b>	<b>Localização</b>	<b>Renda</b>
17	Cursando Ensino Médio	São Paulo	Sem Renda

— Frases —

“ Não tenho tanto tempo para aprender violão.  
Por onde eu começo?

“ Tô perdida.

— Objetivos —

- Gostaria de aprender violão, mas nunca tocou nenhum instrumento.
- Quer aprender violão para tocar em nas festas com os amigos.
- Quer aprender sem precisar dedicar várias horas por dia.

— Hábitos —

- Mora com os pais
- Usa redes sociais (Instagram, Twitter, TikTok, etc.)
- Usa serviços de streaming (Youtube, Spotify, Deezer, Netflix, etc.)
- Estuda de dia/tarde

Fonte: O autor (2022).

- Adulta que tentou aprender e se frustrou [FR]:

Figura 19 – Persona 2: Adulta que tentou aprender e se frustrou.



**Isabel**  
Adulta - Tentou Aprender e Desistiu

Idade	Escolaridade	Localização	Renda
36	Superior Completo	Porto Alegre	R\$4000,00 - R\$8000,00

---

**Frases**

- “ *Dá muito trabalho.*
- “ *Já tentei antes, mas desisti.*
- “ *É muito difícil.*

---

**Objetivos**

- Gostaria de aprender a tocar sem passar pelo stress que passou antes
- Aprender de forma mais fácil.
- Quer conseguir tocar uma música de forma mais rápida.
- Não quer passar tanto tempo aprendendo sobre teoria musical.

---

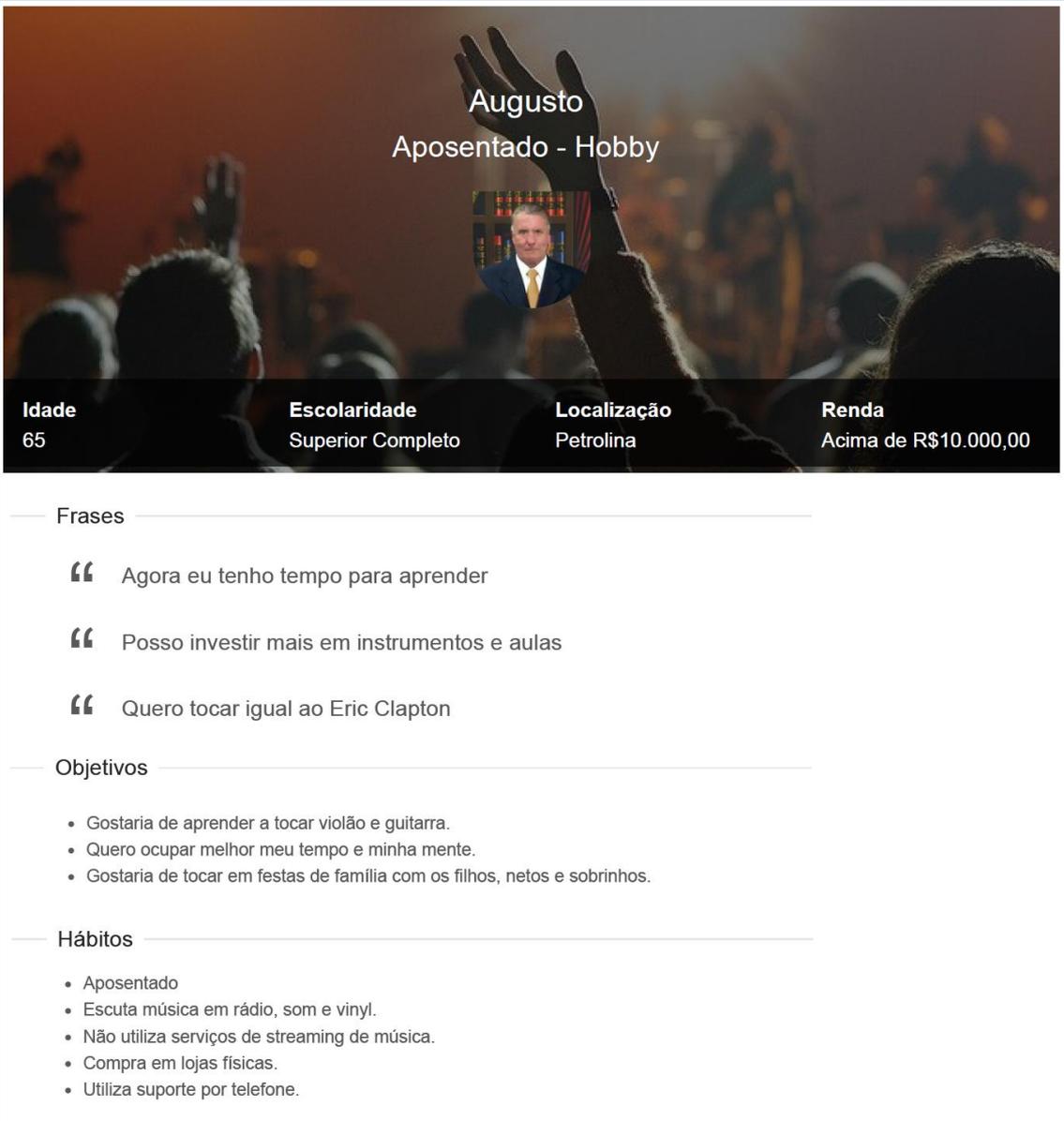
**Hábitos**

- Leva seus filhos na escola
- Trabalha durante o dia/tarde
- Chega em casa à noite
- Utiliza redes sociais como Instagram e Twitter
- Utiliza serviços de streaming como Youtube, Spotify e Netflix.
- Não tem tanto tempo para aprender a tocar.
- Separa um tempo da semana para seus projetos pessoais.

Fonte: O autor (2022).

- Aposentado que está procurando um novo hobby [HB]:

Figura 20 – Persona 3: Aposentado que está procurando um novo hobby.



**Augusto**  
Aposentado - Hobby

<b>Idade</b> 65	<b>Escolaridade</b> Superior Completo	<b>Localização</b> Petrolina	<b>Renda</b> Acima de R\$10.000,00
--------------------	--	---------------------------------	---------------------------------------

**Frases**

- “ Agora eu tenho tempo para aprender
- “ Posso investir mais em instrumentos e aulas
- “ Quero tocar igual ao Eric Clapton

**Objetivos**

- Gostaria de aprender a tocar violão e guitarra.
- Quero ocupar melhor meu tempo e minha mente.
- Gostaria de tocar em festas de família com os filhos, netos e sobrinhos.

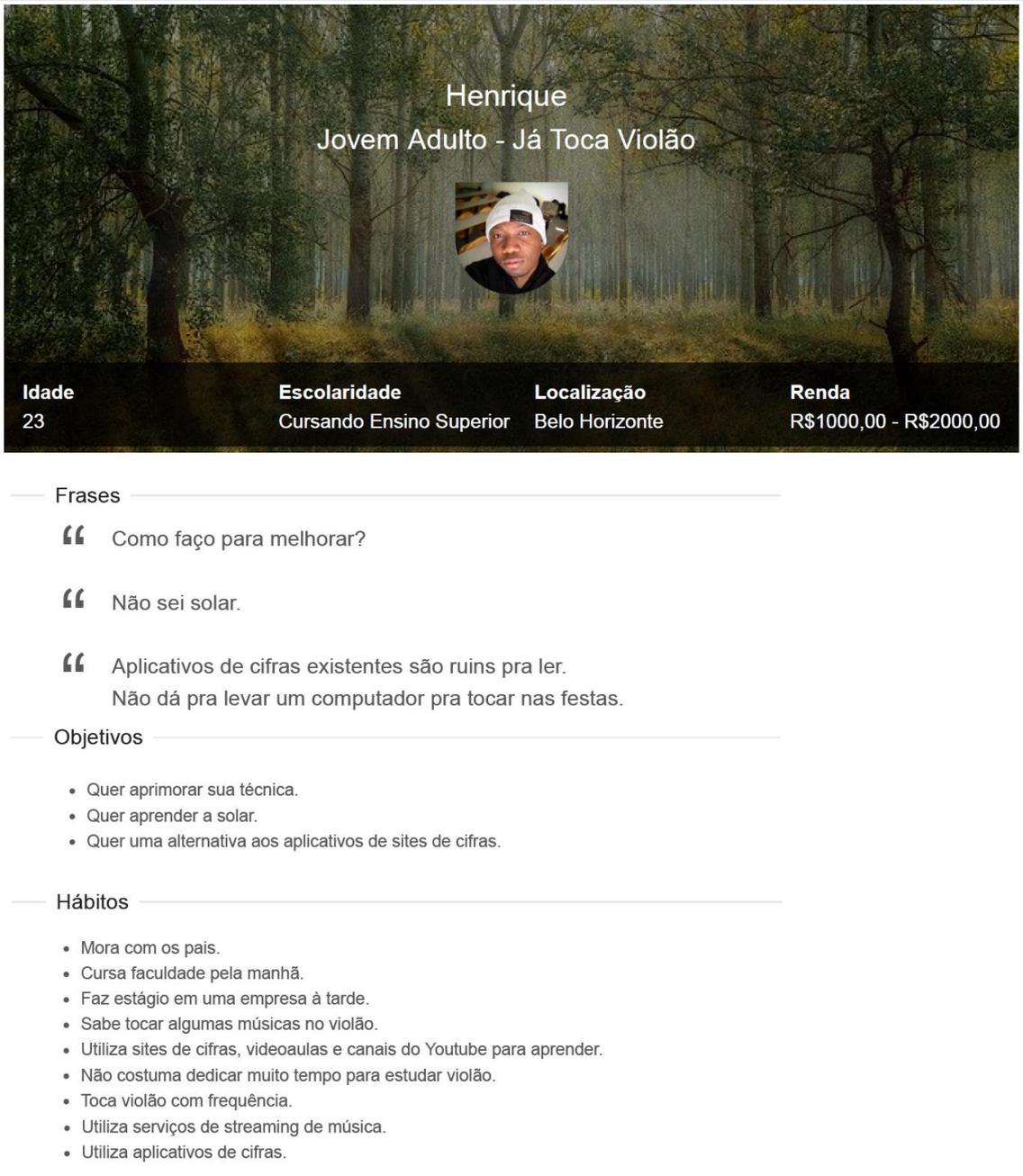
**Hábitos**

- Aposentado
- Escuta música em rádio, som e vinyl.
- Não utiliza serviços de streaming de música.
- Compra em lojas físicas.
- Utiliza suporte por telefone.

Fonte: O autor (2022).

- Jovem adulto que já sabe tocar [ST]:

Figura 21 – Persona 4: Jovem adulto que já sabe tocar.



**Henrique**  
Jovem Adulto - Já Toca Violão

**Idade**  
23

**Escolaridade**  
Cursando Ensino Superior

**Localização**  
Belo Horizonte

**Renda**  
R\$1000,00 - R\$2000,00

**Frases**

- “ Como faço para melhorar?
- “ Não sei solar.
- “ Aplicativos de cifras existentes são ruins pra ler.  
Não dá pra levar um computador pra tocar nas festas.

**Objetivos**

- Quer aprimorar sua técnica.
- Quer aprender a solar.
- Quer uma alternativa aos aplicativos de sites de cifras.

**Hábitos**

- Mora com os pais.
- Cursa faculdade pela manhã.
- Faz estágio em uma empresa à tarde.
- Sabe tocar algumas músicas no violão.
- Utiliza sites de cifras, videoaulas e canais do Youtube para aprender.
- Não costuma dedicar muito tempo para estudar violão.
- Toca violão com frequência.
- Utiliza serviços de streaming de música.
- Utiliza aplicativos de cifras.

Fonte: O autor (2022).

## 6.2 USO DE ENTREVISTAS NO PROCESSO DE DESIGN

Tague diz que o uso de entrevistas é viável no processo de coleta de dados tanto para expansão do conhecimento sobre o um determinado assunto quanto para focar em aspectos específicos do problema (TAGUE, 2005). A autora afirma que é um

método comumente utilizado ao começar a estudar um problema ou quando as possíveis respostas para determinado problema não são conhecidas. Ademais, são métodos comumente realizados com *stakeholders* chave para o problema.

Entrevistas podem ser estruturadas, não estruturadas ou semiestruturadas. Entrevistas estruturadas são mais rigorosas e possuem um conjunto predeterminado de perguntas que devem ser lidas como foram formuladas de forma a estabelecer consistência no padrão de respostas e não causar nenhum viés involuntário. Por outro lado, entrevistas semiestruturadas possuem uma linha de questionamento, porém são mais livres e podem ser utilizadas no processo exploratório devido à flexibilidade das questões e dos diferentes caminhos que a entrevista pode seguir (MARTIN; HANINGTON, 2012).

### 6.3 PROTOCOLO DAS ENTREVISTAS

No caso deste projeto, o objetivo principal das entrevistas era de caráter exploratório, buscando entender sobre o processo de aprendizagem de instrumentos musicais dos entrevistados, aspectos que agradaram e desagradaram durante os seus aprendizados, o que acreditam que poderia auxiliar no processo e, para pessoas que desistiram de aprender, o que as fizeram desistir e o que poderia ter contribuído para não desistirem. Assim, pelo caráter exploratório e pelo fato de serem incluídas pessoas de diferentes níveis e familiaridades com o instrumento, foi optado por utilizar uma abordagem de entrevistas semiestruturadas, com um guia de perguntas que poderiam ser feitas ou não dependendo do nível da pessoa entrevistada.

Os entrevistados foram entrevistados utilizando a plataforma de videoconferência Skype. Os entrevistados marcavam um horário na plataforma Calendly e selecionavam o horário de sua escolha para a entrevista. Além disso, havia a opção da chamada ser por videoconferência ou apenas por áudio.

A entrevista seguiu o seguinte protocolo:

- Entrevistados devem corresponder a uma das personas criadas;
- Entrevistados foram avisados que a entrevista duraria em torno de 15 minutos;
- Entrevistados foram avisados que a entrevista seria gravada apenas como forma de captação dos dados, que essa entrevista não seria divulgada para o público geral e somente seria vista pelos membros da equipe;

- Em primeiro momento, há uma explicação de, no máximo, 5 minutos para situar o contexto da entrevista, sem prover informações sobre o sistema/serviço, apenas para situar o entrevistado que se trata de um contexto de aprendizado de violão e a relação dele com esse aprendizado;
- As perguntas podem ser visualizadas na seção de apêndices (APÊNDICE A).

As entrevistas foram realizadas em um período de duas semanas, com um máximo de 10 entrevistas por dia em blocos de 1 hora, conduzidas e alternadas junto à equipe da empresa Daccord. Os blocos de uma hora para cada entrevista permitiam sua realização, uma margem de erro para eventuais atrasos, e permitia a transcrição das entrevistas diretamente após a sua realização, de modo a evitar acúmulo de tarefas.

Estas entrevistas foram analisadas de acordo com métodos utilizados na literatura para elaboração de categorias relevantes para responder à pergunta central da entrevista (MERRIAM; TISDEL, 2015; TANAKA ET. AL., 2012). Neste caso, a identificação de categorias estava relacionada com a exploração das oportunidades e da identificação do que estas personas buscavam e não gostavam no processo de aprendizado de instrumentos musicais.

#### 6.4 RESULTADOS DAS ENTREVISTAS

As entrevistas foram realizadas com 27 pessoas, dos quais maioria dos entrevistados mencionaram que preferiam tocar violão quando estavam em casa ou em reuniões com os amigos, focando na socialização, troca de informações e compartilhamento de experiências com amigos e família. Além disso, apesar de notarem que um instrutor é importante para passar feedback, guiar o aprendizado e mostrar como os alunos deveriam tocar, muitos notaram que as metodologias eram muito focadas em aspectos teóricos (**P06-ST**) e que isso desmotivava o aprendizado (**P07-FR**), enquanto que eles apenas gostariam de chegar ao ponto de conseguir tocar as músicas.

Entrevistados que tinham o nível mais avançado de violão sentiam a vontade de aprimorar técnicas como harmonização, aprendizado de escalas, solos e improviso e sentiam mais falta de teoria musical. Entretanto, alguns entrevistados notaram que *“...negócio de teoria vem depois. Você vai sentindo necessidade para ficar independente, mas aí você já toca”* (**P01-FR**).

Muitos entrevistados notaram que já tocavam violão ou que já haviam tentado tocar utilizando diversas técnicas diferentes de aprendizado: professores particulares, escolas de música, revistas e sites de cifras, mas poucos conheciam aplicativos de smartphones focados no aprendizado de violão. Os aplicativos conhecidos eram geralmente aplicativos que mostravam as cifras como nos sites (e.g. CifraClub), ou aplicativos de afinadores de violão. Entretanto, alguns entrevistados que utilizavam esses aplicativos revelaram que essas cifras não orientam a maneira de tocar o ritmo (batida) da música, são muito abertos e não possuem um sistema de recomendação do que tocar (**P02-ST**).

Um dos entrevistados falou que “*gostaria de ter mais inspiração no repertório*” (**P02-ST**) e que não lembra do que tocar quando está com o aplicativo de cifras que usa normalmente. Ainda notou que “*... no celular é um saco, eu queria comprar algum dispositivo que grudasse o celular no violão, em que eu pudesse ver a cifra passando*” (**P03-ST**).

Além disso, alguns entrevistados ainda notaram que gostariam de “*um violão aumentado, com uma tela que mostre a cifra*” (**P02-ST**) ou que pensa que daqui a 10-15 anos a visualização dos acordes vai mudar, falando que “*... vai estar muito mais evoluído em realidade aumentada para ver o acorde no braço do seu violão*” (**P04-ST**) ou “*com um violão com o braço meio holográfico onde ele vai dizendo onde você bota os dedos*” (**P05-ST**). Estes depoimentos indicam o direcionamento utilizado durante o desenvolvimento do protótipo VioLED.

Este desejo de ver os acordes (**P08-NT; P09-FR**) das cifras que não conhece vem do sistema atual dos sites e aplicativos de cifras, os quais mostram os desenhos dos acordes ao fim da cifra, ou quando o usuário passa o mouse por cima da cifra. Entretanto, é algo que principalmente os iniciantes reclamam, pois devem parar de tocar, tirar a mão do instrumento, para saber como é o próximo acorde. E quando não se conhece grande parte dos acordes, o que pode causar frustração.

#### **6.4.1 Temas comuns e Jobs-to-be-Done**

Partindo das transcrições, foi utilizado um método de reconhecimento de tópicos que remetiam a diferentes categorias. Para isto, foi utilizado o conceito de *Jobs-to-be-Done*, que são formas de investigar o progresso que os usuários gostariam de realizar em determinado contexto (CHRISTENSEN et al., 2016). Estes “*Jobs*” são “coleções

de princípios que ajudam a descobrir e entender as interações entre consumidores, suas motivações e os produtos que utilizam” (LUCASSEN; JANSEN, 2014 p. 2).

Assim, relatos que citavam “músicas simplificadas demais, ou erradas” (**P06-ST**) ou “não consigo achar as músicas que quero” (**P07-NT**) remetem à **Aprender as cifras das músicas**, mas têm dificuldade de encontrar cifras com credibilidade adequada ou adaptadas ao seu nível, mostrando também **pontos de dores (P)** relacionados com estas categorias. Após esta etapa, as entrevistas foram revisitadas para entender relações entre estes *Jobs* (**J**) e suas dificuldades. Assim, as categorias e pontos de dores identificados foram:

- **J1: Aprender as cifras das músicas**
  - P1: achar músicas compatíveis com seu nível
  - P2: credibilidade da cifra
  - P3: saber as posições enquanto toca
  - P4: Acervo - ter conteúdo disponível
- **J2: Socializar com outras pessoas**
  - P5: Dificuldade de socialização
  - P6: não ter onde demonstrar a evolução
  - P7: não receber feedback
- **J3: Receber feedback**
  - P8: precisão / coerência do feedback
  - P9: credibilidade do feedback
- **J4: Aprimorar técnica**
  - P10: Dificuldade de saber escalas/solos
  - P11: Dificuldade de saber o ritmo/batida/dedilhado
- **J5: Ter liberdade de tocar onde quiser**
  - P12: Formatação e Legibilidade do mobile
  - P13: Tamanho das telas

Após estabelecimento destes *Jobs*, foi realizado um questionário (APÊNDICE B) com 10 tópicos de importância baseados nos *Jobs* identificados, buscando identificar qual a importância de cada tópico para os entrevistados e o quão satisfeitos estão com as soluções existentes, atribuindo uma nota de 1 a 10 para cada pergunta. Com estes dados, é possível utilizar um cálculo de oportunidade baseado na seguinte fórmula para permitir a priorização de desenvolvimento (ULWICK, 2005) (EQUAÇÃO 1):

Equação 1 – Cálculo da oportunidade.

$$Oportunidade = Importância + \max(Importância - Satisfação, 0)$$

Das 22 pessoas entrevistadas durante a primeira fase de entrevistas, 15 responderam o seguinte questionário. Assim, com a média feita a partir das respostas, pôde-se elaborar o seguinte quadro (QUADRO 1):

Quadro 1 – Matriz de importância vs satisfação para tópicos identificados durante a elaboração dos *Jobs-to-be-Done*.

Tópico	Importância	Satisfação	Oportunidade
Ver o desenho dos acordes enquanto toca	8	7	9
Cifras que não contenham erros	9	7	11
Cifras compatíveis com seu nível musical	9	6	12
Músicas que está querendo aprender	10	6	14
Ter o acompanhamento da música enquanto toca	9	5	13
Mostrar sua evolução e receber feedback	9	4	14
Aprender a música completa no início	8	6	10
Melhorar técnica (solos, escalas, harmonização, etc.)	9	4	14
Legibilidade e formatação no celular	9	5	13
Utilizar celular para tocar violão	9	5	13

Fonte: O autor (2022)

Neste caso, a priorização das oportunidades leva ao fato de os usuários encontrarem as músicas que gostariam de tocar no acervo, o fato de receberem feedback e melhorar a técnica. Entretanto, este último está mais associado com a parte do público que já sabe tocar o instrumento, i.e., foi escolhido não focar neste problema uma vez que não faz parte do público alvo central. Ainda assim, deve-se ter cuidado para não desagradar esta parcela do público.

Notou-se que o **feedback** foi algo com um alto valor de oportunidade, porém as discussões com a equipe técnica da empresa revelaram que a viabilidade de um sistema de feedback confiável para os usuários pode apresentar uma dificuldade maior no desenvolvimento, reduzindo o escopo para uma melhoria futura. Todavia, foi discutido que parte do feedback pode vir diretamente de outros usuários em compartilhamento de performances via redes sociais. Assim, os *Jobs* mais relevantes foram:

- Aprender as cifras das músicas;
- Ter liberdade de tocar onde quiser;
- Feedback;
- Aprimorar técnica (não desagradar).

Estes resultados estão atrelados diretamente com uma das perguntas de pesquisa. Ao relacionar os pontos de importância e o grau de satisfação das soluções atuais para os usuários, é possível direcionar a pesquisa para responder o segundo **objetivo de pesquisa**:

- Quais são os serviços que precisam ser atacados para auxiliar este aprendizado?

## 6.5 ANÁLISE DE SIMILARES

Esta seção apresenta uma análise realizada com sistemas similares que buscam resolver o problema específico para o aprendizado musical. Por meio da análise de novas plataformas que vêm surgindo no mercado e algumas pesquisas acadêmicas que abordam este problema, é possível extrair as tendências de **valores** e **serviços**, além de investigar as possibilidades de interação entre o sistema e o usuário.

Enquanto uns utilizam dispositivos luminosos para exibir o conteúdo musical, outros se beneficiam das tecnologias de realidades virtual e aumentada para o ensino de instrumentos musicais. Além disso, é possível encontrar diversos aplicativos que utilizam recursos visuais para ensino de instrumentos musicais, porém visualizados em um dispositivo *smartphone*, *tablets* e/ou computadores.

### 6.5.1 Fretlight Guitar

A Fretlight Wireless (FIGURA 22) é um projeto da empresa Optek Music Systems para desenvolvimento de guitarras e violões que possuem indicadores luminosos embutidos na escala do instrumento. A escala do instrumento é feita de um polímero que é posicionado por cima do circuito que contém os LEDs. A placa cobre toda a extensão do braço do instrumento, contendo 6 LEDs (sendo um para indicar cada corda) em cada casa.

Figura 22 – Fretlight.



Fonte: Fretlight (2019)

Os LEDs da Fretlight Guitar são monocromáticos de cor vermelha (como pode ser observado na figura acima. Na versão mais recente do sistema – Fretlight Wireless – os dados do software são enviados à plataforma por meio de tecnologia wireless, mais precisamente utilizando a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE).

Os softwares integrados permitem a visualização de diversos tipos de conteúdo e implementação de serviços como aprendizado de músicas com acompanhamento do áudio original, lições musicais interativas apresentadas diretamente no corpo do instrumento, exibição de padrões de escalas e acordes, tutoriais, integração com tablaturas e partituras musicais, cifras, entre outros. No modo de escalas, os LEDs que correspondem às tônicas da escala piscam para orientar o usuário, fornecendo a informação que são notas importantes. Entretanto estas são funcionalidades dos aplicativos desenvolvidos pela própria empresa fabricante do instrumento.

O sistema não apresenta antecipação dos acordes para o usuário diretamente no instrumento. Neste caso, a antecipação fica a cargo do software, no qual é possível observar as próximas notas na tablatura.

### 6.5.2 Fret Zealot

Outro sistema semelhante é o **Fret Zealot** (FIGURA 23). Este também é um sistema com LEDs em uma abordagem não intrusiva ao instrumento. O Fret Zealot possui diversas fitas de LEDs, conectadas por um circuito desenvolvido em placa flexível, que podem ser fixadas ao instrumento do usuário. Além disso, os LEDs

utilizados no Fret Zeppelin são do tipo RGB, podendo exibir uma grande variedade de cores diferentes.

Figura 23 – Fret Zealot.



Fonte: FretZealot (2022)

Os serviços implementados para o Fret Zealot são bastante similares aos da Fretlight Guitar. Esses serviços também são focados na representação por tablaturas com acompanhamento automático para o aprendizado de música e um modo de exibição dicionário de acordes e escalas musicais.

Além disso possui afinação, aulas interativas e animações. Ainda possui um sistema de *feedback* que espera o usuário executar a nota atual antes de avançar. Esse recurso é feito utilizando a análise do áudio capturado pelo microfone do *smartphone* e pode ser ativado e desativado pelo usuário.

Por possuir LEDs RGB, o Fret Zealot apresenta um esquema de cores (FIGURA 24) que auxilia o usuário mostrando os detalhes na posição de cada um dos dedos da mão esquerda para formar os acordes. Além disso, o sistema indica ao usuário se uma das cordas (ou mais) não deve ser tocada, exibindo uma luz vermelha em todos os LEDs que representam aquela corda.

Figura 24 – Esquema de cores para os dedos da mão esquerda no aplicativo do Fret Zealot.



Fonte: Captura de tela do aplicativo do Fret Zealot (2019)

### 6.5.3 FretX

Na mesma abordagem não-intrusiva do **Fret Zealot**, o **FretX** (FIGURA 25) também pode ser instalado ao violão (ou guitarra) do usuário. Entretanto, este sistema é instalado apenas nas primeiras 4 casas do instrumento musical. Neste caso, os LEDs da plataforma indicam as notas das 4 primeiras casas e das “cordas soltas” – correspondentes às notas que soam quando o usuário toca as cordas do instrumento sem pressionar nenhuma casa na escala.

Figura 25 – FretX.



Fonte: Captura de tela do vídeo do Youtube do FretX.<sup>51</sup>

Similarmente aos anteriores, o FretX possui os serviços de Afinação – utiliza o microfone do *smartphone* para análise do áudio do instrumento – com *feedback* no aplicativo. Além disso, possui um modo de exercícios musicais. Estes são exercícios relacionados com progressão de acordes, exercícios de prática com escalas e

<sup>51</sup> Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=eihus-1PN7o>>.

improviso. Devido à limitação da própria plataforma, os acordes, escalas e exercícios estão limitados aos que estejam contidos nas 4 primeiras casas do instrumento musical.

Por fim, possui o serviço de exibição de acordes com acompanhamento automático a partir de vídeos da plataforma Youtube. O acorde atual e o próximo acorde são exibidos na tela do smartphone e é possível antecipar os acordes que serão mostrados no FretX, entretanto o tempo de antecipação é fixo, porém ajustável.

#### 6.5.4 gTar

A gTar (FIGURA 26) é um controlador MIDI desenvolvido pela Incident Technologies, que possui algumas funcionalidades similares às plataformas anteriores. A gTar é uma guitarra que também possui LEDs RGB instalados na escala do instrumento e funciona ao acoplar um iPhone no corpo da guitarra.

Figura 26 – gTar.



Fonte: Uncrate (2022)<sup>52</sup>

O aplicativo que controla a gTar possui basicamente dois modos. No modo “Play”, o usuário pode escolher uma música que ele deseja aprender a tocar e funciona como um sistema de Acompanhamento de Tablaturas, em que as notas da tablatura são exibidas no corpo do instrumento. A gTar utiliza um esquema de cores que diferenciam

---

<sup>52</sup> Disponível em: <<https://uncrate.com/gtar/>>.

cada uma das cordas (FIGURA 27). Já o modo “*Free Play*” possui modos de escala sem acompanhamento musical, animações e efeitos sonoros no instrumento.

Figura 27 – Esquema de cores da gTar.



Fonte: Captura de tela do aplicativo da gTar (2022).

O sistema de *feedback* da gTar utiliza sensores nos trastes para identificar quais notas o usuário está tocando e atribui uma pontuação ao final da performance. Além disso, o sistema possui um modo “*Smart Play*”, no qual o usuário não necessita pressionar nenhuma nota no instrumento, apenas precisa tocar as cordas certas.

### 6.5.5 Populele

Na mesma linha de ensino de música, outros sistemas implementam a tecnologia de indicadores luminosos em outros instrumentos musicais. O Populele (FIGURA 28), desenvolvido pela Popuband Music Inc., é um Ukulele que possui LEDs integrados à escala do instrumento assim como o Fretlight descrito anteriormente. Da mesma forma que o Fretlight, os LEDs do Populele são monocromáticos, porém na cor amarela. O sistema também funciona por meio de comunicação BLE entre o aplicativo de *smartphone* e o instrumento.

Figura 28 – Populele.



Fonte: PopuBand Music (2019)

O sistema possui serviços similares aos demais, entretanto utiliza alguns sistemas de gamificação como pontuações ao final da performance, níveis (lições) que devem ser desbloqueados e sistema de progressão com nível do usuário. Além disso, também possui um *feedback* de acertos e erros a partir do áudio capturado pelo *smartphone*. Diferentemente dos demais sistemas que utilizam notações de tablatura, o Populele utiliza a notação musical mais simplificada de cifras.

Entretanto, seu acervo musical possui certa limitação de conteúdo. O conteúdo disponível no aplicativo aparenta ser desenvolvido por uma equipe interna sem conexão com plataformas de streaming, o que reduz a quantidade de músicas disponíveis e pode causar frustração ao usuário se não encontrar as músicas que quer aprender.

#### 6.5.6 Ion All-Star Guitar & Yamaha EZ Guitar

Dois sistemas bastante semelhantes entre si são a **Ion All-Star Guitar** da empresa Ion Audio e a linha **EZ Guitar** (EZ Electric guitar e EZ Acoustic Guitar) da Yamaha (FIGURA 29).

Figura 29 – EZ Guitar (superior) e ION All-Star Guitar (inferior).



Fonte: Compilado de imagens feito pelo autor.<sup>53</sup>

Estes sistemas são controladores MIDI que possuem botões que representam as notas da escala do instrumento. Estes botões contêm luzes que iluminam quando são acionados pelo software de controle. No caso da **EZ Guitar**, o software é embarcado ao instrumento e este possui botões para controle de suas funcionalidades. Já na **Ion All-Star Guitar**, o controle é feito utilizando um tablet Apple iPad.

Como serviços, a **Ion All-Star Guitar** ainda possui compatibilidade com diversos outros aplicativos que utilizam entrada MIDI, e.g. GarageBand. Entretanto, foge do escopo de análise, uma vez que o objetivo deixa de ser o aprendizado do instrumento. Já a **EZ Guitar** possui apenas o serviço de acompanhamento automático, possibilitando ensinar apenas ritmo, apenas as posições ou ambos. Um diferencial da **EZ Guitar** é o serviço de acompanhamento que espera o usuário tocar para prosseguir, algo similar ao “*Smart Play*” da **gTar**, utilizando o *input* dos botões o instrumento.

### 6.5.7 Yamaha EZ Piano e Clavinova CSP

Além da **EZ Guitar** a Yamaha possui dois produtos de teclado: o **EZ Keyboard** e a **Clavinova CSP**. O primeiro é um teclado que possui luzes monocromáticas vermelhas embutidas em cada tecla do instrumento, enquanto o segundo possui LEDs

<sup>53</sup> Imagens da Yamaha retirada do site da Pinterest e da Best Buy, disponível em: <<https://bit.ly/3kpeooq>> e <<https://bit.ly/3J0Dy6V>>, respectivamente.

RGBs posicionados acima das teclas que antecipam a nota para o músico (FIGURA 30).

Figura 30 – Yamaha EZ Keyboard (acima) e Clavinova CSP (abaixo).



Fonte: Yamaha (2019)

Enquanto o aplicativo de controle do **EZ Keyboard** é embarcado no teclado, a **Clavinova CSP** conecta-se ao aplicativo *Smart Pianist*. Ambos os sistemas possuem acompanhamento de acordes sincronizados com a música e dicionário de acordes. Entretanto, a **Clavinova CSP** possui antecipação dos acordes diretamente no instrumento utilizando uma abordagem similar a jogos como Guitar Hero e Rocksmith.

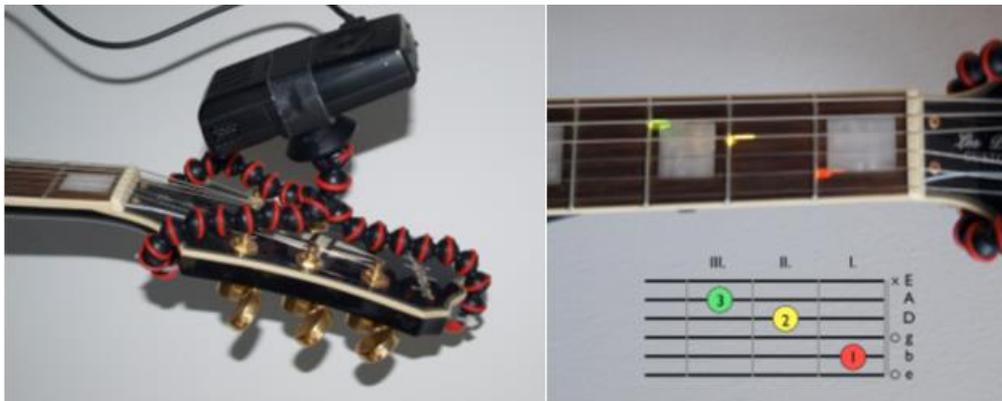
O sistema de LEDs da **Clavinova CSP** contém 4 LEDs para cada nota do instrumento. As luzes surgem na parte de cima do display e seguem até chegarem na parte de baixo do display (logo acima das teclas), em um formato de “cascata”. Teclas brancas e pretas são diferenciadas por LEDs nas cores vermelha e azul, respectivamente.

A **Clavinova CSP** ainda possui um sistema de reconhecimento de acordes a partir de áudios armazenados no dispositivo *smartphone* ou *tablet*, o que permite um aumento do acervo musical. Além disso, incorpora tanto notações tradicionais de partituras como a notação simplificada de cifras.

### 6.5.8 Realidade Aumentada

Algumas pesquisas acadêmicas relatam o uso de tecnologias de realidade aumentada para auxílio a aprendizado de instrumentos musicais. Uma destas pesquisas utiliza projeção acoplada a uma guitarra para exibição de notas, acordes e técnicas instrumentais (LÖCHTEFELD et al., 2011), intitulado por Rogers et. al. como “*GuitAR*” (FIGURA 31). Entretanto, apesar de identificar o recurso de padrão de cores para distinção dos dedos na formação de acordes, a pesquisa foca nas técnicas de visualização deste conteúdo musical, não apresentando os serviços integrados ao sistema. Todavia, é explícito que o sistema ainda não apresenta nenhuma forma de *feedback* para o usuário.

Figura 31 – Protótipo de realidade aumentada para ensino de guitarra.



Fonte: Löchtfeld et. al. (2011)

O sistema P.I.A.N.O. (ROGERS et al., 2014) utiliza projeções de software no estilo *Piano Roll* no corpo de um piano para indicar as notas que o usuário deve executar. Este sistema fornece os serviços de **Acompanhamento de Piano Roll**, o recurso de *feedback* (comunicação MIDI com um computador), indicando se o usuário tocou a nota correta ou não. Ademais, no modo *Practice*, o sistema indica erros do usuário, demarca a nota correta que ele deve tocar e espera a execução da nota correta para continuar. Este sistema ainda possui o indicador de quais dedos devem executar as notas, entretanto este recurso é disponível apenas em mudanças de notas que envolvem trocas de posição dos dedos.

Outro sistema similar ao P.I.A.N.O. é o **TAP: The Augmented Piano** (FIGURA 32) (RAYMAEKERS; VERMEULEN, 2014), que também utiliza projeção de aplicativos com representação por piano roll, e.g. Synthesia. Utilizando o protocolo MIDI, o sistema pode receber dados das teclas tocadas pelo usuário de modo a prover

*feedback* adicional, como, por exemplo, indicar se o usuário executou a nota correta. Além disso, a projeção ainda adiciona informações nas teclas do instrumento – notas para cada uma das teclas e *feedback* visual ao tocar a tecla, exibindo uma cor verde ao tocar a nota correta ou vermelha quando o usuário executa a nota incorreta.

Figura 32 – TAP: The Augmented Piano.



Fonte: Raymaekers, Vermeulen (2014).

Outro sistema que utiliza tecnologias de realidade aumentada é o *Music Everywhere* (FIGURA 33). Desenvolvido pelo *Entertainment Technology Center* da universidade de Carnegie Mellon (Pittsburgh, EUA), o sistema utiliza a plataforma HoloLens da empresa Microsoft para gerar um ambiente de improviso musical e ensino de instrumentos musicais.

Figura 33 – Music Everywhere.



Fonte: Captura de tela de vídeo demonstrativo (2017).<sup>54</sup>

<sup>54</sup> Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=QdIJMc5ek\\_8](https://www.youtube.com/watch?v=QdIJMc5ek_8)>.

Neste Sistema, o usuário veste um display de cabeça HMD (do inglês *Head-Mounted Display*) para aplicações em realidade aumentada e o sistema reconhece as posições de cada tecla do instrumento, posicionando uma interface virtual acima destas teclas. Esta interface apresenta todas as teclas do instrumento e indica onde o usuário deve tocar. O sistema recebe os dados do teclado via *MIDI-over-Bluetooth* e identifica as notas executadas pelo usuário. Além disso, a empresa lançou o Instant Musician que utiliza o sistema de realidade aumentada diretamente em um dispositivo *smartphone*. O aplicativo utiliza o mesmo sistema com **Acompanhamento de Piano Roll** assim como o P.I.A.N.O. e o The Augmented Piano.

### 6.5.9 Aplicativos interativos

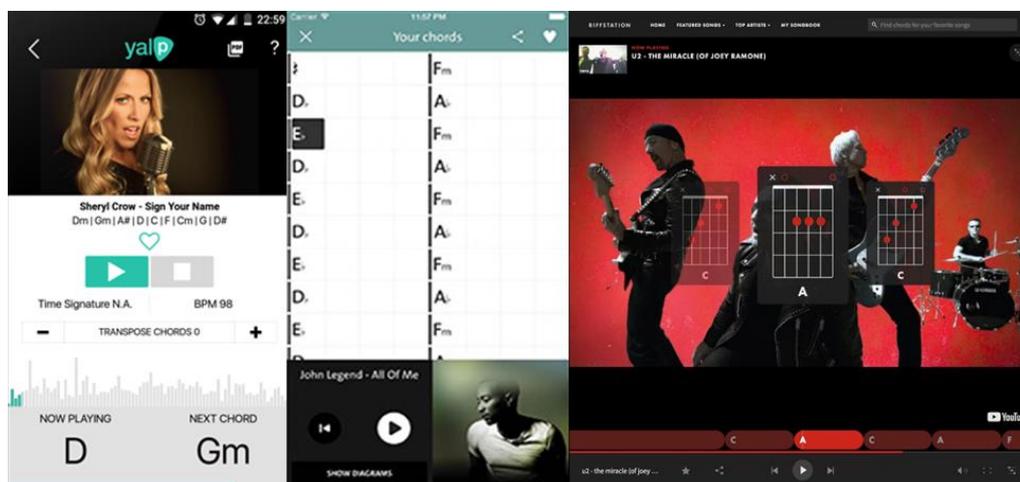
Como mencionado anteriormente, novos aplicativos vêm surgindo no mercado possibilitando a representação em dispositivos móveis, interligação entre diferentes métodos, mas também explorando novos métodos. Jogos de videogame como Guitar Hero e Rocksmith e aplicativos como Chordify, Riffstation, Yousician, entre outros surgem para auxiliar músicos iniciantes no processo de aprendizado.

No caso do iChords original, o usuário escolhe a música que deseja aprender e o software utiliza algoritmos de MIR para reconhecimento dos acordes da música. Os acordes aparecem um pouco à direita do centro da tela em formato de cifras abaixo da representação virtual do braço da guitarra. O acorde movimenta até o centro da tela, chegando no momento em que deve ser executado. Além disso, a representação da posição dos acordes é exibida no braço de guitarra virtual. Este método combina a representação de cifras e ainda exibe na tela a representação da posição dos acordes no braço virtual. Ademais, a antecipação dos próximos acordes, “deslizando” até o momento que são executadas pode ser comparada com um dos aspectos da representação de *Piano Roll*.

O método utilizado pelo Rocksmith é bastante similar. Utilizando uma representação derivada de jogos como o Guitar Hero, os próximos acordes e/ou notas que o usuário deve executar se aproximam da representação virtual do braço do instrumento até o momento que devem ser executados. O Rocksmith utiliza objetos virtuais para representar as notas e, ao chegarem próximos ao braço virtual do instrumento, a posição dos dedos é exibida. Assim, o usuário é capaz de identificar como deve executar estes acordes e/ou notas.

Outros aplicativos como Yalp, Chordify, Fender Riffstation e Yousician possuem métodos diferentes para o aprendizado de instrumentos.

Figura 34 – Yalp (esquerda), Chordify (centro) e Fender Riffstation (direita).



Fonte: Compilado de imagens feito pelo autor (2018).<sup>55</sup>

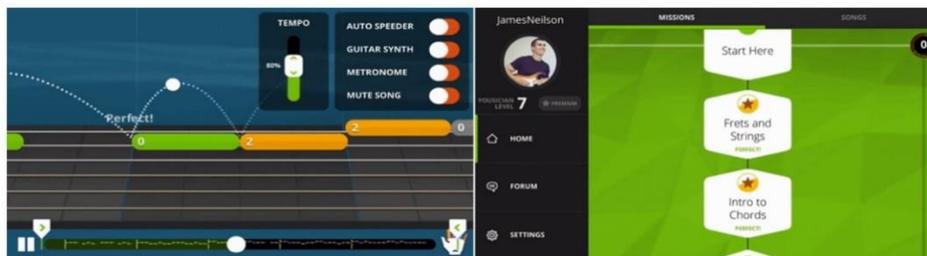
Os aplicativos Yalp (FIGURA 34, esquerda), Chordify (FIGURA 34, centro) e Fender Riffstation (FIGURA 34, direita) combinam o **Acompanhamento por Cifras** combinando à exibição de vídeos extraídos da plataforma Youtube. Os três aplicativos possuem a indicação do tempo que cada acorde deve ser executado, bem como a **Antecipação** dos próximos acordes que devem ser executados. Diferentemente da antecipação diretamente no instrumento, a leitura da notação musical propicia uma antecipação das próximas notas e acordes, à medida em que o usuário se acostuma com seus acordes.

O Chordify possui um detalhe na forma exibição do tempo, pois os acordes são exibidos em uma grade que representa o compasso da música. Um quadrado segue por esta grade indicando o andamento da música em uma espécie de “metrônomo visual”.

O Yousician apresenta uma abordagem diferente com elementos de gamificação. As lições são dispostas em um formato de níveis que devem ser desbloqueadas, possui níveis de usuário, as músicas são classificadas também pelo mesmo sistema de nível, desafios, pontuação, entre outros sistemas.

<sup>55</sup> Imagens dos aplicativos Yalp, Chordify e Fender Riffstation.

Figura 35 – Yousician.



Fonte: Shine music school online (2015)<sup>56</sup>

Como visto na figura acima (FIGURA 35), o Yousician utiliza um sistema de com dois tipos de representação gráfica: a representação por **cifras** e por **tablaturas**. O sistema ainda fornece **feedback** sobre a execução do usuário e possui um indicativo similar a um karaokê que indica o progresso da música.

Aplicativos como o MyMusicTeacher também apresenta um método similar ao Yousician, entretanto usam o **Acompanhamento de Tablaturas**, além de incorporam métodos de videoaulas.

Entretanto estes aplicativos possuem limitações. Enquanto alguns que utilizam representações mais comuns, e.g. Cifra Club e Guitar Pro, frequentemente não se adaptam às limitações tecnológicas dos dispositivos *smartphones* como tamanho, legibilidade do conteúdo e podem não ser tão divertidos, outros podem ficar aquém na quantidade de conteúdo ou no custo (e.g. possuindo serviços pagos para liberação de mais conteúdo).

Além disso, a grande maioria dos aplicativos não possui integração com instrumentos similares aos mencionados anteriormente, com exceção do Guitar Pro, Guitar Tunes, MyJam, Stringmaster e os aplicativos criados pelos próprios desenvolvedores das plataformas apresentadas nas seções anteriores.

### 6.5.10 Serviços

<sup>56</sup> Disponível em: <<https://shinemusicschoolonline.com/2015/10/3-great-guitar-apps-for-your-mobile/>>.

A partir da análise de similares disponíveis no mercado e na literatura, é possível identificar os serviços implementados aos sistemas apresentados anteriormente. Entre os serviços, estão presentes:

- Aprender a tocar a música
  - **Cifras Sincronizadas:** exibe acordes no formato de cifras com acompanhamento automático da música;
  - **Tablaturas/Partituras Sincronizadas:** exibe tablaturas com acompanhamento automático da música;
  - **Piano Roll:** acompanhamento musical com notação de *piano roll*;
  - **Antecipação no Instrumento:** antecipa as notas e/ou acordes no corpo do instrumento;
  - **Distinção do Posicionamento dos Dedos:** distingue as posições dos dedos na hora da execução, instruindo o usuário a executar as notas de maneira detalhada.
- Aprimorar técnica (solos, harmonia, etc.)
  - **Modo de Escalas:** exibe escalas musicais no instrumento com acompanhamento sonoro;
- Extras
  - **Lições:** serviço de lições, aulas e/ou instruções que são exibidas no instrumento ou no aplicativo.
  - **Animação:** possui animações estáticas ou reativas (e.g., modificadas a partir de parâmetros do sistema ou a partir do som capturado pelo *smartphone*);
  - **Afinação:** Serviço de afinação do instrumento;
  - **Dicionário Musical:** O sistema possui um dicionário de escalas ou acordes.
- Feedback
  - **Feedback Automático:** Serviço de *feedback* que recebe input sobre a performance do usuário.

A maioria dos sistemas analisados possui o serviço de **Tablaturas/Partituras Sincronizadas**. Os sistemas de guitarra focam na representação de tablaturas, enquanto a representação de partitura é presente nos sistemas desenvolvidos em pianos e teclados. As exceções para os sistemas de piano são a **Yamaha Clavinova**

**CSP** que utiliza ambas as representações de acordes e Partituras, o **P.I.A.N.O.** e o **TAP** que utilizam representações de *Piano Roll*.

A **Distinção de Posicionamento dos Dedos** também é um serviço que poucos sistemas possuem. Apenas o **Fret Zealot**, a pesquisa de Löchtfeld et. al. (LÖCHTEFELD et al., 2011), e o **P.I.A.N.O.** possuem indicação no próprio instrumento de quais dedos devem executar as notas. Demais sistemas apenas utilizam as notações musicais convencionais apenas nos aplicativos. Nos sistemas analisados, este serviço é implementado utilizando cores para diferenciar os dedos, entretanto cada sistema usa seu próprio padrão de cores.

O serviço de **Antecipação no Instrumento** é utilizado pela **Yamaha Clavinova CSP**, pelos sistemas que utilizam a projeção de programas com notação de *Piano Roll* no instrumento (**P.I.A.N.O** e **TAP**) e pelo **FretX**. Entretanto, este último utiliza uma antecipação total de todos os acordes e não fornece informação do momento exato em que as notas devem ser executadas.

#### 6.5.11 Quadro de serviços e valores

Como forma de estruturar a análise dos sistemas similares, foi elaborado um quadro para obter uma visão ampla dos serviços e valores utilizados. Com isso, foram encontradas similaridades como a predominância da abordagem intrusiva, uso de LEDs monocromáticos em todo o instrumento. Alguns sistemas fornecem **feedback** no aplicativo por meio de captura de áudio ou troca de dados a cabo. As novas tendências envolvem uso de LEDs RGB, com padrões de cores próprios e abordagens não intrusivas.

Alguns sistemas que não possuíam documentação detalhada das funcionalidades, e.g. Tabber Guitar Sleeve e a *GuitAR*, não entraram na análise de **serviços** e apenas alguns **valores** foram extraídos (QUADRO 2).

Quadro 2 – Serviços e valores identificados durante a análise de similares.

	Fret Zealot	Fret Zealot + Guitar 3D	FretX	Populele	Fretlight + Guitar Tunes	Fretlight + GuitarPro	FretLight + StringMaster	gTar	Ion Guitar	EZ Guitar	Yamaha Clarivnova CSP	Yamaha EZ Keyboard	P.I.A.N.O. (RAY MAEKERS et al., 2014)	T.A.P. (RAY MAEKERS et al., 2014)	Instant Musician	Dream Piano Arcade	Chordify	Yalp	Yousician	Songsterr	GuitarPro	Riffstation	Synthesis	My Music Teacher	Jameasy	Four Chords	CifraClub, Ultimate Guitar, etc.	
Cifras Sinc.																												
Tabs/Partituras Sinc.																												
Piano Roll																												
Modo de Escalas																												
Dicionário Musical																												
Afinação																												
Animação																												
Lições																												
Antecipação																												
Distinção Dedos																												
Feedback																												
Exibição no Instrumento																												
Streaming de Áudio/Vídeo																												

■ Possui o serviço       Não possui o serviço  
■ \* Apenas no Aplicativo

Fonte: O autor (2022).

As tendências mostram um maior número de plataformas que utilizam a representação por tablaturas ou partituras, especialmente com sistemas que possuem exibição no próprio instrumento. Entretanto, notações simplificadas de cifras podem ser mais apropriadas para o público iniciante. Sistemas que utilizam notações de tablaturas atendem um público um pouco mais avançado pelo detalhamento na notação.

Outro aspecto recorrente é a **antecipação** do conteúdo para o usuário. Nos casos dos aplicativos, esta antecipação parte da própria notação musical, em que é possível identificar as próximas notas e/ou acordes por utilizarem uma representação em linha do tempo, mostrando o progresso durante a música. Entretanto, a maioria dos sistemas que possuem exibição em instrumentos não se beneficiam da possibilidade de antecipação diretamente no instrumento (com exceção do FretX e dos sistemas com teclado), antecipando apenas nos aplicativos de controle.

Ao analisar os valores relacionados com estes sistemas, foram identificados os seguintes aspectos:

- **Eficiência Cognitiva:** O termo é utilizado na literatura como um aumento de conhecimento em relação ao tempo, ou a eficiência relacionada com aspectos de aprendizado (HOFFMAN, 2012), aqui é utilizado casualmente como fatores que afetam a compreensão do usuário ao que deve ser executado, e.g. legibilidade do conteúdo, simplicidade da representação, exibição do conteúdo no instrumento, etc.
- **Acessibilidade do Preço:** A influência do custo do sistema na acessibilidade para o usuário. Sistemas que possuem um maior custo, ou que necessitam de um serviço pago para ser utilizado possuem são menos acessíveis.
- **Praticidade:** Este conceito está relacionado com a facilidade de aquisição e utilização do sistema. Aplicativos independentes são mais facilmente adquiridos do que as plataformas específicas (e.g. Fretlight).
- **Diversão:** Este também é um fator subjetivo e relacionado com o uso do aplicativo. Aplicativos que utilizam uma abordagem com elementos de gamificação tendem a motivar o usuário, causando a sensação de diversão. Entretanto, deve-se notar que este aspecto pode variar para usuários diferentes e esta análise de valores foi realizada de acordo com a visão do autor deste trabalho.

- **Feedback:** Este aspecto apenas confere se o sistema fornece algum tipo de feedback para o usuário. Alguns sistemas utilizam sensores, enquanto outros utilizam o microfone do dispositivo para identificar a performance do usuário.
- **Progressão:** Este conceito está relacionado com o tipo de progressão que o sistema fornece ao usuário. Foram diferenciados sistemas que apenas fornecem uma pontuação ao final da música de sistemas que utilizam elementos de gamificação, como level do usuário e conteúdo separado por níveis.
- **Quantidade de Conteúdo:** Este conceito remete à quantidade de conteúdo disponível para cada sistema. Sistemas que utilizam conexão com plataformas de streaming e que possuem conteúdo gerado pela comunidade tendem a superar os que utilizam conteúdos produzidos pela equipe de desenvolvimento.
- **Exibição no Instrumento:** Neste caso, apenas indica se o sistema possui a integração com instrumentos que possam exibir o conteúdo diretamente em seu corpo. Este conceito está diretamente relacionado com a Eficiência Cognitiva.
- **Serviços de Streaming:** Este conceito indica se o serviço está integrado com algum serviço de streaming de áudio (e.g. Spotify) e/ou vídeo (e.g. Youtube). Nos sistemas analisados, foi notada apenas a integração com a plataforma Youtube, o que influencia diretamente na Quantidade de Conteúdo.

De acordo com os as tarefas (**Jobs**) e os tópicos de importância levantados durante as entrevistas, podemos fazer algumas relações entre estes conceitos. Como discutido anteriormente, as tarefas de **aprender as cifras das músicas (J1)** está relacionada com ter o conteúdo disponível que as pessoas queiram aprender, achar músicas compatíveis com seu nível, além da credibilidade do conteúdo e da facilidade de entender como tocar os acordes e notas. Assim, a **eficiência cognitiva** e a **exibição no instrumento** afetam diretamente o aprendizado de cifras. Estes estão relacionados com o conteúdo musical exibido, tipo de notação, legibilidade e formatação deste conteúdo. Particularmente, a **exibição no instrumento** pode auxiliar no processo de entendimento de como o conteúdo musical deve ser

executado no instrumento. Além disso, os aspectos de **quantidade de conteúdo** e a conexão com **serviços de streaming** afetam diretamente o acervo disponível para o usuário.

Muitos dos sistemas que possuem hardware e software possuem repertórios reduzidos pelo fato de que os dados de entrada específicos são, a priori, produzidos manualmente para atender às demandas do sistema. Plataformas que utilizam ferramentas de *crowdsourcing* costumam conter acervos maiores pelo fato da própria comunidade alimentar este acervo. Entretanto, plataformas de *crowdsourcing* possuem o trade-off relacionado com a consistência da qualidade da cifra e da notação musical utilizada. Mesmo estabelecendo *guidelines* de inserção deste conteúdo, erros e diferenças de notação se tornam mais comuns neste tipo de plataforma. Já sistemas que utilizam integração com serviços de streaming e ferramentas de inteligência artificial possuem a vantagem de terem acervos limitados apenas à quantidade de músicas disponível nestes serviços. Por outro lado, a consistência da qualidade da cifra extraída fica a critério do treinamento do algoritmo de reconhecimento de acordes.

**Receber feedback (J3)** foi outro ponto mencionado durante as entrevistas como um dos principais recursos para as pessoas, sendo bastante importante para os usuários e um dos recursos que estão menos satisfeitos com as atuais soluções. Dos similares analisados, os sistemas que utilizam *feedback* são o Fret Zealot, FretX, Populele, gTar, Yousician, e os sistemas de teclado/piano. Destes produtos, a maioria utiliza *feedback* a partir de análise sonora captada pelo microfone do smartphone. Dentre os disponíveis para teste, neste caso o Fret Zealot, Populele e o Yousician, o *feedback* fornecido apresenta certas falhas de reconhecimento do áudio dependendo do ambiente em que o aplicativo é utilizado. Especialmente no reconhecimento de acordes, essa análise é mais complexa pelo fato de diferentes acordes serem construídos com notas similares, dificultando a distinção entre eles, acarretando na presença de falsos positivos e negativos. Por outro lado, como discutido anteriormente os sistemas gTar, P.I.A.N.O. e o TAP apresentam diferentes entradas de *feedback* utilizando sensores para detectar quais notas estão sendo tocadas, melhorando a confiabilidade do *feedback* relativo a tocar notas e acordes corretamente.

Os sistemas de **progressão** de nível do usuário podem auxiliar as pessoas a identificar as músicas que são compatíveis com o seu nível. Sites de cifras como Cifra Club e Ultimate Guitar possuem classificações de cifras de acordo com diferentes

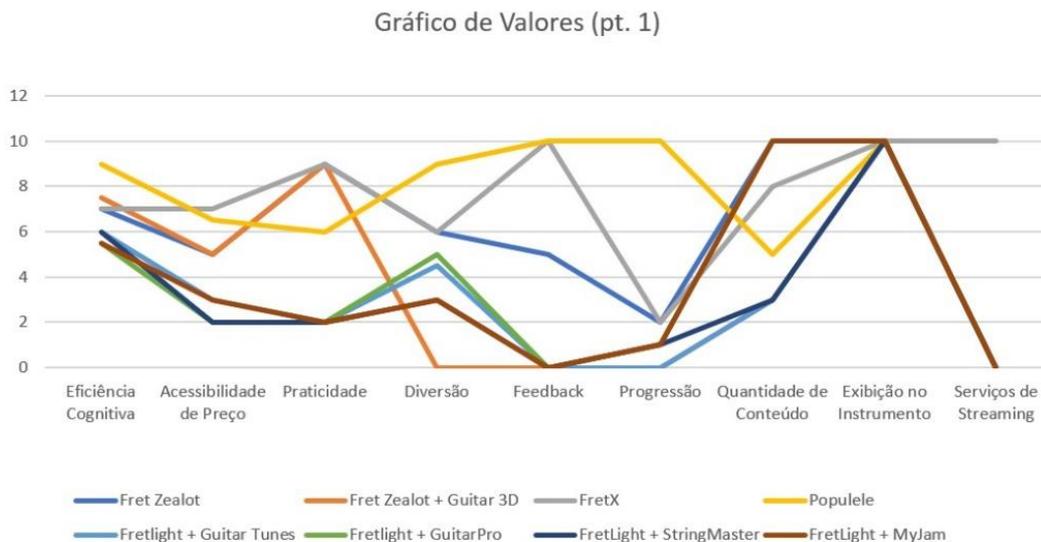
níveis. Entretanto, aplicativos como o Yousician possuem sistemas de progressão do usuário utilizando elementos de gamificação com níveis, rankings e scores e classificam suas músicas de acordo com estes níveis de progressão para guiar o usuário.

A **acessibilidade de preço** e **praticidade** estão relacionados com a aquisição de usuários. Tendências de mercado de aplicativos mostram a crescente adesão de modelos de negócio com aplicativos grátis que contém compras dentro do aplicativo, propagandas e ou modelos que disponibilizam recursos avançados com assinatura de serviços. Pesquisas indicam que usuários tendem a tolerar as propagandas ao benefício do conteúdo grátis recebido (GORDON, 2013).

Ademais, o fator **diversão** é um dos fatores que podem afetar a retenção dos usuários. Pesquisadores da área de gamificação discutem que recursos de imersão do usuário, avatares, desafios, metas, níveis de progressão, experiência, rankings e compartilhamento de dados entre amigos e conhecidos como forma de motivação do usuário para realização das tarefas (MATTKE; MAIER, 2021). Outros pesquisadores discutem que a utilização destes recursos de gamificação podem levar a resultados positivos no engajamento do usuário e sua lealdade com a marca (LUCASSEN; JANSEN, 2014).

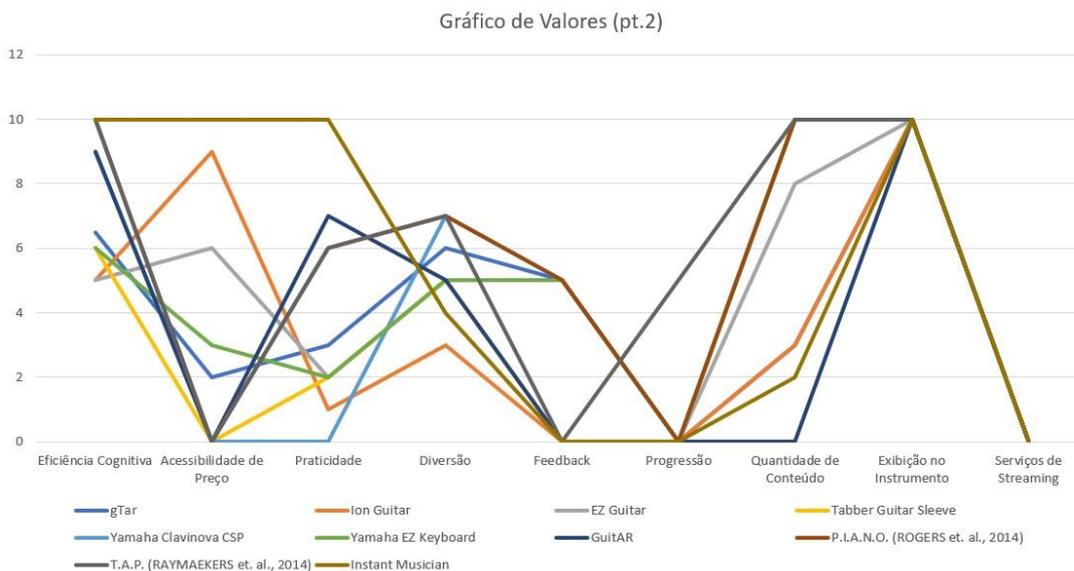
Assim, foi possível realizar uma análise de como os sistemas similares abordam estes conceitos. Para melhor visualização, o gráfico foi dividido em quatro partes (FIGURA 36 a 39) que contém conjuntos dos sistemas analisados.

Figura 36 – Gráfico de valores para Fret Zealot, FretX, Populele e Fretlight.



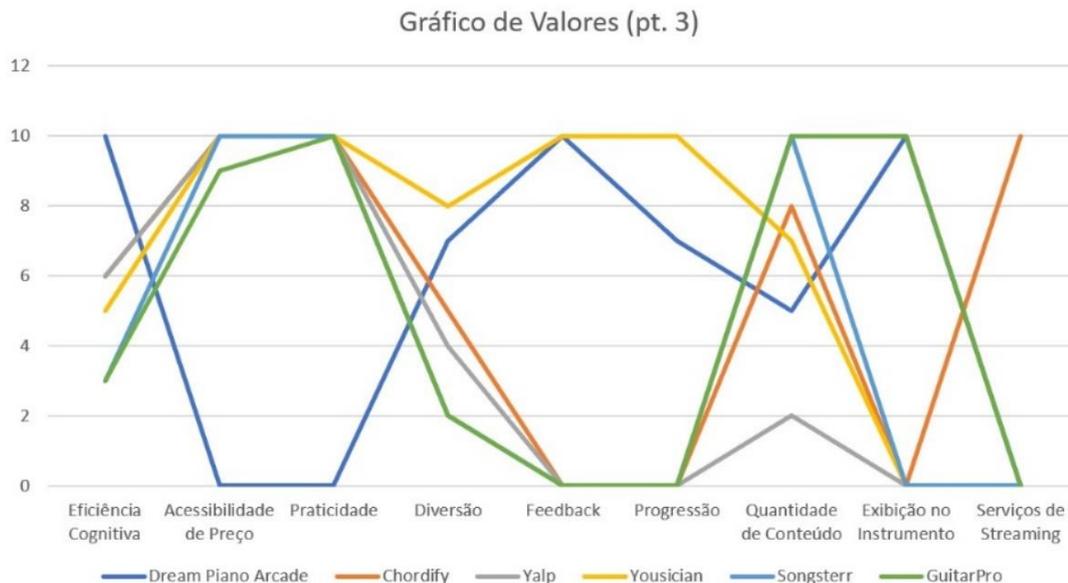
Fonte: O autor (2022).

Figura 37 – Gráfico de valores para gTar, Ion All-Star Guitar, Yamaha EZ Guitar, Yamaha EZ Keyboard, Yamaha Clavinova CSP, Tabber Guitar Sleeve, GuitAR, P.I.A.N.O., T.A.P. e Instant Musician.



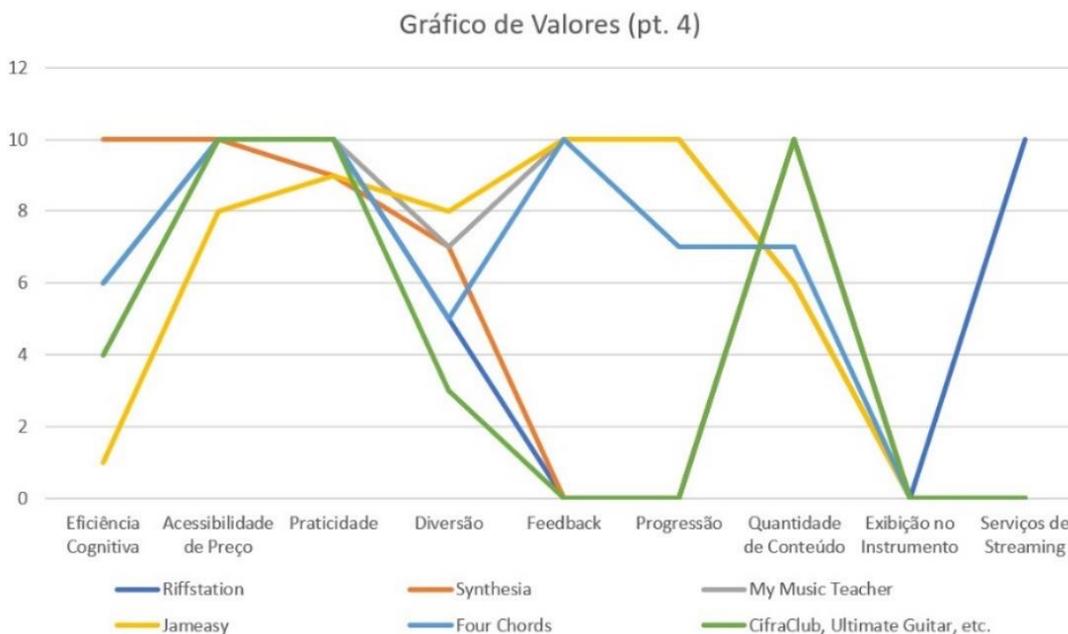
Fonte: O autor (2022).

Figura 38 – Gráfico de valores para Dream Piano Arcade, Chordify, Yalp, Yousician, Songsterr, Guitar Pro.



Fonte: O autor (2022).

Figura 39 – Gráfico de valores para Fender Riffstation, Synthesia, MyMusicTeacher, Jameasy, FourChords e sites de cifras (e.g. CifraClub).



Fonte: O autor (2022).

Em uma curva ideal estes sistemas apresentariam uma linha reta na parte superior do gráfico. Entretanto, é possível notar *trade-offs* relativos a estes aspectos. Sistemas que possuem uma maior eficiência cognitiva tendem a ser menos acessíveis ou menos práticos, por necessitarem de um instrumento compatível.

Além disso, aplicativos que possuem uma maior **eficiência cognitiva** e aplicativos considerados como mais **divertidos** tendem a possuir uma **menor quantidade de conteúdo**, uma vez que estes conteúdos passam por uma curadoria ou são manualmente desenvolvidos. Exceções para este *trade-off* são os sistemas que utilizam a representação de *Piano Roll* (P.I.A.N.O. e T.A.P.). Por um lado, sistemas com melhor **eficiência cognitiva** atacam tópicos importantes relatados pelos entrevistados como aprender as notas das cifras e credibilidade da cifra. Entretanto, pecam no quesito do acervo, limitando as músicas que os usuários poderão encontrar.

Dois aspectos bastante relatados durante as entrevistas foram o **feedback** e **achar as músicas que gostaria de tocar**, i.e., relacionada com o acervo musical. Alguns sistemas como Cifra Club, Ultimate Guitar, Riffsation, Chordify e FretX utilizam abordagens com acervos maiores de conteúdo disponibilizado pela comunidade ou sistemas atrelados a **serviços de streaming**.

Em relação ao sistema de **progressão**, poucos sistemas apresentam este recurso e os que utilizam fazem classificações simplificadas por níveis, geralmente entre três a quatro níveis (simples, fácil, médio e difícil). Como anteriormente mencionado, os aplicativos Jameasy (violino) e Yousician se diferenciam por utilizarem um sistema de progressão com recursos de gamificação de níveis, conquistas, barras de experiência, etc.

Além disso, em relação ao conceito de **aprimorar técnica** levantado nas entrevistas, poucos sistemas possuem recursos para estes tópicos. Os sistemas que possuem instrumentos aumentados geralmente possuem recursos de exibição de escalas para improvisação com acompanhamentos. Por outro lado, os sistemas que possuem apenas aplicativos geralmente possuem videoaulas com explicações e/ou deixam a cargo das próprias tablaturas musicais. Um desses aplicativos, o Yousician, possui lições específicas para solos, também utilizando recursos de tablaturas.

## 6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentado o processo de observação durante o design do sistema. Aqui foram apresentados os métodos e resultados utilizados para elaboração de personas relativas ao público-alvo do projeto, a elaboração de entrevistas, análise dos resultados destas entrevistas, identificação e priorização de tarefas (**Jobs**) a

serem desenvolvidas e a análise de similares para identificação de **valores e serviços**.

Estes *Jobs* e aspectos de importância e satisfação levantados neste capítulo servem como ponto de partida e sugere um direcionamento para análise de produtos similares e desenvolvimento do projeto. Além disso, responde o segundo objetivo de pesquisa:

2. Identificar quais os pontos de dores e serviços precisam ser atacados.

Os aspectos importantes levantados pelos potenciais usuários durante as entrevistas foram:

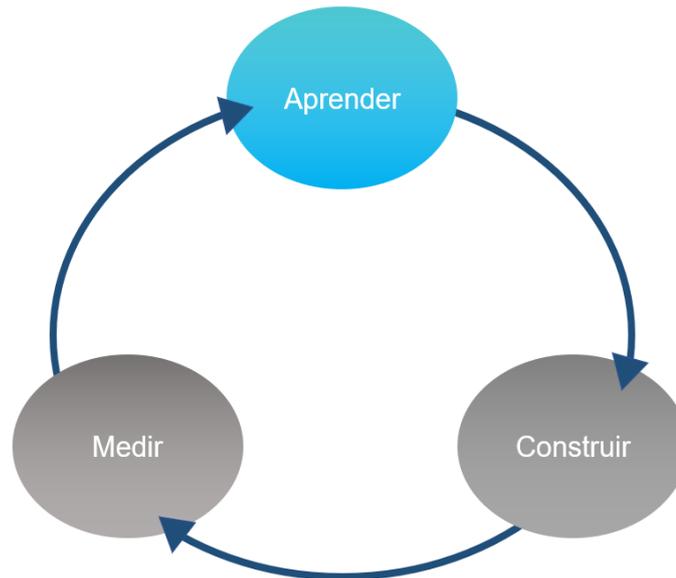
- Aprender as cifras das músicas;
- Ter liberdade de tocar onde quiser;
- Feedback;
- Aprimorar técnica (não desagradar).

Durante as análises dos similares, foi possível identificar *trade-offs* como o fato de sistemas que possuem uma maior **eficiência cognitiva** geralmente possuem acervos reduzidos por possuírem conteúdo específico para a plataforma. Entretanto, alguns sistemas buscam contornar este problema ao utilizar conexões com serviços de streaming, reconhecendo os acordes a partir do áudio das músicas.

Os aspectos identificados nos similares que estão relacionados com os resultados das entrevistas foram a **eficiência cognitiva**, o **feedback** e os sistemas de **progressão**. Assim, alguns sistemas como Populele e Yousician priorizam estes aspectos em relação aos outros, pecando na questão do acervo por possuírem conteúdo específico para estas plataformas. Outros sistemas priorizam alguns desses aspectos, mas pecam em outros.

## 7 CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE: IDEAÇÃO INICIAL

Figura 40 – Ideação inicial no processo de design.



Fonte: O autor (2022).

Este capítulo apresenta os resultados iniciais de ideiação a partir das dinâmicas realizadas com os métodos descritos no capítulo anterior. Aqui, descreve-se a dinâmica de ideiação utilizada e as decisões iniciais feitas durante este processo de ideiação (FIGURA 40).

De forma a delimitar tanto o escopo da pesquisa quanto direcionar o produto final, é necessário focar no conjunto de valores e serviços que o produto final oferecerá ao público alvo. Para isso, foram realizadas duas dinâmicas de geração de ideias dentro da empresa Daccord para identificação inicial dos valores, serviços e público alvo do produto almejado pela empresa.

Como discutido no capítulo 5, foi realizado dentro da empresa uma sessão de ideiação utilizando o método de brainwriting 6-3-5, a qual é uma técnica de Brainstorming, na qual um grupo de 6 pessoas devem escrever três ideias diferentes em um papel no período de cinco minutos. Este método foi utilizado por ser ideal para geração de diversas ideias em pouco tempo e por facilitar a discussão da equipe e geração de ideias originais (TAGUE, 2005). Finalizada a rodada, os integrantes repassam seus papéis e outra rodada recomeça. O grupo continua em blocos de cinco minutos até que cada participante receba seu papel original de volta, fazendo com que

todos possam ter acesso a todas as ideias. Ao completar todas as rodadas, as ideias são documentadas e discutidas pelos participantes.

### 7.1 DINÂMICA DE IDEAÇÃO

Seguindo o método de design *brainwriting* 6-3-5, 6 participantes de dentro da empresa se reuniram em uma mesa com papéis e canetas disponíveis. Os participantes possuíam uma idade entre 20 e 40 anos e trabalhavam em diferentes setores da empresa (3 indivíduos da área administrativa, 2 indivíduos da área de desenvolvimento e 1 indivíduo da área de marketing). Cada participante recebeu uma folha de papel e foi requisitado que desenhassem uma grade de 6x3, i.e., contendo 18 espaços em cada folha de papel (QUADRO 3).

Este método foi escolhido pelo fato de ser possível gerar diversas ideias em pouco tempo. Neste caso, a quantidade de ideias é mais desejada do que a complexidade ou qualidade das ideias.

Neste primeiro momento, a intenção desta dinâmica é gerar um grande número de ideias e conceitos de funcionalidades e serviços que deveriam ser implementados no iChords VioLED. Selecionados estes conceitos e funcionalidades essenciais, pôde-se partir para dinâmicas de *brainsketching* para gerar potenciais soluções que englobariam estes conceitos.

Quadro 3 – Exemplo de conceitos e funcionalidades geradas durante a dinâmica de *brainwriting* 6-3-5.

Usar músicas online para gerar as cifras (youtube, spotify, etc.)	Permitir que o usuário publique sua música (áudio + cifra) para ser tocada por outros usuários	Ter um modo que dê um feedback para o usuário saber se está “acertando” os acordes
Fontes apropriadas ao tamanho da tela, posição do acorde ao LADO (Aumentar a Legibilidade da Cifra). Mostrar acorde atual e próximo	Modo de escalas freestyle	Feedback pode ser dado por outros usuários (ex.: seus amigos do facebook ou do aplicativo).
Rede Social (Posta a música que a pessoa tocar na sua timeline do Facebook)	Músicas “Sponsored” (Artistas pagam para colocá-las em destaque)	Medida de Progresso do Usuário (o quão bem ele vai tocando alguma música ao longo do tempo).
Usando a rede social, a pessoa que aprendeu a tocar pode ajudar outra pessoa que está com dificuldades	Artistas vendem vídeo-aulas e marcam vídeo-aulas para tocar/ensinar para outras pessoas	Integração com sites de cifras
Algo clean e intuitivo	Mudança de bpm e dificuldades das músicas	Compartilhar nas redes Sociais

Fonte: O autor (2022).

## 7.2 RESULTADOS INICIAIS DE IDEAÇÃO

Os conceitos iniciais de design que foram decididos internamente foram:

- “Legibilidade” do conteúdo
- Conexão com grandes bases de dados
- Implementar ferramentas de redes sociais
- Implementar métodos de gamificação
- Design prático, simples, intuitivo e completo.

A diretriz “**Legibilidade**” do conteúdo, neste caso, está relacionada tanto com a clareza, nitidez e facilidade de leitura do conteúdo exibido na tela quanto ao fato que este conteúdo deve ser inteligível ao usuário, ou seja, o sistema deve apresentar o conteúdo de forma que um usuário de qualquer nível possa compreender o que deve ser executado. Outro fator que influencia a inteligibilidade do conteúdo é o tipo de

representação utilizada. Neste caso, foi escolhida a **Representação por Cifras**, uma vez que é uma representação mais simples quando comparada com as representações por tablaturas ou partituras, uma vez que não envolve a representação gráfica de passagens musicais detalhadas como, por exemplo, solos musicais e nuances específicas do instrumento.

Utilizar uma forma de representação simplificada torna a solução mais acessível para músicos iniciantes por requisitar uma atenção menor na identificação do conteúdo e estrutura musicais, fazendo com que o usuário foque na aquisição das habilidades motoras. De fato, os métodos de ensino para músicos iniciantes tendem a focar mais no desenvolvimento das habilidades motoras do que nas estruturas musicais (PALMER; MEYER, 2000).

Além disso, o uso de **Representação por Cifras** já é uma metodologia validada comercialmente pela empresa, que possui diversos *softwares* musicais utilizando este tipo de representação.

A **conexão com grandes bases** de dados parte da emergência de plataformas de compartilhamento de vídeos como Youtube e serviços de streaming de áudio como Spotify, Apple Music, Deezer, entre outros. Serviços de streaming de áudio vem ganhando espaço na indústria de música possuindo mais de 50% da receita do mercado de música (RICHTER, 2019). Serviços como Spotify reportam uma receita acima de 10 bilhões de dólares, com 96 milhões de usuários assinantes (SPOTIFY, 2019). Além disso, websites de cifras como Cifra Club possuem um acervo de 452.000<sup>57</sup> músicas disponíveis e que são compartilhadas por seus próprios usuários (CIFRACLUB, 2019), com uma média de cerca de 30 milhões de acessos por mês, sendo um dos websites mais acessados do país (SIMILARWEB, 2019).

No caso da **integração de elementos de redes sociais**, pesquisadores da área de educação discutem benefícios em utilizar ferramentas deste tipo de mídia para o ensino e aprendizado, denominadas ferramentas da “*Web 2.0*” (DABBAGH; KITSANTAS, 2012; MASON; RENNIE, 2008; SEAMAN, JEFF TINTI-KANE, 2013). Alguns enfatizam que os aspectos importantes do uso de redes sociais no ensino não são as ferramentas e serviços disponíveis e sim os conceitos por trás disto, que envolvem conteúdo gerado pelo usuário, possibilidade de participação em massa, e facilidade de acesso (MASON; RENNIE, 2008).

---

<sup>57</sup> Número de músicas e usuários cadastrados disponíveis no rodapé do website.

Em relação aos aspectos de **elementos de gamificação**, diversas pesquisas apontam que aspectos de gamificação podem ser utilizados para aprimorar o aprendizado e motivação, possuindo ferramentas que promove motivação intrínseca ao usuário (LIU et al., 2011), que é um dos pilares da teoria de autodeterminação e do aprendizado informal. Alguns destes aspectos são resolução de problemas, processamento de informação, ato de jogar/brincar, agir voluntariamente e socialização.

Todavia, alguns pesquisadores remetem que embora estes sistemas possam promover a motivação dos usuários, existem algumas limitações no uso de **elementos de gamificação** (SEABORN; FELLS, 2015), estas limitações podem envolver diversos aspectos, incluindo o contexto de uso do sistema e os próprios usuários (HAMARI; KOIVISTO; SARSA, 2014). No caso do contexto de uso, o autor relata que sistemas ligados estritamente com o comportamento racional podem oferecer um desafio na aplicação de gamificação. O autor apresenta pesquisas que relatam que usuários diferentes tende a responder de maneiras únicas a jogos, o que pode variar a receptividade de sistemas que utilizam elementos de gamificação.

A última diretriz levantada é a do **design prático, intuitivo e completo**. Neste caso, foram levantados tanto aspectos de usabilidade do sistema quanto do “design” percebido como a **estética** da interface. Alguns pesquisadores afirmam que a estética da interface possui um papel importante para a usabilidade de sistemas (NORMAN, 2004; TRACTINSKY, 1997). De fato, Kurosu e Kashimura definiram o termo “*usabilidade aparente*” como fator de estética percebido pelos usuários ao comparar dois Terminais de Autoatendimento (ATMs, do inglês *Automatic Teller Machines*) com o mesmo sistema – mesmas funcionalidades, número de botões e como eles funcionam –, porém com interfaces arranjadas de formas diferentes, em que uma era considerada mais agradável (KUROSU; KASHIMURA, 1995).

### 7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentada a dinâmica utilizada durante as etapas iniciais de ideação do projeto. Utilizando métodos tradicionais da área de HCI, foram identificados conceitos centrais da solução:

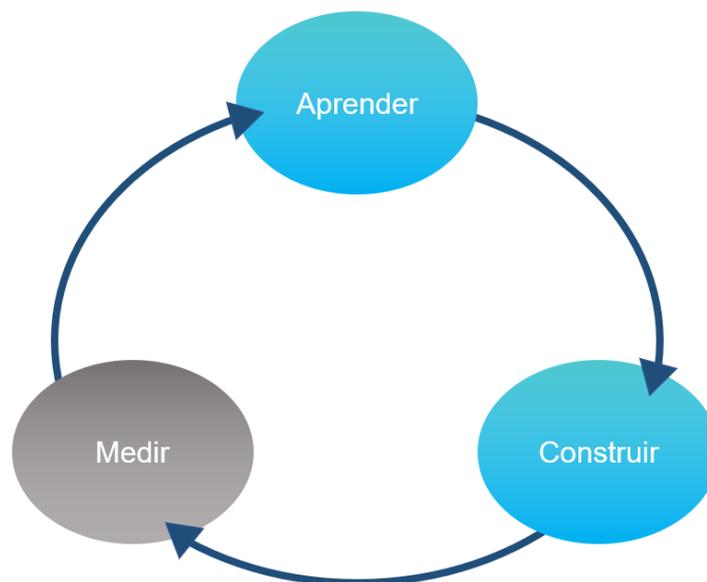
- Legibilidade;
- Conexão com grandes bases de dados de áudio e cifras

- Elementos de gamificação
- Elementos de redes sociais
- Design prático, simples e intuitivo

Estes conceitos guiaram o desenvolvimento do protótipo, descrito no próximo capítulo, e as funcionalidades que foram implementadas de início.

## 8 O PROTÓTIPO VIOLED

Figura 41 – Desenvolvimento do protótipo no processo de design.



Fonte: O autor (2022).

Este capítulo busca descrever o protótipo de hardware, as tecnologias utilizadas e as mudanças realizadas na arquitetura do sistema ao longo de seu desenvolvimento. O protótipo desenvolvido passou por diferentes versões do sistema, desenvolvido em diversos ciclos iterativos de construção com testes internos e alguns testes informais com potenciais usuários (FIGURA 41). Em cada versão, são descritos as mudanças realizadas e os motivos para estes ajustes.

O projeto não focou no desenvolvimento do *hardware* em si, mas no software de controle embarcado neste *hardware* e no protocolo de comunicação do aplicativo com o *hardware*. Algumas alterações de *hardware* serão discutidas visto que impactam diretamente em mudanças no software de controle ou obstáculos identificados durante o processo, e.g., consumo de energia e protocolo de comunicação.

Como mencionado anteriormente, o **VioLED** partiu de uma iniciativa da empresa Daccord Music Software em parceria com o Batebite Artesania Digital. Esta plataforma visa se beneficiar das tecnologias e serviços da área de IoT para aplicações no ensino de música, auxiliando um estudante/aprendiz no aprendizado do instrumento musical e das representações musicais gráficas.

O sistema é composto por um violão convencional, uma plataforma com LEDs individualmente endereçáveis inserida entre a escala e o braço do instrumento, um

Arduino UNO e um computador ou *smartphone* (versões mais atuais). O protótipo pode ser dividido em quatro módulos diferentes: os componentes de **hardware** utilizados, o **software de controle**, o **software embarcado** e o **protocolo de comunicação** entre os dois últimos.

Enquanto o **software de controle** foi desenvolvido para computador nas primeiras versões e atualmente foi desenvolvido para *smartphone*, o **software embarcado** foi desenvolvido para plataforma Arduino e controla a exibição do conteúdo no instrumento.

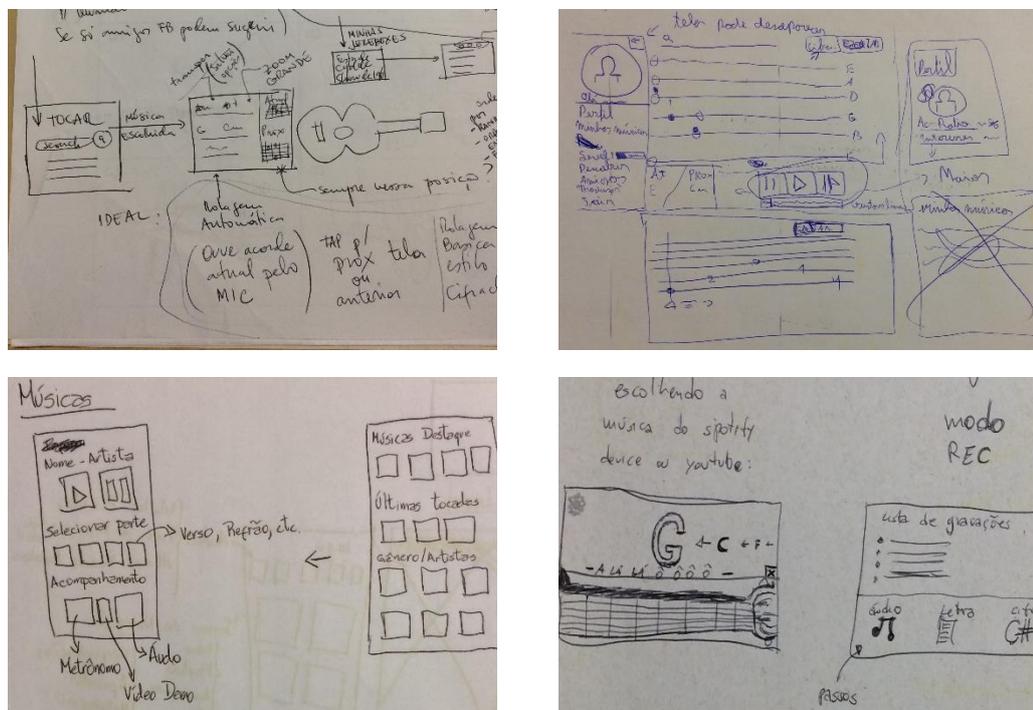
## 8.1 PROTÓTIPOS DE BAIXA FIDELIDADE

Esta seção descreve a dinâmica realizada dentro da empresa na tentativa de ideação de como seria a interação do usuário com o sistema. Os participantes imaginaram como seria a tela do **software de controle** ideal para o sistema e como o seria a experiência do usuário.

A dinâmica foi realizada com os mesmos participantes da dinâmica de ideação (descrita no capítulo anterior). Neste caso, utilizando o método de *brainsketching* (VAN DER LUGT, 2002), cada participante recebeu uma folha de papel e deveria esboçar como seria a tela do aplicativo ligado ao serviço, como seria a interação do usuário e qual seria o fluxo de telas para um uso comum. Os participantes tiveram entre 5 e 10 minutos para pensar como seria esta interação e, após este tempo, as propostas são apresentadas e discutidas (FIGURA 42).

## 8.1.1 Resultados da dinâmica

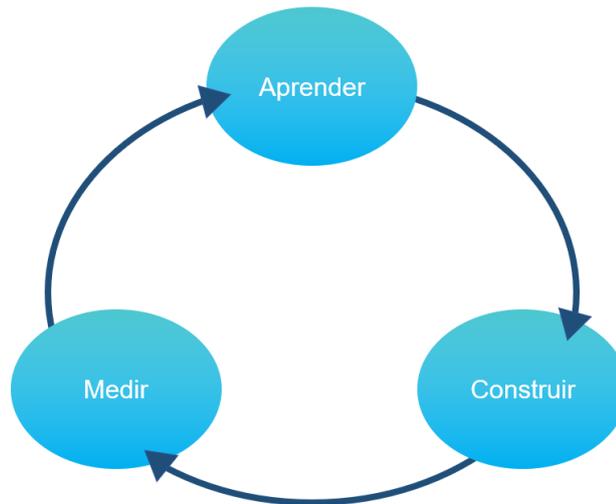
Figura 42 – Exemplos de interfaces geradas na dinâmica 2.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Durante a fase de discussão (FIGURA 43), percebeu-se a dificuldade de imaginar como seria a interação do usuário com o aplicativo e com o instrumento. As diferentes possibilidades de orientação do dispositivo, quantidade de elementos na tela, destaque destes elementos e a relação entre o conteúdo exibido no aplicativo e o conteúdo exibido no instrumento foram temas que emergiram durante a etapa de discussão. Esta dificuldade influencia diretamente na seleção dos elementos que deveriam estar na solução final.

Figura 43 – Etapa de avaliação do protótipo inicial no ciclo de desenvolvimento.



Fonte: O autor (2022).

Por exemplo, de acordo com a análise das soluções similares disponíveis no mercado e as pesquisas acadêmicas que abordam este tipo de aplicação – e.g. o P.I.A.N.O. e o TAP (*The Augmented Piano*) –, além dos testes internos realizados com o protótipo do instrumento que estava sendo desenvolvido em paralelo, percebeu-se a necessidade da antecipação dos acordes para o usuário, corroborando com resultados descritos nestas pesquisas.

Neste caso, quando o usuário busca aprender uma música que não conhece os acordes, a **antecipação** auxilia o usuário a posicionar as mãos e dedos para executar as notas seguintes (ROGERS et al., 2014). No caso das representações musicais gráficas, a própria notação em folhas de papéis (ou em telas) auxilia o usuário pois proporciona uma visão mais ampla das notas e acordes subsequentes, o que pode auxiliar no reconhecimento de padrões musicais. Isto também auxilia o desenvolvimento do **planejamento mental** (COUTO, 2009).

Em contrapartida, o processo de identificação das notas a partir da representação gráfica pode não ser um processo rápido para um músico iniciante. Stewart et. al. descrevem a dificuldade da “tradução” das notações gráficas lidas verticalmente na escala horizontal das notas do piano (STEWART; WALSH; FRITH, 2004). No caso do violão, a representação gráfica de notas e acordes deve ser “traduzida” em uma escala de duas dimensões (casas do violão e cordas). Isto sugere que a exibição das notas e acordes diretamente no instrumento pode auxiliar este processo de “tradução”.

## 8.2 TECNOLOGIAS DE HARDWARE

Esta seção descreve as tecnologias utilizadas durante o desenvolvimento do protótipo de *hardware*.

### 8.2.1 Indicadores Luminosos

Os indicadores luminosos utilizados foram diodos emissores de luz (LEDs, do inglês Light-Emitting Diodes) individualmente endereçáveis do tipo WS2812B (FIGURA 44). Estes LEDs possuem 3 canais que correspondem às cores vermelha, verde e azul (RGB do inglês *Red, Green, Blue*).

Figura 44 – LED WS2812B.



Fonte: Grafenocomponentes.com.br<sup>58</sup>

O protótipo desenvolvido foi instalado em um violão acústico convencional de 6 cordas. Os LEDs são instalados em uma placa PCB que é disposta entre a escala e o braço do violão. Cada indicador luminoso é disposto para identificar uma nota no instrumento. Neste caso, 78 LEDs correspondendo às notas das 12 casas do violão para cada uma das 6 cordas (72 notas) somadas às notas das cordas tocadas sem estarem pressionadas (6 notas) são posicionados no instrumento (FIGURA 45).

---

<sup>58</sup> Disponível em: <<https://grafenocomponentes.com.br/produto/led-smd-ws2812b-rgb-intelligent-control/>>.

Figura 45 – Escala do protótipo desenvolvido.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Pelo fato de os indicadores luminosos serem LEDs individualmente endereçáveis, cada um deles pode ser utilizado para exibir qual nota deve ser executada no instrumento. Além disso, diversos LEDs podem ser acionados simultaneamente. Deste modo, o instrumento é capaz de exibir acordes musicais e notas pertencentes à determinadas escalas musicais.

### 8.2.2 Microcontrolador

O VioLED utiliza um microcontrolador Arduino UNO para controlar os LEDs do violão. O Arduino é uma iniciativa de uma empresa de mesmo nome para auxílio no desenvolvimento de sistemas eletrônicos. Estes microcontroladores permitem que seus usuários possam desenvolver projetos eletrônicos e computacionais facilmente, sem a necessidade de um conhecimento técnico avançado em instrumentação eletrônica. A maioria das placas são baseadas em microprocessadores Atmel com interfaces de hardware e software simplificadas. A linguagem de programação utilizada pelos Arduinos é C++ e Wiring.

Outro fator é que a iniciativa do Arduino foi adotada e apoiada pelos movimentos Maker e *Do It Yourself*. Assim, existem diversas bibliotecas, frameworks, códigos-fonte, etc. disponíveis para o uso de tecnologias como os LEDs utilizados no protótipo.

O **software de controle** envia informações para a plataforma por meio de um protocolo de comunicação específico. Neste protótipo, dados são enviados pelo software para um Arduino UNO. Este microcontrolador processa as informações no **software embarcado** e aciona os LEDs.

### 8.3 VERSÃO V0.1

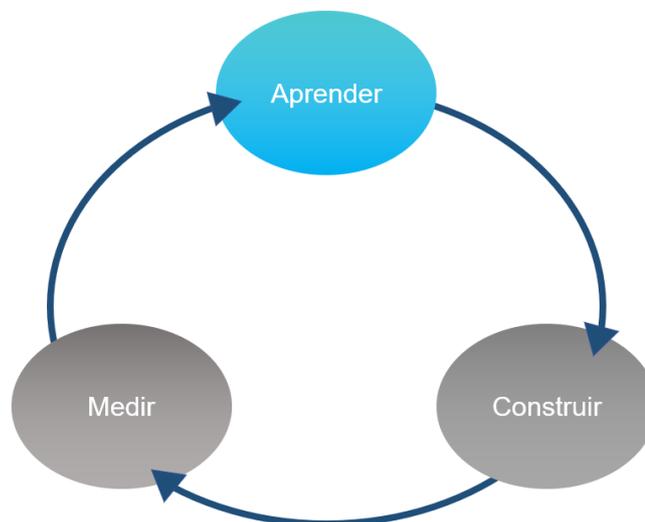
Esta primeira versão do sistema foi implementada pela empresa Batebit. Nesta versão, o VioLED era conectado a um computador com o **software de controle** por meio de um cabo USB e ao microcontrolador por meio de um cabo XLR modificado para fornecer energia e enviar os dados de controle dos LEDs.

O software de controle, desenvolvido na IDE Processing, possui uma matriz para acionar cada LED individualmente. Além disso, possuía alguns comandos específicos para acender e apagar todos os LEDs.

### 8.4 VERSÃO V0.2

Durante esta etapa (FIGURA 46), foi identificado que mais funcionalidades precisavam ser implementadas para explorar aspectos técnicos ligados ao projeto, como latência na exibição do conteúdo, estabilidade da comunicação, possibilidades de sincronização de acordes e notas com música, entre outras.

Figura 46 – Etapa de aprendizado da versão v0.2 no ciclo de desenvolvimento.



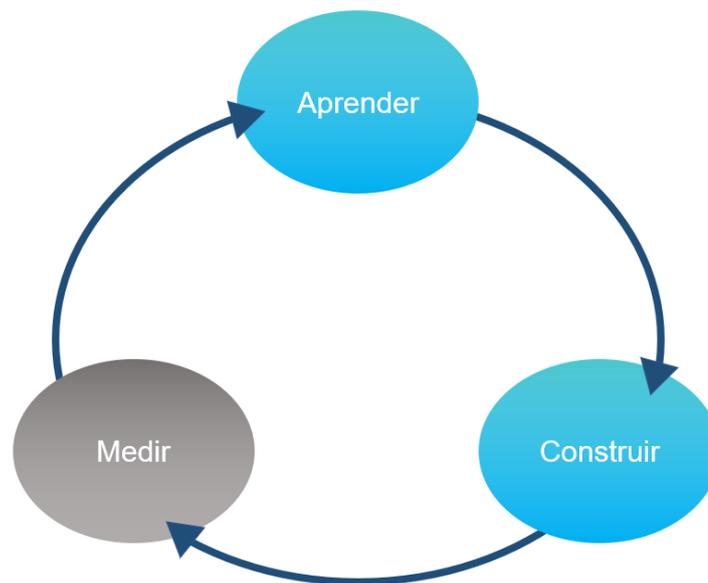
Fonte: O autor (2022).

Esta versão engloba apenas mudanças no software de controle para implementação de novas funcionalidades.

### 8.4.1 Configuração

Um conjunto de funcionalidades foram implementadas para explorar o sistema nesta etapa (FIGURA 47). O sistema conta com a interface gráfica da versão anterior e o **software de controle** (software desenvolvido na IDE Processing) envia comandos que são processados pelo **software embarcado** (software na plataforma Arduino).

Figura 47 – Etapa de construção da versão v0.2 no ciclo de desenvolvimento.



Fonte: O autor (2022).

Entre as funcionalidades implementadas, foram identificados quatro modos de operação do sistema: o **Modo *Piano Roll***, o **Modo de Músicas**, o **Modo de Animações** e o **Modo de Escalas**. Todos estes modos foram implementados no software embarcado, enquanto que o software de controle era executado paralelamente.

No **Modo de Músicas**, o software embarcado exibe os acordes musicais das músicas em sincronia com o áudio. As notas dos acordes são exibidas na própria escala do violão, utilizando os LEDs da plataforma, no tempo correto em que devem ser executados. Assim, não é necessário que o usuário possua conhecimento prévio das representações gráficas musicais, apenas precisa executar o que é indicado.

O **Modo de Escalas** proporciona um outro nível de exibição de conteúdo. Neste modo, todas as notas contidas na escala musical selecionada pelo usuário são

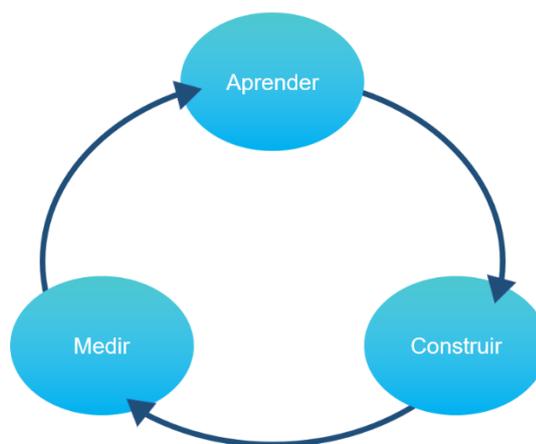
exibidas, fornecendo a possibilidade de o usuário identificar as notas que “podem ser executadas” – notas fora da escala podem ser executadas para causar tensões e/ou dissonâncias à música. Este modo permite que o usuário da plataforma possa caminhar sobre a escala, improvisando por cima de uma base musical que pode ser tocada por outra pessoa ou executada por um arquivo de áudio.

Já o **Modo de Animações** serve como auxílio artístico à performance do usuário. Animações são exibidas e controladas pelo **software de controle**, podendo ser controladas por um usuário externo (similar ao controle de iluminação de palcos em apresentações ao vivo) ou programadas para sofrer alterações com o passar do tempo. Desta forma, as animações podem tanto acompanhar o músico como inspirá-lo a executar certas passagens de forma diferente, e.g. alterando a dinâmica das notas, utilizando mais pausas, aumentando o andamento, entre outras.

No último modo implementado, **Modo Piano Roll**<sup>59</sup>, o software embarcado também exibe as notas musicais sincronizadas com o a canção original, entretanto todas as notas, passagens e acordes musicais são exibidos, similarmente a um *Player Piano* – piano que executa a música sem a necessidade de um músico. Neste modo, a tablatura da música “*Entre dos Águas*” do artista Paco De Lucia é traduzida para o formato de exibição do **software embarcado** e cada uma das notas é exibida em sincronia com o áudio.

#### 8.4.2 Discussões

Figura 48 – Etapa de medição da versão v0.2 no ciclo de desenvolvimento.



Fonte: O autor (2022).

<sup>59</sup> Modo majoritariamente implementado pelo graduando Vitor Cavalcanti Nicéas do Centro de Informática da UFPE, incluindo tradução da tablatura musical para o formato do sistema.

Pelo fato de este último modo consumir bastante memória para armazenar a tradução da tablatura, o **software embarcado** possui apenas esta funcionalidade. Entretanto, uma adição de memória no Arduino UNO ou a escolha de outra placa poderia sanar este problema. Além disso, o armazenamento deste conteúdo pode ser feito no próprio **software de controle** ou em um servidor na internet.

Nesta versão, foi notada – em testes informais – a ausência de diversas informações e/ou funcionalidades que poderiam beneficiar a usabilidade do sistema, como a latência/jitter, oclusão causada pela própria mão do músico, a antecipação da exibição dos acordes, entre outras que serão discutidas no capítulo 9. Assim, hipóteses sobre a usabilidade de sistemas similares foram levantadas e possíveis soluções foram consideradas para avaliações futuras. Existindo múltiplas soluções para um mesmo problema, pode dificultar a identificação de qual método de interação é mais apropriado para solucionar o problema, o que pode gerar dúvidas durante o processo de ideação da solução e nas etapas de prototipação. Neste caso, a prototipação de diversas soluções pode ser um processo que leve muito tempo e que gaste bastantes recursos do projeto.

## 8.5 MUDANÇA DO SOFTWARE DE CONTROLE DA VERSÃO V0.2

### 8.5.1 Tecnologias Utilizadas

As versões subseqüentes foram processos similares no ciclo de desenvolvimento da versão v0.2 (representado pelas figuras FIGURA 46 a FIGURA 48). Assim, os aprendizados das versões anteriores eram considerados para identificar os requisitos que deveriam ser implementados.

Assim, o **software de controle** foi examinado para que pudesse ser possível controlar o sistema por um dispositivo *smartphone*. Até o momento, toda a comunicação era por meio de cabos – comunicação entre o **software de controle** e o Arduino e comunicação entre o Arduino e a plataforma – e nenhum teste havia sido feito com um controle sem fio.

Para isto, foi utilizado o aplicativo TouchOSC, desenvolvido pela empresa Hexler<sup>60</sup>, para o iPhone e para o iPad. Este software envia dados utilizando o protocolo OSC (Open Sound Control) por meio de uma comunicação WiFi.

---

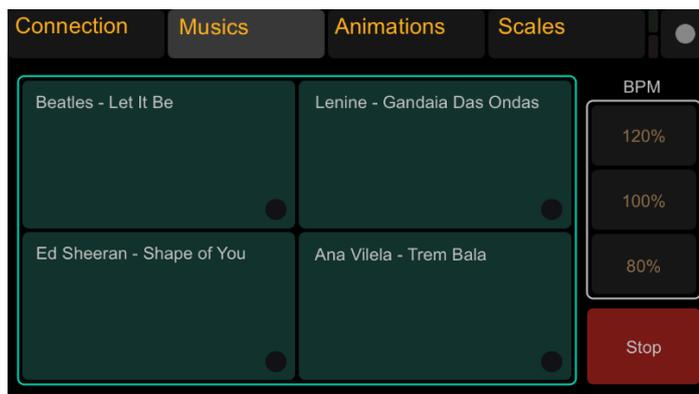
<sup>60</sup> Mais informações disponíveis no website: <<https://hexler.net>>.

## 8.5.2 Configuração

Nesta versão, o aplicativo TouchOSC envia dados de controle para o Processing que serve como uma ponte entre a interface do usuário e o **software embarcado**. O software desenvolvido com a IDE do Processing exibe o IP do computador e executa os arquivos de áudio (quando requisitados), além de enviar *feedback* (qual funcionalidade está ativa) para o aplicativo do TouchOSC. Ao receber os dados de controle do aplicativo, o software do Processing envia o comando – referente à funcionalidade selecionada – para o **software embarcado**.

A interface possui os modos: **Modo de Músicas**, **Modo de Animações** e **Modo de Escalas**. O usuário deve configurar o aplicativo TouchOSC, adicionando o endereço do protocolo de internet (endereço de IP) do seu computador para conectar o **software de controle**. Após a conexão, o usuário pode navegar pelos três modos.

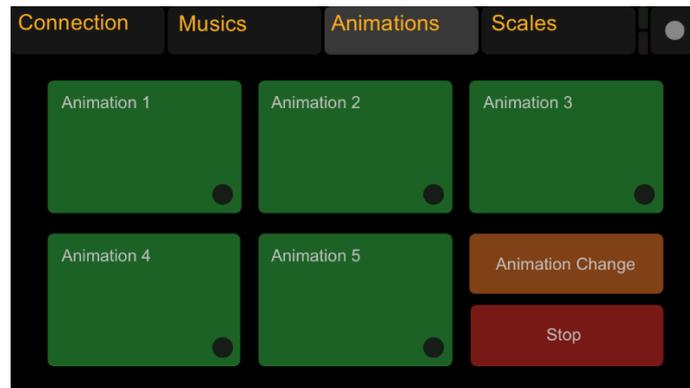
Figura 49 – Interface do Modo de Música utilizando o aplicativo TouchOSC.



Fonte: O autor (2022).

No **Modo de Músicas** (FIGURA 49), o usuário pode escolher tocar uma das 4 músicas implementadas. Além disso, o usuário pode selecionar entre tocar a música em seu andamento original, em um andamento mais lento ou em um andamento mais rápido. Desta forma, o usuário iniciante pode começar com um andamento mais lento e aumentá-lo à medida que vai ganhando confiança.

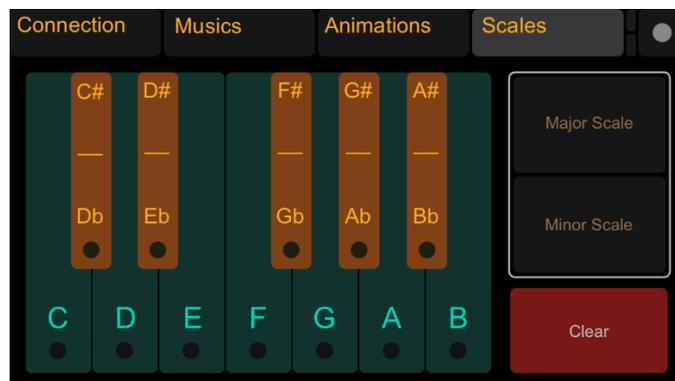
Figura 50 – Interface do Modo de Animações utilizando o aplicativo TouchOSC.



Fonte: O autor (2022).

No **Modo de Animações** (FIGURA 50), o usuário pode escolher entre cinco animações pré-configuradas. Quatro destas animações possuem alterações que podem ser controladas no aplicativo. A última animação não possui alterações que possam ser controladas, entretanto possui animações que variam de acordo em sincronia com uma música de fundo.

Figura 51 – Interface do Modo de Escalas utilizando o aplicativo TouchOSC.



Fonte: O autor (2022).

No **Modo de Escalas** (FIGURA 51), o usuário pode escolher a tonalidade da escala por meio de uma interface com o layout de um piano (teclas representando uma oitava do piano). Nesta interface, as notas musicais são indicadas de acordo com a representação gráfica e o usuário ainda pode escolher se deseja exibir a escala Diatônica Maior (Escala Maior) ou Diatônica Menor (Escala Menor Natural) para cada tonalidade.

### 8.5.3 Discussões

Nesta versão, o software ainda não incorporava a nenhum tipo de representação durante o **Modo de Músicas**, aparecendo apenas como indicativo no **Modo de Escalas**. No **Modo de Músicas**, foi implementada um tipo de antecipação de acordes para testes iniciais, que necessita ser testada com o público alvo. Neste caso, o tempo de antecipação do acorde é a metade do intervalo de tempo da sua duração. Além disso, foi implementado a variação do andamento (BPM, do inglês *Beats Per Minute*), permitindo reduzir a velocidade da música.

Esta versão mostrou a necessidade de uma maior praticidade no controle do sistema. A interação utilizando um dispositivo *smartphone* reduz o tempo do usuário em começar a atividade e a praticidade de utilizar um dispositivo móvel com interface multitoque para controle do sistema.

Outra necessidade encontrada foi de reduzir ao máximo o armazenamento e processamento de dados do microcontrolador para que fosse possível expandir as funcionalidades da plataforma e o conteúdo disponível.

Assim, a arquitetura do sistema foi modificada e um protocolo de comunicação foi desenvolvido para que o Arduino funcione como uma ponte entre o conteúdo enviado pelo **software de controle** e a plataforma. Desta forma, o conteúdo pode ser armazenado no próprio dispositivo *smartphone* ou armazenado em servidores. Ou seja, o **software de controle** requisita, prepara e envia o conteúdo para o microcontrolador em um seguindo um protocolo de comunicação; o **software embarcado** interpreta a informação e aciona a plataforma, exibindo os LEDs indicados.

## 8.6 VERSÃO V0.3

De forma a aprimorar o protótipo, buscou-se implementar uma nova forma de comunicação sem fio utilizando a tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE), ainda com o Arduino UNO como microcontrolador, com alimentação de energia por bateria recarregável e utilizando a plataforma de desenvolvimento Android.

Entretanto, esta versão do sistema foi gerada internamente como um protótipo funcional para testar os aspectos técnicos, principalmente relacionados a interação do usuário e a comunicação entre o aplicativo e o instrumento. Neste caso, apenas um

exemplo de interação foi utilizado, passando apenas por um refinamento de ideias com os integrantes da empresa.

### 8.6.1 Tecnologias Utilizadas

Esta versão do **software de controle** foi implementada para o sistema operacional Android, utilizando a IDE Android Studio. Nesta etapa, percebeu-se a necessidade de criar um protótipo funcional em *smartphone* para o sistema para investigar sua interação com um dispositivo móvel.

#### 8.6.1.1 Comunicação

A princípio a tecnologia escolhida para comunicação do aplicativo com o violão foi o *Bluetooth Low Energy (BLE)*, *Bluetooth Smart* ou *Wibree*. O BLE é uma tecnologia implementada a partir do Bluetooth 4.0 desenvolvida especificamente para funcionamento com baixo consumo de energia. Entretanto, o suporte para a tecnologia BLE no Android ainda apresenta obstáculos para a aplicação específica deste projeto.

Apesar de o BLE possuir uma baixa latência na transferência de dados em uma conexão, o tamanho do pacote de dados a 20 bytes por pacote. Neste caso, a tecnologia está otimizada para enviar pequenos pacotes de dados intermitentemente e não grandes volumes de dados de forma contínua. Portanto, não seria o caso ideal para a aplicação deste projeto, já que há casos que necessitam a transmissão de 234 bytes – 78 LEDs RGB que exigem um byte específico para cada uma das três cores – por vez (cada um dos frames das animações).

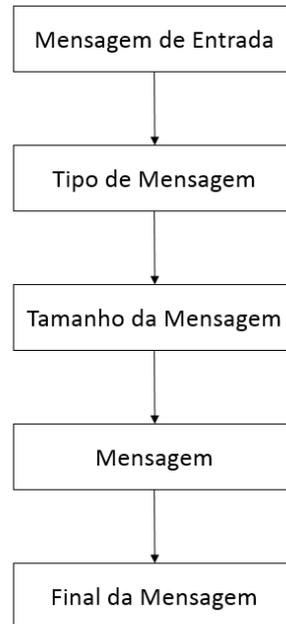
Portanto, foi necessária a mudança para a tecnologia de Bluetooth Clássico. Ainda assim, a tecnologia de Bluetooth Clássico apresentou alguns problemas de latência no modo de animações.

#### 8.6.1.2 Protocolo de comunicação

Após o teste com o TouchOSC, foi desenvolvido um protocolo (patente de número BR 102017008296-2) de comunicação que pudesse enviar todas as informações do aplicativo para o **software embarcado** (utilizado desde a versão 0.3). Neste caso, o

instrumento recebe os dados encapsulados no formato do protocolo, processa esses dados e exibe a informação.

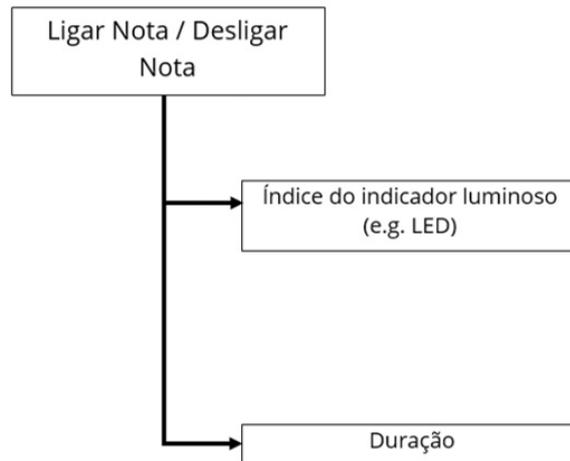
Figura 52 – Formato do protocolo de comunicação.



Fonte: O autor (2022).

O protocolo segue, atualmente, o seguinte formato de envio de dados (FIGURA 52): Os primeiros bytes servem para comunicar o começo da mensagem, o tipo da mensagem e o tamanho da mensagem que será enviada. Após estes primeiros bytes, são enviados os bytes referentes à mensagem em si (quantidade de bytes estabelecida de acordo com o tamanho da mensagem) e por último é enviado um byte de final de mensagem. Exemplo dos tipos de mensagens são mensagens de ligar/desligar nota (FIGURA 53), ligar/desligar acorde, ligar/desligar escala, envio de metadados das músicas (BPM e compasso), mensagens de controle dos LEDs, controle de animações, entre outros.

Figura 53 – Exemplo de mensagem de ligar/desligar nota.



Fonte: O autor (2022).

No caso da mensagem de “ligar nota”, o software deve enviar o índice do LED que corresponde àquela nota na escala do violão, seguindo o esquema de índices da plataforma, e o tempo que a nota deve ficar ativa.

## 8.6.2 Configuração

### 8.6.2.1 Arquitetura do Sistema atual

Figura 54 – Esquema da arquitetura atual do sistema.



Fonte: O autor (2022).

De forma a compreender a arquitetura do sistema (FIGURA 54), pode-se analisar um exemplo de um usuário que gostaria de aprender uma música nova utilizando o serviço de **Acompanhamento de Acordes**. O usuário acessa o aplicativo no seu *smartphone*, escolhe o **Modo de Músicas**, escolhe a música que deseja aprender e escolhe o modo “Tocar”. O *software* busca no servidor os dados do arquivo JSON referente àquela música. Atualmente, os arquivos JSON contêm os acordes que

devem ser executados com suas respectivas durações e o tempo exato que o usuário deve executar o acorde. Estas informações são processadas pelo aplicativo que, ao tocar a música desejada, identifica o acorde que deve ser enviado ao instrumento, encapsula as informações de exibição do acorde de acordo com o protocolo de comunicação desenvolvido, e envia estes dados por meio da tecnologia Bluetooth. Na outra extremidade do sistema, o **software embarcado** no Arduino recebe os dados enviados por Bluetooth, decodifica as informações encapsuladas e exibe o conteúdo no corpo do violão.

Entretanto, este é um protótipo que ainda se encontra em desenvolvimento e a sincronização do envio dos dados com a música, bem como a robustez das informações enviadas por Bluetooth ainda estão sendo aprimoradas.

#### 8.6.2.2 Serviços

O aplicativo possui três grandes guias de navegação: o **Modo Dicionário**, o **Modo Músicas** e o **Modo Animações**.

No **Modo Dicionário** (FIGURA 55) permite que o usuário possa navegar entre um dicionário de Acordes ou Escalas musicais. No caso dos acordes, o usuário escolhe a tônica do acorde, a terça (acorde maior ou acorde menor), a variação do acorde (intervalos de sétima, nona, décima terceira, diminuto, etc.) e o baixo (se houver um baixo diferente da tônica). Já para as escalas, o usuário também escolhe a tônica e a terça. Neste caso, as variações são as escalas disponíveis no modo selecionado. Ou seja, a escala “Menor Pentatônica” aparecerá apenas ao selecionar a terça menor, escalas que não possuem a terça bem definida aparecerão com a terça híbrida e as escalas dos modos gregos aparecem ao selecionar “Gregos”.

Figura 55 – Modo dicionário do aplicativo. Dicionário de acordes (à esquerda) e escalas (à direita).



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Ao escolher “Exibir Acorde” ou “Exibir Escala” o sistema exibe o resultado no corpo do instrumento. Neste modo foi possível implementar os serviços de **Dicionário de Acordes** e **Dicionário de Escalas**. Além disso, possui o serviço que informa a **Tônica da Escala** (notas em vermelho na FIGURA 56), auxiliando o usuário com as notas importantes dentro da escala musical – as notas que correspondem à tônica da escala fornecem, por exemplo, um guia para o término de sequências do improviso musical.

Figura 56 – Modo de Dicionário de Escalas.

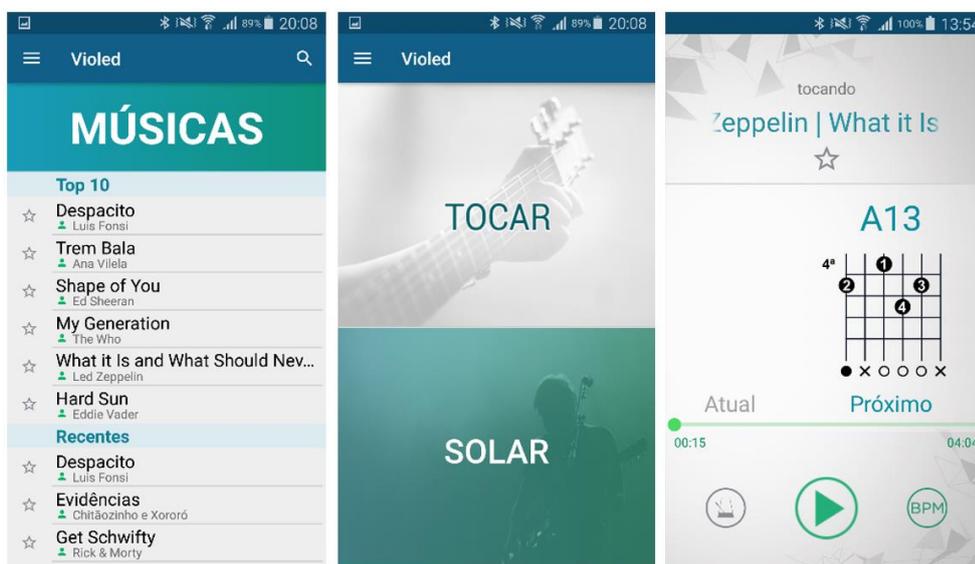


Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

No **Modo Músicas**, o usuário deverá escolher se ele gostaria de “**Tocar**” (FIGURA 57) a música ou “**Solar**”. Se o usuário escolher “**Tocar**” a música ele irá acompanhar a música com os acordes sincronizados junto ao áudio. Se escolher “**Solar**”, ele poderá acompanhar o áudio improvisando nas escalas da música que também são sincronizadas. Este último serviço já está implementado, mas ainda não está

disponível por necessidade de investigar os obstáculos relativos à latência do protocolo de comunicação.

Figura 57 – Esquema de navegação para aprender a tocar uma música.

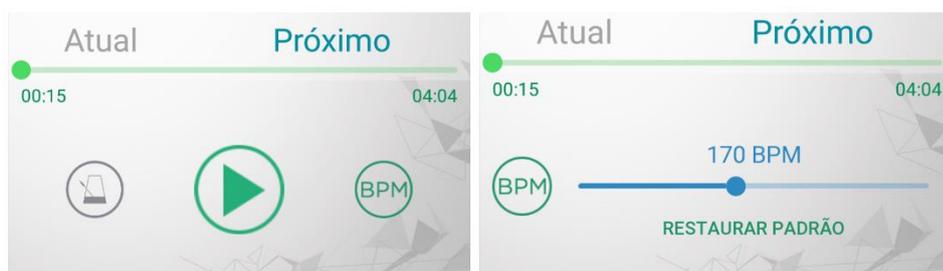


Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Para este modo focou-se na implementação dos serviços de **Acompanhamento de Acordes** utilizando a abordagem de cifras, já que as cifras possuem uma representação mais simplificada em comparação com as tablaturas e partituras, que auxiliaria usuários iniciantes. Além disso, no modo “**Solar**” foi implementado o serviço de **Acompanhamento de Escalas**, com o qual o usuário pode improvisar dentro de escalas musicais compatíveis com a música de acompanhamento escolhida. Os arquivos com os dados dos acordes e escalas são estruturados no formato JSON e armazenados em um servidor que é acessado pelo aplicativo.

Em ambos os modos, o usuário ainda possui controle sobre o andamento da música (alteração de BPM) (FIGURA 58). Assim, o usuário iniciante pode reduzir o andamento ao aprender uma música nova e ajustá-lo à medida que for ganhando confiança.

Figura 58 – Ajuste de andamento da música.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Já no **Modo Animações** (FIGURA 59), o usuário pode escolher dentre uma lista, a animação que ele gostaria de executar enquanto toca o instrumento. Atualmente, estas animações foram implementadas para serem controladas pelo dispositivo móvel da mesma forma que “luzes de palco”, sem sincronia com o acompanhamento musical. Enquanto o músico está performando, uma segunda pessoa pode controlar as animações. Entretanto, foi implementado um teste com uma animação sincronizada com um acompanhamento musical, em que diferentes animações pré-programadas são exibidas no momento das trocas de acordes.

Figura 59 – Modo de animações.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Atualmente, este modo comporta apenas o serviço de **Animações Passivas**, sem interação com o que está sendo executado pelo usuário. Entretanto, futuras versões do sistema poderão incluir animações que possam interagir com o que o usuário está tocando, seja por implementação de sensores no instrumento ou por análise do áudio capturado pelo *smartphone* que contém o aplicativo.

Além disso, o **software embarcado** no instrumento musical ainda possui o serviço de **Antecipação de Acordes** (FIGURA 60) no **Modo de Músicas**. Na versão atual, os acordes são antecipados dinamicamente, mudando de cor no momento que o usuário deve executá-lo. O valor de antecipação de cada acorde é a metade do tempo de duração daquele acorde.

Figura 60 – Antecipação de acorde.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

### 8.6.3 Discussões

A partir desta versão, houve a necessidade de um novo ciclo de desenvolvimento do software para exploração das diferentes maneiras de exibir conteúdo no **software de controle**, além de implementação de aspectos levantados durante o processo de ideação como **integração com redes sociais**.

Nesta versão também foi desenvolvida uma tela para futura implementação de uma loja, na qual músicas e animações poderiam ser disponibilizadas à venda para que os usuários pudessem comprar. Todavia, a implementação dos demais foi priorizada, visto que a monetização do aplicativo poderia ser feita através de um modelo de assinaturas e/ou de vendas de conteúdos exclusivos por esta loja.

## 8.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção foi apresentado o protótipo desenvolvido ao longo da pesquisa, utilizando algumas tecnologias da área de IoT e focando principalmente nos serviços disponíveis para estas plataformas.

Primeiramente foi apresentada a dinâmica utilizada para a ideação dos primeiros protótipos de baixa fidelidade, utilizando uma modificação de um método tradicional

de design. Nesta etapa, a antecipação dos acordes para o usuário já foi identificada como um aspecto importante para o sistema.

Durante as iterações do processo de prototipação, verificaram-se obstáculos relacionados com diferentes aspectos do processo de *design* do protótipo, que serão discutidos com mais detalhes no próximo capítulo.

Além disso, durante o processo de design foram identificadas algumas diretrizes de usabilidade como:

- Antecipação dos acordes no instrumento e exibição do momento exato em que o acorde deve ser executado;
- Necessidade de ajuste de andamento da música;
- Identificação das notas tónicas na exibição de escalas para guiar o usuário;
- Necessidade de *feedback* para o usuário.

## 9 OBSTÁCULOS IDENTIFICADOS NO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE

Esta seção destaca os resultados iniciais encontrados durante a análise de similares e o design do protótipo desenvolvido, a geração de hipóteses de soluções para estes problemas, buscando identificar os gargalos do processo de *design*. Alguns desses obstáculos corroboram com os desafios de design discutidos anteriormente, enquanto outros são desafios específicos do sistema desenvolvido.

### 9.1 OBSTÁCULOS DE USABILIDADE

Na exibição do conteúdo, alguns aspectos foram identificados. Dentre eles: o **tempo** que o acorde precisa ser exibido antes de ser executado, a melhor maneira de identificar o **momento de execução** dos acordes, a **oclusão** do próximo acorde pela mão do usuário, a forma de fornecer **feedback** para acertos e erros do usuário, a **identificação por cores** das notas de cada acorde (possivelmente indicando os dedos da mão que devem ser utilizados) e a forma de diferenciar **técnicas de performance específicas**.

#### 9.1.1 Antecipação do acorde

A maioria dos similares analisados não possuem antecipação dos acordes no próprio corpo do instrumento, com exceção da **Clavinova CSP**, da empresa Yamaha, e do **FretX** – antecipa os acordes, porém não indica o momento de execução. O restante dos sistemas depende apenas do aplicativo e da representação gráfica que utilizam.

A antecipação no próprio corpo do instrumento pode ajudar o usuário a distinguir o local das notas que ele deverá executar com mais facilidade. Junto à antecipação, pode ser necessária a indicação do momento exato de execução deste acorde, de forma a sincronizar a execução com a música. Neste caso, variáveis para a antecipação são o **método** e **tempo** para antecipação destes acordes e notas.

##### 9.1.1.1 Hipóteses de soluções

Para o caso do **tempo** de antecipação, as hipóteses geradas são as seguintes:

- Metade da duração da nota/acorde;
- Tempo fixo (baseado no andamento da música ou não);
- Antecipar apenas no **software de controle** (aplicativo)

No caso da melhor **maneira de antecipação**, as hipóteses elaboradas estão diretamente relacionadas com os tipos de controle disponíveis para os LEDs (cores, brilho e/ou se estão ligados ou desligados):

- Mudança de cores no momento de execução. Neste caso, deverá existir uma investigação de quais cores serão melhores para esta antecipação e para mostrar o momento de execução;
- Piscar o acorde no momento de execução ou aumentar o brilho.

Neste caso, é possível testar estas abordagens mais rapidamente por serem controladas por parâmetros de *software*. Pequenos ajustes no **software embarcado** podem proporcionar uma maior flexibilidade no controle destes parâmetros para que estas diferentes abordagens sejam testadas.

Para o caso da antecipação, foram realizados testes internos alterando o tempo desta antecipação. Primeiramente baseado na metade de duração da nota/acorde, foi modificado para um tempo fixo baseado no andamento da música, uma vez que alterando este andamento, ajusta o tempo da antecipação mantendo a noção rítmica do compasso da música. Demais testes podem ser realizados para comparativos e/ou elaboração de *guidelines* mais refinados. Todavia, de acordo com o resultado da avaliação (descrito no capítulo 11), especialistas indicam que esta antecipação deve ser combinada ao controle do andamento para auxiliar o aprendizado de músicas.

### 9.1.2 Oclusão

Assim como os similares, a plataforma implementada possui um obstáculo relacionado com a **occlusão** dos LEDs. Ao executar um acorde, o usuário pode bloquear a visão do próximo acorde ou das próximas notas. Neste caso, a própria mão do usuário cria um campo de bloqueio de visão em um determinado local da escala do violão, ofuscando uma parte dos LEDs do instrumento.

Figura 61 – Oclusão causada pela mão do usuário.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Tomando a figura acima (FIGURA 61) como exemplo, caso o próximo acorde ou nota sejam exibidos nos LEDs da segunda e/ou terceira casa, a mão do usuário geraria o bloqueio descrito acima. Neste caso, o usuário necessita remover os dedos completamente da escala do violão para visualizar as próximas notas.

Além disso, o próprio braço do violão pode ser um empecilho de oclusão dos LEDs. Como as luzes ficam entre a escala e o braço, os usuários precisam se curvar ou inclinar o violão para poder distinguir o conteúdo que está sendo exibido. Músicos iniciantes, já possuem a tendência de inclinar-se para identificar a posição dos dedos no corpo do instrumento, porém métodos clássicos de violão descrevem que a postura deve ser tal que sua “coluna vertebral deve estar sempre numa posição, que não venha a força-la, pois isto acarretará dores nas costas, o que irá reduzir o tempo de estudo...” (PINTO, 1978, p. 9).

#### 9.1.2.1 Hipóteses de soluções

Algumas hipóteses de soluções para o tratamento da oclusão, são:

- Representar o acorde também no aplicativo como reforço à exibição no corpo do instrumento;
- Utilizar uma câmera para filmar o braço do violão e apresentar o conteúdo em uma representação virtual em um aplicativo;
- Utilizar uma representação de realidade aumentada para representação do conteúdo, seja por projeções ou utilizando Head Mounted Displays (HMDs) como o Google Glass e Microsoft Hololens;

- Alterar o posicionamento dos LEDs no violão, e.g. colocá-los no começo da casa e não no final ou coloca-los na parte de trás do braço do violão.
- Utilizar um braço transparente.

Para a maioria dos casos, será necessária a criação de novos protótipos com o mesmo *software* de controle, porém com outras abordagens de engenharia. O uso de plataformas como Arduino facilitam a implementação de protótipos de baixa fidelidade, entretanto mudanças de posicionamento dos LEDs na escala do violão devem ser feitas fora do violão, uma vez que esta prototipação funcional é complexa pela necessidade de retirar a escala do violão, fabricar outra placa com LED, ou talvez até um outro violão. Outra maneira é buscar adquirir um protótipo similar como o **FretX**, que possui plataforma aberta e pode ser utilizado para teste em outras posições no violão.

Para realizar testes menos intrusivos com câmeras ou com a representação virtual em um aplicativo, é necessária a elaboração de um aplicativo dedicado implementando algoritmos de visão computacional. Neste caso, deve ser avaliada a performance do sistema, para que a adição destas funcionalidades não comprometa a experiência.

A abordagem mais rápida de ser testada é o uso da representação gráfica adicional no **software de controle**, o que foge da representação diretamente no instrumento, mas pode ser uma solução que auxilie na interação do usuário com o sistema, além de ser mais fácil a prototipação.

### 9.1.3 Feedback relativos a acertos e erros

Dos similares analisados, a maioria incorpora um serviço de “*Smart Play*”. Nestes casos, o sistema espera a execução do usuário, analisa o áudio capturado pelo microfone do *smartphone* e compara com os dados do aplicativo para prosseguir. No caso da **gTar**, este sistema utiliza sensores no próprio corpo do instrumento para captura da performance do usuário. Já no **FretX**, **Populele** e **Yousician**, o sistema fornece *feedback* visual no aplicativo para variações da performance do usuário, em comparação com a música de acompanhamento, a partir da análise do áudio que é capturado pelo *smartphone*.

A identificação destas variações e a geração de *feedback* para o usuário pode auxiliar no aprendizado de conceitos como ritmo, tempo além de ensinar as notas

tocadas na música de acompanhamento. Pesquisadores argumentam que a presença de *feedback* simultâneo pode auxiliar na diminuição de sobrecarga cognitiva e aumento do aprendizado de habilidades motoras, especialmente para tarefas mais complexas (SIGRIST et al., 2013, pp. 23–24). Assim, a área musical pode se beneficiar com o uso de *feedback* para redução da curva de aprendizado, auxiliando na realização das tarefas musicais, uma vez que envolvem a associação de diversas habilidades motoras e cognitivas.

No caso do sistema do VioLED, é possível não apenas exibir *feedback* no aplicativo, mas também no próprio instrumento. Desta forma, levando em consideração os parâmetros de controle dos LEDs da plataforma, é possível prover *feedback* da seguinte maneira:

- Mudanças de cores. Ao usar o método de cores, deve-se levar em conta quais cores serão usadas para indicar acertos e erros;
- Controle de brilho dos LEDs ou piscar os LEDs. E.g. piscar em erros e apagar gradualmente nos acertos;
- *Feedback* sonoro proveniente do aplicativo;
- *Feedback* sonoro proveniente do próprio instrumento – alto-falante integrado ao microcontrolador;
- Câmera filmando a execução do usuário.

Com exceção das últimas hipóteses, que necessitam de uma implementação mais elaborada tanto para integrar um novo sensor ao instrumento ou um algoritmo mais complexo, os outros tipos de *feedback* podem ser ajustados mais facilmente com os parâmetros do **software embarcado**.

Burns e Wanderley fazem uso de câmeras e algoritmos de visão computacional para fornecer *feedback* ao usuário. Em sua pesquisa, eles abordam o desenvolvimento de um sistema de captura de gestos de guitarristas através de uma câmera instalada em um suporte ligado ao braço do instrumento. Os algoritmos utilizados identificam diferentes casas e cordas além de discriminar movimentos de performance de movimentos naturais do músico (BURNS; WANDERLEY, 2006). Entretanto, o sistema possuía limitações referentes ao campo de visão da câmera, oclusão entre os dedos e ao espaçamento das casas.

É possível que o uso de tecnologias mais atuais para captura de vídeo e de processamento computacional possam auxiliar à integração de um sistema similar ao

desenvolvido por Burns e Wanderley. Assim, pode-se usar este algoritmo de reconhecimento de gestos para prover *feedback* para o usuário. Ademais, pode-se pensar em uma solução multimodal que incorpora tanto o sistema de reconhecimento por câmera, quanto por captura de áudio. Neste caso, uma análise de latência deve ser feita para analisar o *trade-off* entre performance e acurácia.

#### 9.1.4 Escopo

Como discutido anteriormente, a implementação de recursos de *feedback* será realizada futuramente no sistema do VioLED. As diferentes possibilidades de avaliação do *feedback* para estes sistemas irão depender da realização de testes utilizando diferentes configurações. Além disso, alguns testes podem exigir mudanças no hardware do sistema, o que irá exigir um esforço técnico maior, e conseqüentemente prolongando as etapas de ideação e prototipação do sistema.

A maioria das soluções referentes à **oclusão** dos LEDs necessitaria mudanças mais drásticas na fabricação de *hardware*. Por exemplo, um novo instrumento deveria ser construído para alterar o local dos LEDs dentro das casas do violão, já que alteraria a placa de circuito e os furos na escala do violão. Soluções com os LEDs na parte de trás do braço seriam mais rapidamente implementadas, mas ainda assim exigem um esforço técnico para montar o circuito similar ao atual e de forma que funcione sem problemas de contato.

## 9.2 OBSTÁCULOS DE DESENVOLVIMENTO

Durante a análise de similares e durante o design do protótipo do projeto, alguns obstáculos de desenvolvimento foram identificados. Os grandes obstáculos identificados estão relacionados principalmente ao quanto o sistema de indicadores luminosos são **intrusivos** ou não no instrumento musical do usuário, como reduzir a **latência** do sistema e considerações sobre o **consumo de energia** do sistema.

### 9.2.1 Abordagem intrusiva vs abordagem não-intrusiva

Questões referentes à abordagem de instalação da plataforma no instrumento musical é algo relevante na concepção do projeto e no design do produto, mas principalmente referentes a modificações de *hardware*. Por um lado, a abordagem

não-intrusiva proporciona a instalação em diferentes instrumentos que compartilhem as mesmas dimensões do tamanho da escala e posições dos trastes. Por outro lado, abordagens intrusivas estão presas a um único instrumento.

As tendências e os produtos similares no mercado para os instrumentos de corda utilizam instalações da plataforma acima da escala com materiais adesivos ou entre a escala e o braço do instrumento musical. Instrumentos que utilizam a abordagem não-intrusiva devem levar em consideração as limitações de espaço entre as casas, a altura dos trastes para diferentes modelos de violão/guitarra e como a instalação da plataforma poderá afetar a ergonomia do instrumento durante a performance.

### 9.2.2 Latência e jitter

Na maioria dos instrumentos musicais acústicos, a latência relacionada com a execução do usuário e a geração sonora é extremamente baixa ou não existe, salvo alguns instrumentos como órgãos e tubas - utilizam o acúmulo de energia para gerar o evento sonoro - (CALEGARIO, 2013). Esta geração sonora está diretamente ligada às propriedades físicas intrínsecas ao instrumento, e.g. excitação das membranas de um instrumento de percussão ou das cordas esticadas de um violão.

Algumas pesquisas com sistemas computacionais relatam um aumento dos erros do usuário e do tempo de execução de uma determinada tarefa com o aumento da latência (MACKENZIE; WARE, 1993). Por outro lado, outros pesquisadores discutem que não é claro o quão pequena esta latência deve ser (JORDÀ, 2005). O autor discute que, para o design de instrumentos musicais digitais, uma latência de 20 a 30 milissegundos (ms) é tolerável. Askenfelt e Dansson ainda discutem que, no caso do piano, diferentes formas de tocar podem causar variações na latência entre o gesto do músico e a produção sonora, mas que esta variação de latência pode se tornar um recurso importante para o músico durante a performance (ASKENFELT; DANSSON, 1990). De fato, alguns pesquisadores afirmam que latências entre 20 e 30 ms é completamente tolerável na maioria das aplicações musicais de multimídia (LAGO; KON, 2004) e que, em determinados contextos de performances em conjunto, esta tolerância pode ser ainda maior (RASCH, 1979 apud. JORDÀ, 2005). Entretanto, Lago e Kon concluem que o caso do *jitter* é algo mais complexo, que, em certos casos, pode ser viável possuir uma latência um pouco maior para redução do *jitter* (LAGO; KON, 2004).

Como relatado no capítulo anterior, os obstáculos de latência foram relacionados com atrasos na exibição do conteúdo no instrumento e, conseqüentemente, nas alterações do protocolo de comunicação do Bluetooth Low Energy (BLE) para o Bluetooth clássico.

### 9.2.3 Consumo de energia

Um fator que deve ser levado em consideração ao utilizar um sistema com múltiplos LEDs é a fonte de energia que será utilizada para alimentação do sistema. Os LEDs WS2812B funcionam com uma voltagem de 5 Volts (V) e necessitam de no máximo 20 miliampères (mA) para cada um dos 3 canais quando está funcionando com o máximo de brilho. Neste caso, para acionar uma luz branca com o máximo de brilho, o sistema necessitaria de 60 mA por LED. Assim, um sistema com 78 LEDs exigiria uma fonte capaz de fornecer no mínimo 4680 mA ou 4960 mA – aproximadamente 5A considerando uma margem de 6% de desvio de corrente.

Uma fonte de 12V capaz de fornecer 5A geralmente possui um tamanho elevado e um peso maior por conta dos componentes elétricos utilizados em sua confecção. Assim, um sistema com múltiplos LEDs possui um *trade-off* entre a portabilidade do sistema e a quantidade de LEDs utilizados. Reduzir a corrente que passa nos componentes também reduzirá seu brilho máximo. Neste caso, o *trade-off* passa a ser entre a portabilidade do sistema e o brilho de cada indicador luminoso.

No caso da versão atual do protótipo, buscou-se reduzir o consumo de bateria para que o sistema pudesse ser utilizado com uma bateria recarregável, aumentando a portabilidade do sistema e retirando o cabo de alimentação da fonte. Assim, foi implementado um método que normaliza o brilho dos LEDs dinamicamente. Este método funciona da seguinte maneira: Cada um dos componentes de cada LED (R, G e B) possui um byte de controle no sistema, i.e., os valores atribuídos a eles variam entre 0 e 255. A combinação entre estes valores afeta tanto a cor atribuída ao LED quanto o brilho – correlação feita pela biblioteca utilizada no Arduino. O algoritmo implementado normaliza os valores atribuindo um patamar para o somatório dos componentes de cada LED, limitando este somatório para o valor 120. Este valor foi escolhido a partir de testes com o pior caso possível, ou seja, todos os LEDs acesos na cor branca (todos os componentes ligados).

Equação 2 – Consumo de corrente da plataforma (acima) e de cada LED (abaixo).

$$i_{PLATAFORMA} = \sum_{n^{\circ} LEDs} i_{LED}$$

$$i_{LED} = i_R + i_G + i_B$$

No pior dos casos, a normalização atribui o valor 40 para cada componente e todos os LEDs estão acesos. Sendo assim, o valor de consumo de cada componente e, conseqüentemente, de cada LED é constante. Neste caso, a equação é simplificada (EQUAÇÃO 3):

Equação 3 – Corrente no pior caso (todos os LEDs acesos na cor branca).

$$i_{PLATAFORMA} = n * 3 * i$$

Em que “n” é o número de LEDs da plataforma e “i” é a corrente de cada componente. Ao limitar o valor de cada componente para 40, limita-se o consumo da corrente para 15,69% da corrente máxima. Neste caso a corrente máxima da plataforma também será limitada deste mesmo valor. Portanto, o consumo de energia da plataforma se restringe entre 734,29 mA e 778,22 mA – novamente com uma margem de 6% de desvio de corrente.

### 9.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados os obstáculos encontrados durante o desenvolvimento do protótipo específico. Estes obstáculos são referentes à usabilidade do sistema e ao desenvolvimento (engenharia). Alguns obstáculos encontrados são:

- Método de antecipação dos acordes e nota;
- Método de feedback;
- Oclusão dos LEDs.
- Tipo de abordagem utilizada x portabilidade do sistema;
- Latência e Jitter em determinadas partes do sistema (e.g. protocolos de comunicação);
- Consumo de energia;

Hipóteses para possíveis soluções destes obstáculos foram elaboradas utilizando as tecnologias disponíveis na plataforma e soluções encontradas na literatura.

Entretanto, há um *trade-off* entre a qualidade e o custo de implementação de possíveis soluções – tanto o tempo que levaria para implementá-las quanto o custo computacional.

Durante o projeto, foram exploradas possíveis soluções para a forma e antecipação de acordes, possibilidade do desenvolvimento de uma abordagem não-intrusiva, latência e jitter relacionada com a integração do protocolo de comunicação Bluetooth e o consumo de energia para o protótipo do VioLED. Demais experimentos comparativos podem ser realizados para geração de *guidelines* refinadas para auxiliar o desenvolvimento de plataformas similares. Além disso, devem ser exploradas as possibilidades de diferentes soluções para *feedback* e para o obstáculo da oclusão dos LEDs.

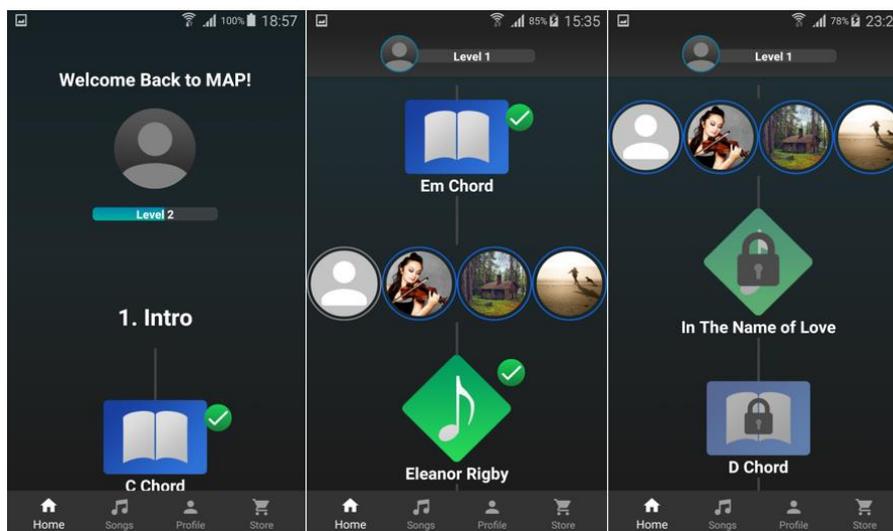
## 10 SEGUNDO CICLO DE DESENVOLVIMENTO PARA O SOFTWARE

Este capítulo descreve o segundo ciclo de desenvolvimento do projeto. Neste ciclo, o projeto abordou o desenvolvimento do **software de controle**, i.e., o **iChords**. Todas as versões desenvolvidas até o momento foram implementadas para dispositivos Android.

### 10.1 ICHORDS VERSÃO V0.4

Partindo da versão v0.3 do aplicativo do VioLED, foram realizadas mudanças na interface do usuário para explorar mudanças na visualização da informação musical no *software* e explorar um sistema de progressão, buscando explorar um sistema de lições progressivas e incorporar elementos de redes sociais e gamificação, mais precisamente um sistema de níveis (FIGURA 62).

Figura 62 – Interface inicial do iChords v0.4.

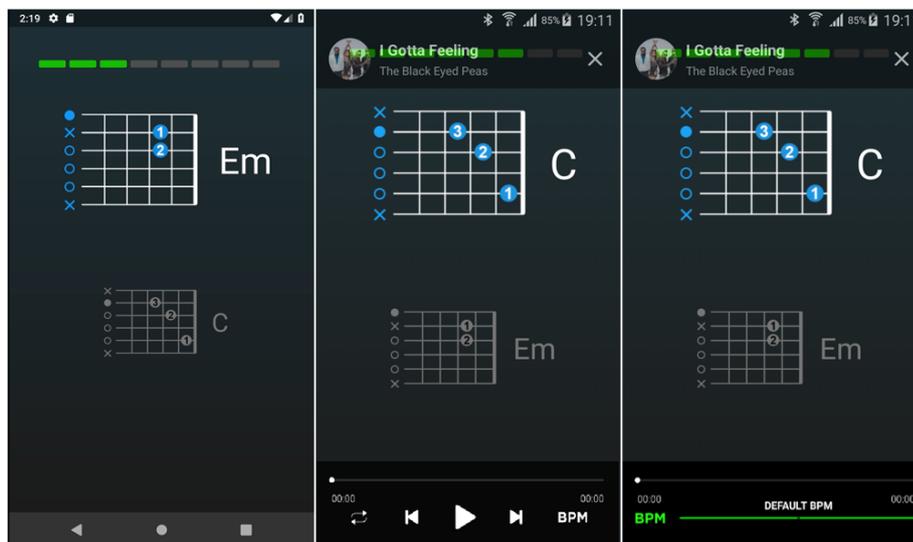


Fonte: O autor (2022).

Esta versão possui 10 músicas de teste com uma progressão de aprendizado, começando com dois acordes simples e progredindo para músicas com um maior número de acordes e com acordes mais complexos. A seleção dessas músicas foi realizada junto com um professor de músicas da empresa Daccord e serviu para simularmos o direcionamento de lições. Além disso, também foram implementados testes com ferramentas de redes sociais, como visualização de vídeos no formato *stories* para futuro compartilhamento das performances em cada lição.

Na visualização do conteúdo musical, um novo formato foi implementado, incorporando uma visualização vertical, buscando maximizar o espaço da tela (FIGURA 63).

Figura 63 – Tela de performance do iChords v0.4

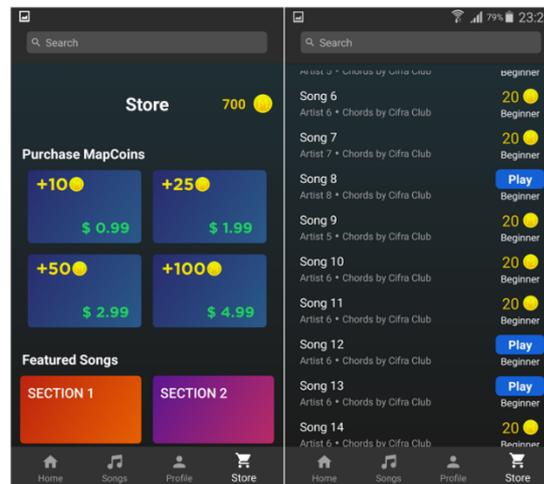


Fonte: O autor (2022)

A tela exibe o acorde atual em destaque e o próximo acorde assim como o desenho do posicionamento dos dedos na cifra. O usuário pode controlar a reprodução da música e os acordes são animados de maneira sincronizada. Outro elemento importante é a indicação da duração do acorde atual na barra segmentada. Esta barra é temporizada de acordo com o andamento da música e indica quando o acorde atual irá terminar. Além disso, possibilita a redução da velocidade da música (BPM) para auxiliar o aprendizado.

Em relação à monetização deste sistema como serviço, primariamente foi desenvolvida uma tela para implementação de uma loja em que usuários poderiam comprar músicas, disponibilizar suas próprias músicas e com um sistema de moedas dentro do app (FIGURA 64). Entretanto, a partir de discussões internas sobre a monetização do serviço, a loja foi caracterizada como um meio secundário de monetização e o sistema passaria a priorizar um sistema de assinaturas, em que um aplicativo base é disponibilizado gratuitamente e funcionalidades extras são disponibilizadas como um serviço premium.

Figura 64 – Tela do protótipo de loja da versão v0.4 do iChords.



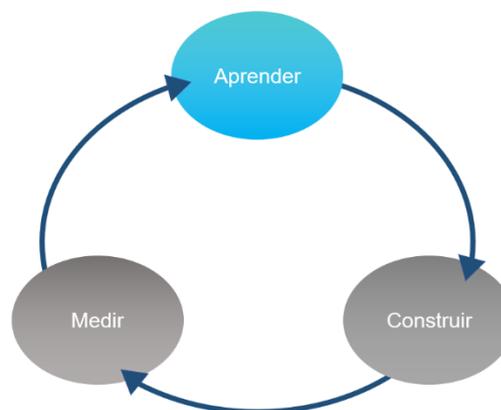
Fonte: O autor (2022).

Esta foi a versão do aplicativo utilizada nos testes com usuários que serão descritos no capítulo de avaliação.

### 10.1.1 Discussões

Após esta versão, foi decidido dar um passo atrás na elaboração do software para investigar novas possibilidades que podem ter sido desconsideradas durante as etapas anteriores (FIGURA 65). Além disso, após estudar as possibilidades e desafios ao lidar com modificações de hardware, buscou-se estudar como o software pode tirar proveito das funcionalidades de hardware e, ao mesmo tempo, lidar com os obstáculos encontrados na prototipação,

Figura 65 – Nova etapa de aprendizado para o segundo ciclo de desenvolvimento do aplicativo no diagrama de desenvolvimento.



Fonte: O autor (2022).

Assim, foram feitas reuniões com membros da equipe da Daccord, para investigar possibilidades de software para o aprendizado de violão. Foram utilizados métodos de caixas morfológicas e matriz de esforço vs impacto para geração, seleção e priorização das ideias.

## 10.2 CAIXAS MORFOLÓGICAS

Caixas morfológicas são ferramentas do método de análise morfológica para “identificar e investigar o conjunto total de possíveis relações ou ‘configurações’ contidas em um determinado complexo de problemas”<sup>61</sup> (RITCHEY, 2002, pp. 3). Também conhecida como a “caixa de Zwicky”, é um método utilizado ao lidar com complexo de problemas e explorar possibilidades e relações entre as variáveis do sistema (ZWICKY, 1967).

Diversos autores utilizam o método de caixas morfológicas para planejamento em diferentes áreas, seja para estudos de astronomia e propulsão de foguetes (ZWICKY, 1967), planejamento estratégico de ataque e defesas de uma nação (JOHANSEN, 2018), estudo de padrões de modelos de negócios (LÜDEKE-FREUND; GOLD; BOCKEN, 2019), entre outros.

Calegario descreve o procedimento formulado por Cross para o uso deste método (CROSS, 2000 apud. CALEGARIO, 2017 pp. 66) em quatro etapas:

1. Listar recursos ou funcionalidades essenciais do produto;
2. Listar possíveis implementações para cada recurso ou função;
3. Desenhar uma tabela contendo todas as possíveis soluções;
4. Identificar as combinações de soluções factíveis.

O autor ainda discute que este método se torna complexo quando o número de possibilidades de combinações é muito grande, dificultando a seleção ou identificação de combinações compatíveis. Assim, determinar quais parâmetros são compatíveis entre si, pode auxiliar a reduzir o escopo de possibilidades.

---

<sup>61</sup> Traduzido do texto: “is a method for identifying and investigating the total set of possible relationships or “configurations” contained in a given problem complex”.

Figura 66 – Exemplo de caixa morfológica

Geographic priority	Functional priorities	Size and cramming	New construction	Maintenance	General philosophy
Metropolises	All socio-tech. functions	Large, not crammed	With new construction	More frequent maintenance	All get same shelter quality
Cities + 50,000	Tech support systems	Large & crammed	Compensation	Current levels	All take same risk
Suburbs and countryside	Humanitarian aims	Small, not crammed	New only for defence build up	No maintenance	Priority: Key personnel
No geo-priority	Residential	Small & crammed			Priority: Needy

Fonte: Ritchey (2002, p.5).

A figura acima (FIGURA 66) exemplifica o método utilizado por Ritchey para um estudo de abrigos de bombas na Suécia. Neste caso, os recursos e funcionalidades são listados na primeira linha da tabela e cada coluna representa diferentes configurações para cada recurso. Assim, ao selecionar um recurso diferente em cada coluna, pode-se gerar diferentes configurações para o sistema que, à priori, não haviam sido consideradas.

### 10.3 CAIXA MORFOLÓGICA NA IDEAÇÃO DO ICHORDS

Um novo ciclo de aprendizado foi realizado para investigar aspectos como a aquisição do conteúdo, o tipo de representação que será utilizada e como essa informação será exibida para o usuário.

#### 10.3.1 Identificando recursos e funcionalidades essenciais do software

Como discutido no capítulo 3, ao lidar com tipos de representações gráficas diferentes, há um trade-off entre a simplificação da informação para uma maior facilidade de compreensão e a complexidade e a riqueza de informação fornecida para o usuário. Isto também deve ser considerado na maneira de exibição do conteúdo musical utilizado no aplicativo, i.e., quais tipos de informação estarão presentes na interface.

Neste caso, há um trade-off entre exibir as informações que são essenciais para o entendimento e realização da tarefa e causar sobrecarga cognitiva no usuário pela

quantidade de informação essencial sendo processada (MAYER; MORENO, 2003). Estas informações são a música, sequência de acordes, posições desses acordes, letra, animações, além das informações exibidas diretamente no VioLED.

Outro recurso comumente utilizado é o acompanhamento musical. De forma a auxiliar o usuário, diversos sites e aplicativos que utilizam a notação simplificada de cifras possuem extensões de acompanhamento musicais para o usuário tocar junto com a cifra ou como uma fonte de consulta do momento de troca dos acordes exibidos na cifra, controle de velocidades do áudio, controles de paginação e rolagem da cifra, entre outros.

Além disso, durante as entrevistas realizadas com potenciais usuários, aspectos notados pelos sujeitos foram a importância do **feedback** recebido durante o aprendizado, a dificuldade de compreensão das posições dos acordes e o momento de tocá-los, e também aspectos relacionados com formatação e legibilidade do conteúdo exibido, principalmente ao lidar com aplicativos em *smartphones*.

Outras funcionalidades relacionadas com estes tipos de aplicativos que contribuem para a experiência do usuário estão relacionadas com:

- **Acesso ao aplicativo:** se é uma extensão de aplicativo ou um aplicativo independente;
- **Aquisição de conteúdo de *timestamps*:** como o aplicativo terá acesso ao conteúdo, seja ele cifras, partituras, tablaturas. Caso o aplicativo tenha notas/acordes sincronizados, as informações relativas ao momento que estas notas/acordes são tocadas devem ser adquiridas. Isto pode ser feito internamente ou geradas automaticamente;
- **Navegação:** a navegação está relacionada à maneira com a qual o usuário acessa o conteúdo musical do aplicativo, seja por meio de buscas, recomendações ou se há um “caminho” específico que o usuário deve seguir durante o aprendizado;
- **Instrumentos e dispositivos compatíveis:** estes dois aspectos estão relacionados com o tipo de instrumentos que o sistema será compatível e em quais plataformas o aplicativo será desenvolvido, respectivamente. Enquanto o tipo de instrumento influencia o aplicativo no tipo de conteúdo que será utilizado (ex.: acordes de violão vs acordes de teclado), os dispositivos influenciam em aspectos como o tamanho da tela disponível para exibição de conteúdo, capacidade de processamento, etc.

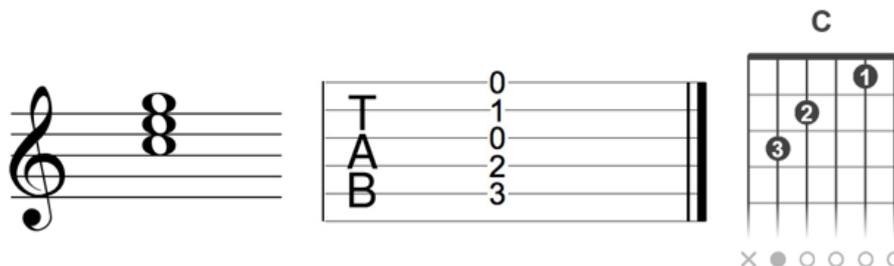
- **Controle do acompanhamento:** além de controles gerais como volume, barra de progresso, entre outros, o controle de acompanhamento pode influenciar a experiência do usuário nos aspectos de controle de velocidade e tonalidade da música. É comum e músicos aprenderem novas passagens musicais, sequências de acordes, escalas musicais, etc. em um andamento mais baixo e aumentar progressivamente à medida que ganha controle sobre o que está sendo aprendido, muitas vezes com o uso de metrônimos (OORE, 2005). Além disso, o controle de tonalidade fornece ao usuário uma maior possibilidade de adaptação do conteúdo musical utilizado para, por exemplo, simplificar os acordes da música.
- **Passagem do conteúdo e tipo de transição:** a maneira com que o conteúdo é alterado durante a música também pode influenciar o aprendizado. Alguns entrevistados notaram que a rolagem automática presente em websites de cifras é ineficiente para o aprendizado, pois, diversas vezes, a sincronia entre a rolagem e o ritmo do usuário não é precisa, levando o usuário a parar o aprendizado para ajustar a velocidade ou ajustar a interface manualmente. Além disso, a pausa pode fazer com que o usuário esqueça em que acorde parou ou em que linha da música estava tocando.

### **10.3.2 Listar possíveis implementações para cada recurso ou função**

#### 10.3.2.1 Tipos de conteúdo e interface

No capítulo 3 foram discutidos os diferentes tipos de representações gráficas comumente utilizadas no aprendizado ocidental (FIGURA 67): partituras musicais, tablaturas e cifras, variando em nível de complexidade da mais complexa, intermediária e mais simples, respectivamente.

Figura 67 – Notações gráficas comuns na música ocidental: partitura (esquerda), tablatura (centro) e cifra (direita).



Fonte: Compilado de imagens feito pelo autor.<sup>62</sup>

De acordo com Harte et. al. (HARTE et al., 2005), tanto na música popular quanto no jazz, acordes são representados de maneira mais explícita para auxiliar a performance musical de modo a diminuir o tempo necessário para o músico identificar o que deve ser tocado. Entretanto, mesmo considerando a escolha de representação por cifras desde o início do projeto, acordes podem ser representados de maneiras diferentes dependendo do padrão utilizado. Por exemplo, o acorde de Dó maior com intervalo de sétima maior pode ser representado com os símbolos C7M, C7+, C7 e CΔ7 (HARTE et al., 2005 pp. 67).

Outra possibilidade é combinar diferentes tipos de representações musicais para complementar as informações não fornecidas pelas cifras. Como as cifras são notações baseadas em acordes, diversos websites de cifras utilizam tablaturas para complementar introduções, solos, e passagens musicais. Pesquisadores propõem outros tipos de visualização musical para distinção de tons por cores (CIUHA; KLEMENC; SOLINA, 2010), para visualização de estruturas musicais (HIRAGA; WATANABE; FUJISHIRO, 2002; WU; BELLO, 2010), entre outros.

De forma a enriquecer as informações exibidas pelas cifras, Almir Chediak utiliza o símbolo “/” para indicar o tempo que o acorde é tocado em relação ao andamento da música (CHEDIAK, 1990). Neste caso, a quantidade de símbolos “/” determina o tempo que o acorde anterior continuará sendo tocado. Na figura abaixo (FIGURA 68), o primeiro acorde é tocado em 4 tempos, do momento em que o símbolo “A” e três tempos subsequentes até mudar para o próximo acorde com símbolo “F(#11)/A”.

<sup>62</sup> Imagens de partitura e tablatura editadas a partir do GuitarPro e imagem da cifra retiradas do site CifraClub, disponível em: <<https://www.cifraclub.com.br/dicionario.acordes>>.

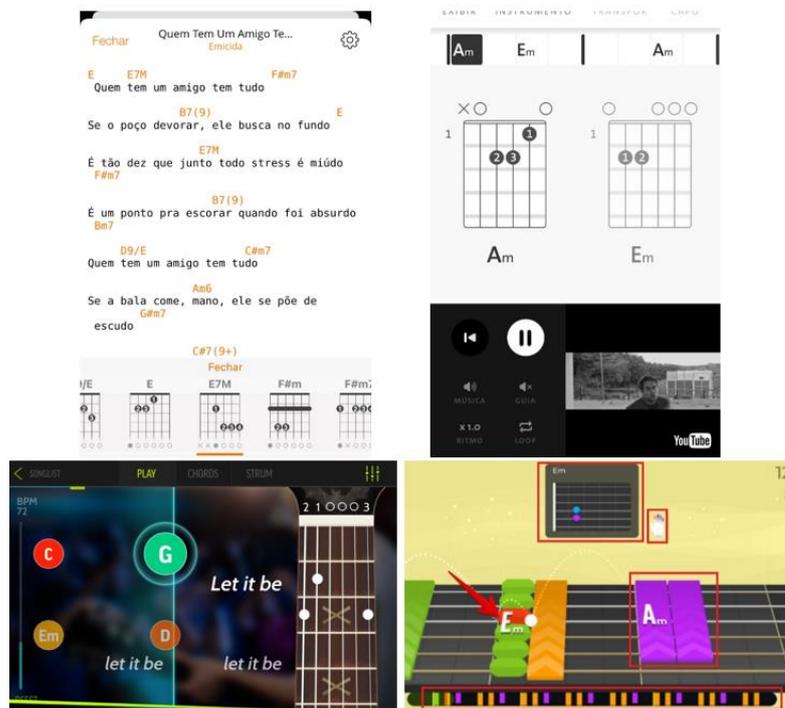
Figura 68 – Padrão de cifra utilizado por Almir Chediak.

A /            /            /            F(#11)/A /  
 Tu——do que se pas—sa aqui  
  
 /            /            F(#11)/A /            G7(9)  
 criei no mar E            foi lá que eu

Fonte: Chediak (1990).

Alguns aplicativos interativos, como o Yousician, utilizam cores diferentes para representar acordes diferentes e enriquecer a informação do conteúdo musical. Desta forma, exibem uma linha geral da música com todas as cores, informando em que parte da música será tocado cada acorde.

Figura 69 – Diferentes interfaces de aplicativos musicais.



Fonte: Compilado de imagens feitas pelo autor (2022).<sup>63</sup>

Como visto nas imagens acima (FIGURA 69), não apenas o tipo conteúdo que deve ser considerado, mas também quais elementos serão realmente exibidos na interface. Considerando uma possível escolha de cifras como o conteúdo principal, pode ser exibido o formato convencional com a letra da música e os símbolos dos

<sup>63</sup> Capturas de tela de aplicativos do CifraClub, Chordify, 4Chords e Yousician.

acordes, apenas a posição dos acordes, ou uma combinação entre diferentes tipos de notação musical, e.g., o uso de tablaturas com cifras.

#### 10.3.2.2 Feedback

Diferentemente do aprendizado formal, em que o feedback é passado pela relação entre professor/instrutor e aprendiz, é comum no aprendizado informal o aprendizado em grupo e a busca por feedback através de amigos e família ou por autoavaliação (LEBLER, 2008). Warldon destaca algumas atividades que surgem em comunidades de práticas musicais online, como compartilhamento de performance esperando feedback, visualização de outras performances e fornecer feedback, discussão de tópicos e dúvidas, recomendação de músicas, colaboração em projetos, entre outras (WALDRON, 2009).

Alguns pesquisadores da área abordam feedback automático a partir de detecção automática de notas e acordes utilizam Modelos Escondidos Markovianos (HMM, do inglês Hidden Markovian Models) (MARUO et al., 2015) e sistemas como NNLS Chroma (MAUCH; DIXON, 2010). Comumente, envolve a identificação de quais notas compõem os acordes que estão sendo tocados no áudio analisado. Entretanto, um dos problemas surge do fato de diferentes acordes possuírem notas em comum, o que pode causar erros no reconhecimento.

Maruo et. al. utilizaram abordagens em conjunto com dados de transcrição de acordes e identificaram que uma possibilidade de aprimoramento desse reconhecimento é a utilização de mais iterações do método proposto (MARUO et al., 2015). Entretanto, o processamento computacional e o tempo para identificação do acorde serão elevados, o que pode afetar a experiência.

Alguns aplicativos, como Populele e Yousician, utilizam sistemas automáticos de feedback para detecção de erros nas posições de acordes e notas. Entretanto, embora o reconhecimento de notas independentes funcione de maneira correta, a identificação de acordes geralmente pode levar a falso positivos, falso negativos ou ignorar certos aspectos de performance, e.g. postura da mão e dedos.

### 10.3.2.3 Outros aspectos

Diferente dos aspectos de acesso e navegação de acervo, controle de acompanhamento musical, instrumentos compatíveis, etc. surgem comumente ao lidar com aplicativos musicais.

Por conta da compatibilidade com o violão desenvolvido pelo projeto, a redução de possibilidades para instrumentos compatíveis se torna natural ao considerar os desafios de adaptação de outro hardware para testes. Após a adaptação do aplicativo para o violão, o sistema pode ser expandido para integrar outros instrumentos.

Um dos aspectos mencionados durante as entrevistas foi a rolagem automática de cifras. Neste caso, a passagem de cifras pode ser sincronizada com a música, uma passagem de partes da música controladas pelo usuário, uma modificação para adaptar todo o conteúdo da cifra na tela, ou uma nova forma de visualização da cifra.

### 10.3.3 Desenhar uma tabela contendo as possíveis subsoluções

Quadro 4 – Caixa morfológica do segundo ciclo de desenvolvimento para o aplicativo do iChords VioLED.

Recursos	Possibilidades											
Por onde é chamado	Diretamente		A partir de outro App									
Aquisição de timestamps	Nenhum		Manual		Crowdsourced		Automática pelo conteúdo (cifras, letra, etc.)		Automática por processamento de áudio			
Escolha das músicas	Lista	Busca	Curadoria manual	Curadoria automática	Filtragem automática	Playlists de apps externos		Similaridade				
Filtros	Conteúdo (ex.: acordes)		Metadados explícitos (ex.: gênero, artista)		Metadados implícitos (ex.: linguagem, ritmo)							
Acompanhamento	Nenhum		Metrônomo		Música Completa		Play along (música sincronizada)					
Controle de Acompanhamento	Nenhum		Velocidade		Volume		Pitch (Nota)		Loop		Interface (o que mostra, como mostra)	
Interface	Nome do acorde		Nome e posição do acorde		Formato comum de cifra		Nome do acorde, posição e letra		<b>A aprimorar</b>			
Passagem da cifra	Manual		Velocidade constante		Sensor		Comandos de voz		Reconhecimento do áudio tocado		Remota	Sincronizado com a música
Conteúdo Musical	Cifra		Cifra enriquecida		Cifra com escolha de padrão		Cifra + outra notação (ex.: tablatura)					
Tipo de transição	Nenhum		Troca de páginas		Rolagem da cifra		Sincronizado		<b>A aprimorar</b>			
Instrumentos	Violão		Teclado		Ukulele		Cavaquinho		Baixo		Bandolim	
Dispositivo	Smartphone		Tablet		Computador							
Plataforma	Android		iOS		Híbrido		Web		Windows		MacOS	
Feedback	Nenhum		Erros de execução		Pontuação automática por áudio			Pontuação dada por usuários		Pontuação por professores verificados		

Fonte: O autor (2022)

### 10.3.4 Identificar as combinações de soluções factíveis

Após a elaboração da caixa morfológica, foram identificados possíveis produtos mínimos viáveis (MVPs, do inglês *Minimum Viable Products*) de aplicativos para aprendizado de instrumentos e entretenimento. Nesta etapa, cada um dos 5

participantes, elaboraram entre duas e três ideias de MVPs utilizando a caixa morfológica como ponto de partida. Foram gerados conceitos como “Duolingo musical”, “robô professor que fornece feedback automático”, entre outros.

Dentre os oito conceitos principais, as ideias variaram entre **visualização de cifras** diretamente de um **serviço de streaming, compartilhamento de playlists** para **performance colaborativa, aprendizado guiado** com intuito de motivar quem está aprendendo, **compartilhamento de performances para feedback colaborativo** de uma comunidade, entre outros. Cinco MVPs principais foram selecionados para elaboração de *Lean Canvas* e estudo posterior de modelo de negócio para analisar a viabilidade de cada um.

Um dos MVPs, diretamente relacionado com o projeto desta tese, envolve o **aprendizado guiado com intuito de motivar quem está aprendendo**, focando também na **legibilidade e inteligibilidade das cifras**. Esta visualização foi mencionada diversas vezes durante as entrevistas com potenciais usuários. Alguns relataram que possuíam dificuldade de entender quais as posições de acordes deveriam executar e quando deveriam executá-los.

Levando também em consideração os aspectos de *feedback* de outros usuários, algo que também foi relatado durante as entrevistas, focou-se primeiramente em um MVP também permitisse o compartilhamento das performances dos usuários em redes sociais, propiciando a formação de comunidades de aprendizado.

As questões que surgem estão relacionadas com que **tipo de conteúdo deve ser exibido** e, dependendo do conteúdo, como será a dinâmica da experiência de aprendizado, **qual tipo de transição do conteúdo é mais apropriado**.

#### 10.4 HISTÓRIAS DE USUÁRIO E PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES

Na etapa seguinte, foram realizadas reuniões com a equipe de desenvolvimento da empresa, incluindo designers, líderes técnicos e gestores de projeto da empresa para levantamento e priorização de recursos de sistema e atividades do desenvolvimento. Assim, foram levantadas histórias de usuário, i.e., descrições de funcionalidades que fornecerão valor ao usuário ou ao comprador de um software (COHN, 2004).

O autor ainda reforça que este levantamento de histórias serve tanto para priorizar e documentar funcionalidades do sistema, mas principalmente para gerar discussões

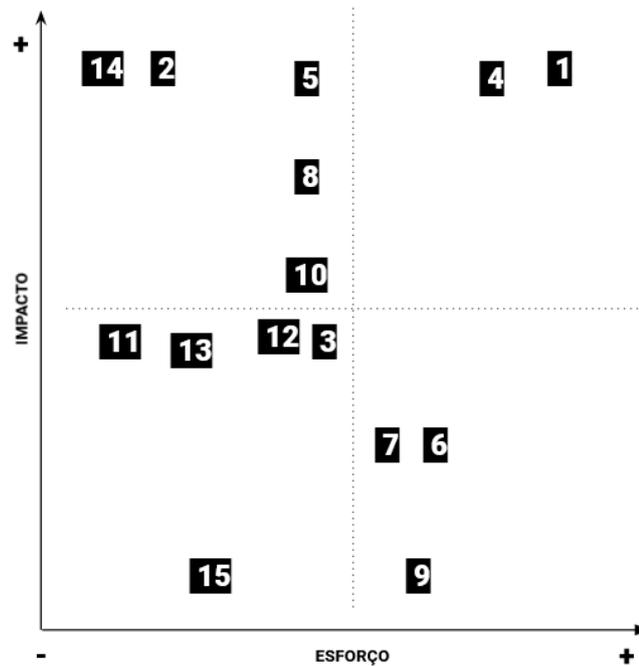
sobre estas funcionalidades, possíveis alterações e sobre aspectos técnicos como viabilidade e conhecimento da equipe (COHN, 2004).

A partir destas histórias de usuário, uma priorização pôde ser realizada pela equipe, considerando o esforço necessário para realiza-las e o impacto que cada história possui no resultado final. As histórias de usuário iniciais levantadas foram:

1. Como usuário, eu quero visualizar os acordes da música escolhida de forma sincronizada com a música ao fundo;
2. Como usuário, eu preciso buscar a música que procuro tocar;
3. Como usuário, eu gostaria de ter as músicas categorizadas para orientar minha procura;
4. Como usuário, devo escolher qual será o background da minha performance na música escolhida entre câmera, imagem ou vídeo da minha galeria ou ainda um background sugerido pelo app;
5. Como usuário, eu gostaria de compartilhar o resultado da minha performance nas minhas redes sociais;
6. Como usuário, eu gostaria de receber sugestões de músicas para tocar, baseadas em rankings e histórico;
7. Como usuário, eu gostaria de controlar o BPM da música escolhida, para que possa tocar de forma mais lenta ou rápida;
8. Como usuário, eu gostaria de ter uma indicação visual do momento em que devo trocar de acorde para facilitar a leitura;
9. Como usuário, eu posso me tornar um assinante do aplicativo para ter acesso ilimitado ao conteúdo e ferramentas;
10. Como usuário, eu gostaria de poder ver ou esconder a letra da música enquanto toco a cifra;
11. Como usuário, eu gostaria de poder personalizar as cores das cifras/letras para que consiga controlar o contraste do background;
12. Como usuário, eu gostaria de ver e ter minhas performances vistas por outros usuários;
13. Como usuário, antes de compartilhar uma performance em rede social eu gostaria de poder escolher o trecho da música que vou tocar;
14. Como criador de conteúdo, eu preciso ter um passo a passo definido para a criação de novas músicas para o app enquanto não for possível utilizar o reconhecimento automático de acordes;

15. Como usuário, eu gostaria de escolher a orientação da tela de performance. Com estas histórias, reuniu-se a equipe da empresa para elaborar uma matriz considerando o esforço técnico e o impacto gerado na solução (MODEL THINKERS, [s.d.]). Assim, as soluções são classificadas em diferentes quadrantes (FIGURA 70):

Figura 70 – Matriz esforço vs impacto das histórias de usuário.



Fonte: Imagem disponibilizada pela Daccord Music (2022).

Os quadrantes são divididos da seguinte maneira (GIBBONS, 2018; JUHÁSZ, 2020):

- **Easy wins:** baixo esforço e alto impacto para o usuário. Tarefas que devem ser priorizadas durante o desenvolvimento.
- **Fill ins:** baixo esforço e baixo impacto. Tarefas que podem ser feitas dependendo da disponibilidade de recursos, por serem de rápida realização.
- **Major Projects:** alto esforço e alto impacto. Tarefas que são transformadas em grandes projetos, que podem ser realizadas com um investimento de recursos, mas que se pagarão quando finalizadas.
- **Thankless tasks:** tarefas de alto esforço e baixo impacto. Devem ser desconsideradas, se possível.

Neste caso, tarefas como a sincronização de acordes com o áudio da música foi classificada como **major projects**, mas que foi considerada para o desenvolvimento, mesmo que postergada devido às diferentes possibilidades de visualização. Tarefas como busca e indicação do momento de troca de acordes foram classificadas como **easy wins**, tarefas como personalizar cores de cifras e compartilhamento de performance foram classificadas como **fill ins** e controle de BPM e recomendações de músicas foram consideradas como **thankless tasks**, e.g., mudanças de BPM podem impactar o aprendizado entretanto há considerações como reduzir e/ou aumentar a velocidade do áudio preservando o tom da música e principalmente a confiabilidade do resultado final de áudio (áudio final pode ficar cortado dependendo de aspectos técnicos da taxa de dados de gravação).

## 10.5 VÍDEO DEMO E ESTUDO DE TELA

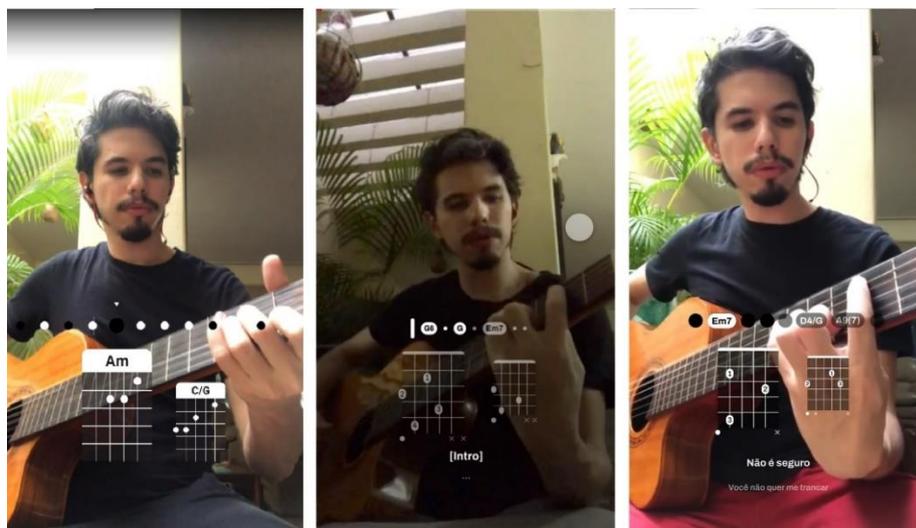
Após estas reuniões de priorização, algumas dúvidas relacionadas com a interação do usuário na tela principal, que envolve a exibição do conteúdo musical. De forma a prototipar estas telas de maneira mais funcional, porém sem a necessidade de implementação dos diversos sistemas necessários para rodar no aplicativo, vídeos de demonstração foram desenvolvidos junto com a equipe de produção visual da empresa para visualizar como seria a interação durante a performance.

Vídeos foram gravados e com diferenciações entre os elementos gráficos e animações exibidas. Dentre estas variáveis, as principais foram:

- Timeline indicando quando os acordes serão executados;
- Desenho e iniciação de quais acordes devem ser tocados (cifra);
- Indicação de compasso e andamento (pulsção da música);
- Letra da música.

Além da presença ou ausência de cada componente, estas versões e discussões abordaram a hierarquia de informação e quais destes elementos necessitariam de animação. Estudos da literatura abordam que animações servem para auxílio no entendimento e aprendizado de informação, entretanto animações demasiadamente complexas podem prejudicar este aprendizado, causando uma divisão de atenção entre diferentes elementos exibidos (DE KONING et al., 2009, pp.114).

Figura 71 – Diferentes versões do vídeo com elementos em preto e branco.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Nestas primeiras versões (FIGURA 71), foi discutido que, assim como descrito na literatura, a presença de diversos elementos sendo animados causa confusão durante a performance, dividindo a atenção entre os diferentes elementos exibidos, especialmente se as animações estiverem em eixos diferentes, e.g., linha temporal e acordes com translação da direita para a esquerda e letra com translação de baixo para cima.

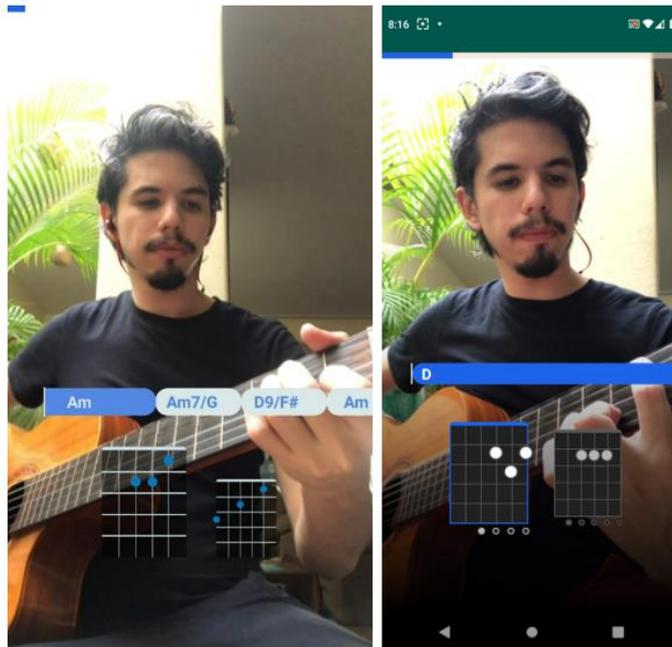
Ademais, a hierarquia de informação deve seguir o seguinte sistema: a linha temporal deve ter prioridade de destaque. A linha temporal deve conter tanto a informação de quais acordes serão tocados e quando eles devem ser executados. Neste caso, músicos que já sabem a posição destes acordes, não necessitariam de informações adicionais.

Em segunda prioridade, deve-se ter o desenho do acorde contendo a posição a ser executada no instrumento para músicos que precisam conferir ou aprender novos acordes. Neste caso, mesmo com a possibilidade de exibição desses acordes no VioLED, foi discutido que esta informação é importante para usuários que não teriam acesso ao protótipo ou que prefeririam não o utilizar. Assim, são exibidos o acorde atual e o próximo com transições sem animação, a fim de não desviar a atenção da linha temporal.

Em baixa prioridade estariam as informações de andamento e pulsação da música e a letra. Neste caso, o elemento de pulsação foi transformado em uma barra vertical que altera de cor sutilmente, uma vez que este conceito não é comumente percebido

no aprendizado informal e pelo fato da música original estar sincronizada com os elementos visuais. Além disso, a animação da letra foi retirada e o espaço considerado foi reduzido.

Figura 72 – Versão final do vídeo emulando a tela de performances do iChords versão v0.5 (esquerda) e tela do aplicativo (direita).



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Assim, foi necessário priorizar a animação e destacar os elementos da linha do tempo nas versões finais do vídeo (FIGURA 72). Para isso, foram inseridas cores para destacar o acorde atual que é tocado tanto na linha do tempo quando no desenho do acorde, estabelecendo uma relação visual para identificação de qual acorde deve ser executado. A pesquisa de De Koning et. al. reporta que alguns pesquisadores identificaram um efeito positivo no aprendizado ao utilizar movimento e cores (DE KONING et al., 2009, pp.126).

### 10.5.1 Espaço disponível na tela

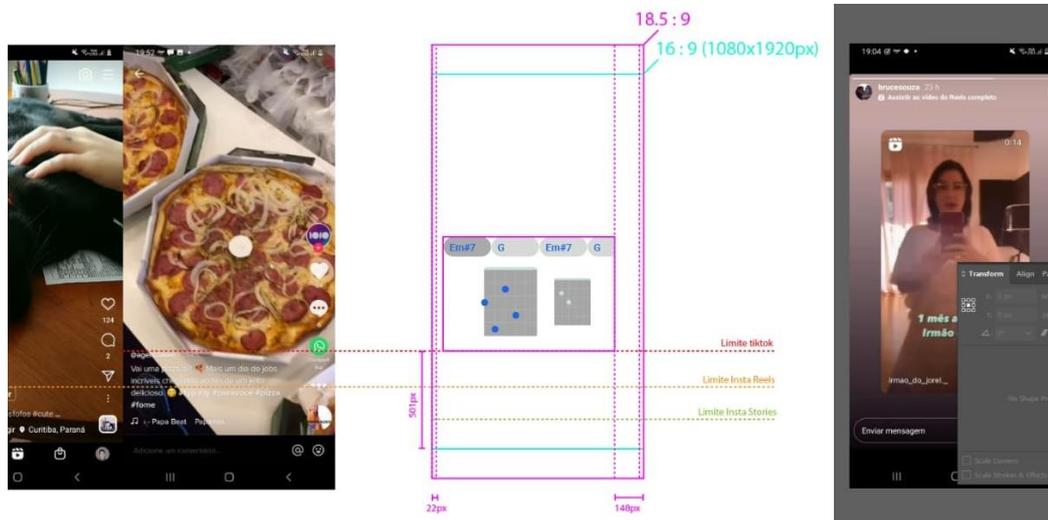
Como identificado nas entrevistas com usuários, um dos principais problemas relacionados com aplicativos mobile de cifras é formatação e a legibilidade do conteúdo exibido pelo fato do espaço de tela reduzido destes dispositivos.

Além disso, deve-se considerar que para performances gravadas em diferentes dispositivos e compartilhadas via diferentes redes sociais é necessário considerar o

espaço útil de exibição para que não haja perda de informação essencial durante a performance e após o compartilhamento.

Assim, a equipe de design fez um levantamento sobre grandes plataformas de compartilhamento de vídeo (TikTok, Instagram *Reels* e Instagram *Stories*), destacando o espaço que deve ser reservado para exibir o conteúdo musical e o espaço que deve ser utilizado para a gravação do vídeo em si, além de considerar diferentes resoluções e proporções de tela (*aspect ratio*) (FIGURA 73). Vale salientar que, embora a imagem indique a proporção começando do canto superior esquerdo, estas margens são ajustadas para o centro da tela.

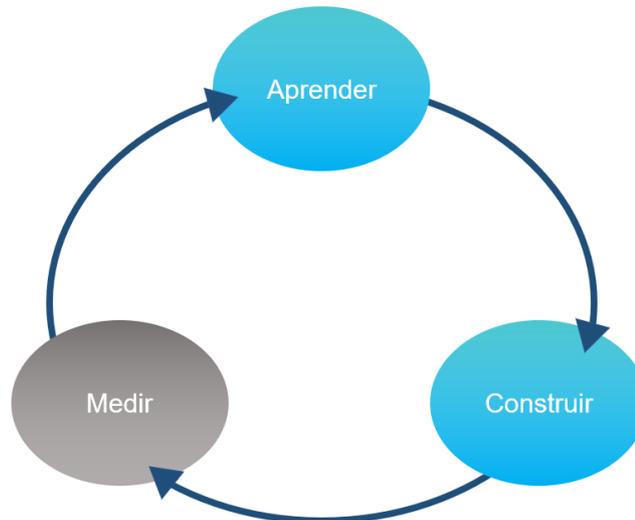
Figura 73 – Estudo de área disponível para exibição do conteúdo.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

## 10.6 ICHORDS V0.5

Figura 74 – Desenvolvimento do iChords v.0.5 no ciclo de design.



Fonte: O autor (2022).

A versão v0.5 do *software* iChords foi desenvolvida seguindo mais um ciclo de desenvolvimento (FIGURA 74). Esta versão é integrada ao VioLED seguindo uma arquitetura similar à versão anterior, utilizando Bluetooth e o protocolo de comunicação desenvolvido (FIGURA 75).

Figura 75 – Arquitetura do iChords v0.5.



Fonte: O autor (2022)

A versão final do iChords buscará a cifra das músicas a partir de um serviço de streaming e utilizará um algoritmo com tecnologias de inteligência artificial para reconhecimento e alinhamento dos acordes. Entretanto, enquanto o algoritmo é aprimorado, foi criado um acervo musical temporário. Este acervo contém atualmente

442 músicas e continua sendo desenvolvido pela equipe de músicos da empresa seguindo o seguinte formato (FIGURA 76) e são armazenados no Firebase Firestore:

Figura 76 – Formato de input das músicas.

```
#, Name, Start
M1, INÍCIO, 0.420
M5, E7M(9), 14.000
M2, Bm7(4), 16.190
M3, E7(9), 18.683
M6, A7M, 21.000
M7, Am6, 23.000
M8, G7M, 25.000
M4, C7M(9), 27.500
M9, C#m7(b5), 29.500
```

Fonte: O autor (2022).

Os dados de entrada possuem uma posição de marcador (gerado automaticamente pela ferramenta utilizada na criação destes dados), o nome do acorde e o tempo (*timestamp*), em milissegundos, que o acorde é executado na música. Estes *timestamps* servem para sincronizar a troca de acordes na tela assim como servirá para enviar as mensagens para exibir os acordes no VioLED. Além disso, elementos de metadados como andamento, compasso, tom, etc. também são armazenados no banco de dados e servem para sincronizar as animações da linha de tempo da tela de performance (FIGURA 72 acima do desenho dos acordes).

O vídeo da performance é gravado e armazenado na galeria do *smartphone* do usuário e, após a performance, o usuário pode compartilhar este vídeo para diferentes plataformas de redes sociais. Assim, o iChords incorpora este elemento de redes sociais, buscando a criação de comunidade e aumento do engajamento do usuário.

Nesta versão, uma das possibilidades de monetização é disponibilizar o aplicativo com a gravação e compartilhamento da performance gratuitamente nas lojas de aplicativos e possuir funcionalidades extras para assinantes, como a conexão com instrumentos conectados, controle da velocidade da música, entre outras. Pode-se também disponibilizar o aplicativo com uma assinatura e um período de teste grátis. Outra forma de monetização é, caso haja uma parceria com algum serviço de streaming, ter uma assinatura com valor adicional para que o sistema possa se beneficiar do acervo desta plataforma e limitar o acervo do público não pagante. Entretanto, as questões relacionadas com a melhor forma de monetização não fazem

parte do escopo da tese, uma vez que envolve todo um trabalho de uma equipe de marketing e de questões administrativas da empresa Daccord.

## 10.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

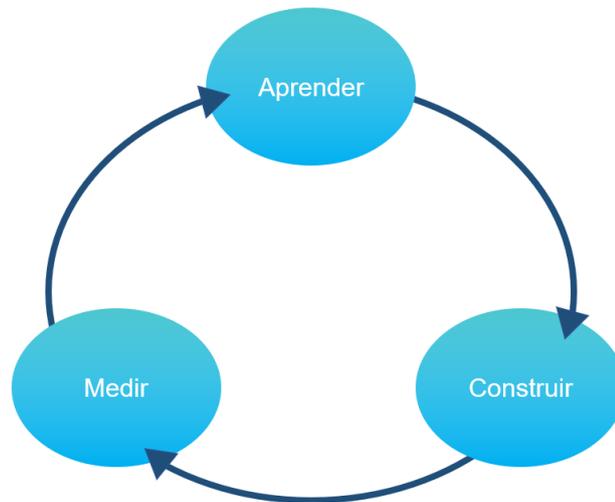
Este capítulo buscou descrever o novo ciclo de desenvolvimento do **software de controle** do VioLED. Partindo da versão v0.3, já desenvolvida para dispositivos *smartphone*, foi desenvolvida uma nova versão explorando diferentes formatos de visualização e buscando incorporar elementos de gamificação (progressão por lições que são desbloqueadas com o nível do usuário) e redes sociais (visualização de vídeos no formato *stories* para cada lição).

Os principais avanços na versão v0.4 são a exploração de novas formas de exibição e legibilidade do conteúdo, além de exibir a duração de cada acorde em uma barra segmentada, antecipando as mudanças de acorde para o usuário.

Entretanto, para a versão v05, foi realizado um novo ciclo de design utilizando métodos de **caixas morfológicas**, **histórias de usuário** e **matriz de esforço vs impacto**. Desta forma, foi possível consolidar aspectos como antecipação e exibição da duração do tempo dos acordes e hierarquia do conteúdo musical além de implementar **aspectos de redes sociais** para que os usuários possam compartilhar a performance e receber *feedback* de outros usuários, além de impulsionar a criação de comunidade.

## 11 AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Figura 77 – Avaliação do sistema no processo de design.



Fonte: O autor (2022).

Este capítulo busca descrever como foi o processo de avaliação do sistema (FIGURA 77), o protocolo experimental utilizado e os resultados desta avaliação sistema. Nesta etapa, foram realizados experimentos buscando responder as perguntas de pesquisa e verificar se o sistema do VioLED com um instrumento aumentado e um software podem atingir uma parcela do público que ainda não foi atingida e se é possível aprimorar o engajamento do usuário.

### 11.1 EXPERIMENTO NA SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (SNCT)

Duas etapas de avaliações foram realizadas. A primeira avaliação foi executada na 19ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia no mês novembro de 2019. Esta etapa envolveu a avaliação da **versão v0.4 do VioLED** buscando responder à pergunta de pesquisa, além de colher *feedback* dos potenciais usuários para aprimoramento das funcionalidades do sistema.

### 11.1.1 Setup

Figura 78 – Setup do experimento da SNCT.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

O setup do experimento seguiu as seguintes etapas (FIGURA 78):

1. Usuários tentavam aprender uma música com 3 acordes simples utilizando um violão convencional e uma cifra aberta em um notebook;
2. Usuários tentavam aprender a mesma música da etapa, porém aprendendo a cifra pelo aplicativo.
3. Usuários continuam com a mesma música no aplicativo e trocam o violão para o violão conectado, com o qual podem ver as posições dos acordes no próprio instrumento

No aplicativo, o usuário aprendia a cifra com o acompanhamento da música ao fundo, os acordes atual e próximo eram exibidos na tela com o desenho da posição que deveria ser feita no braço do instrumento. Os usuários poderiam pausar, retomar e diminuir a velocidade da música e dos acordes caso desejassem.

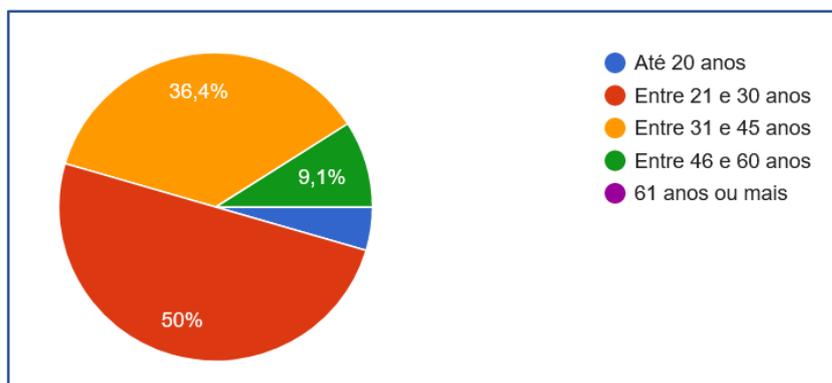
Se o usuário topasse fazer a segunda parte do experimento, ele era introduzido a novas músicas e novas funcionalidades, principalmente relacionadas com a conexão com o violão conectado. Nesta segunda parte, o instrumento conectado antecipava para o usuário o acorde que ele deveria executar na música, mudava a cor do acorde no momento exato que ele deveria tocar, além de poder identificar (com um padrão de cores) as posições no braço de cada dedo que forma o acorde.

Assim, os usuários tentavam aprender uma segunda música com acordes mais complicados e depois poderia utilizar o modo de improviso, no qual as notas de uma

escala musical apareciam no braço do violão para que o usuário pudesse improvisar com acompanhamento de uma música de fundo.

### 11.1.2 Perfil dos entrevistados

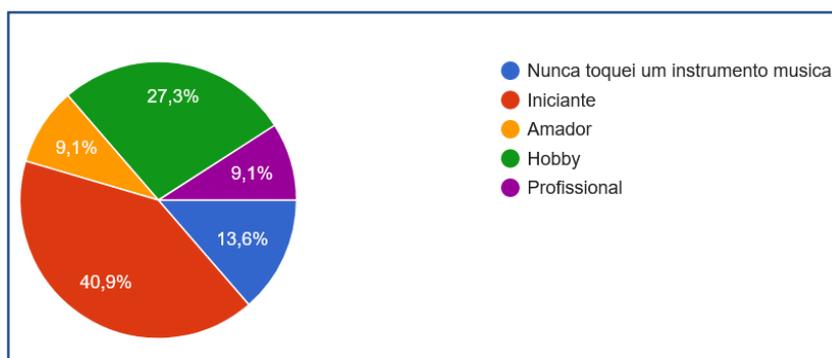
Figura 79 – Faixa etária dos participantes.



Fonte: Imagem disponibilizada pela Daccord Music (2022).

22 usuários participaram do experimento, dos quais 17 participaram de todas as etapas. A grande maioria (86,4%) estava inserida na faixa entre 21 e 45 anos (FIGURA 79). O público foi predominantemente de usuários iniciantes, enquanto 27,3% tocavam por hobby, 13% nunca haviam tocado um instrumento musical, e o restante era amador ou profissional (FIGURA 80).

Figura 80 – Familiaridade dos participantes com instrumentos musicais.



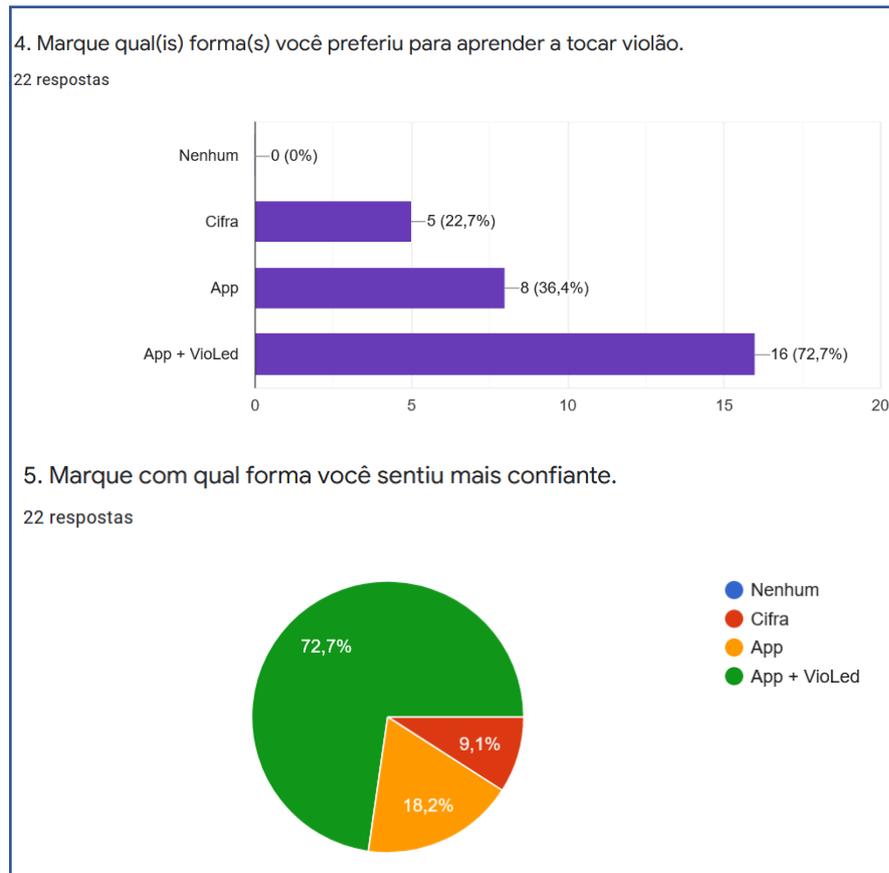
Fonte: Imagem disponibilizada pela Daccord Music (2022).

### 11.1.3 Resultados do questionário

A maioria dos usuários (72,7%) preferiu aprender a tocar com a combinação de aplicativo e instrumento conectado, enquanto 36,4% preferiu tocar apenas com o app

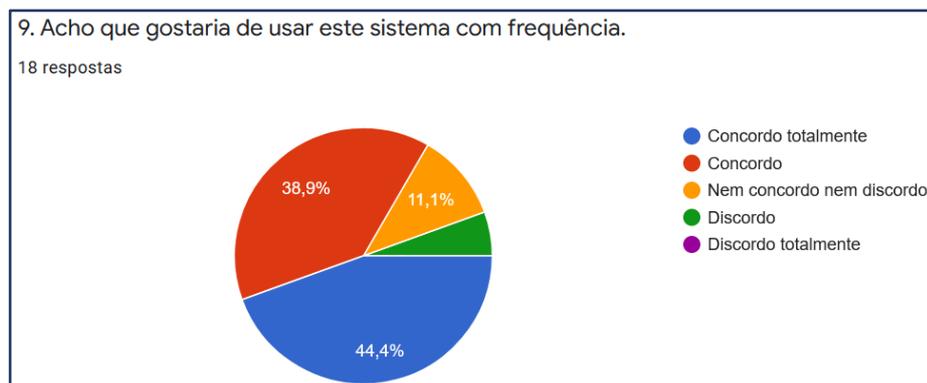
e um violão convencional e o restante (22,7%) preferiram a cifra no notebook. Vale ressaltar que esta pergunta possibilitava a escolha de mais de uma resposta. Além disso, a maioria (72,7%) também se **sentiu mais confiante** utilizando o app com o instrumento conectado, enquanto 18,2% apenas com o app e 9,1% com a cifra (FIGURA 81).

Figura 81 – Resultados do questionário relacionados com preferência (acima), confiança (abaixo).



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Figura 82 – Resultados do questionário relacionados com potencial de adesão (abaixo).



Fonte: Imagem disponibilizada pela Daccord Music (2022).

Um grande passo para validação da solução foi o fato que **83% dos usuários concordaram que gostariam utilizar o sistema com frequência**, mostrando um **potencial de adesão** do sistema (FIGURA 82). Além disso, as pessoas notaram que o sistema era “*fácil de usar*” (**P03-Iniciante**) e que o uso de LEDs “*facilita demais a vida de quem quer aprender*” (**P01-Hobby**). A presença de cores e da marcação do compasso também foram notadas pelos usuários além das possibilidades de “*representar as escalas*” (**P16-Profissional**) e “*... aproximar a teoria musical para a prática.*” (**P14-Profissional**), podendo ajudar no aprendizado pelo fato que “*muitas vezes as pessoas se frustram por não conseguir colocar isso [a teoria musical] na prática*” (**P14-Profissional**).

Além disso, algumas sugestões de melhorias foram:

- “...dava umas pequenas travadas rápidas, como pausas. Fora isso, no modo de escala, acho que um iniciante ficaria meio perdido. Mas achei massa!” (**P01-Hobby**);
- “as cores poderiam ser visíveis em vermelho no app quando errar os acordes no violão” (**P06-Iniciante**);
- “O celular espelhar o braço do violão e indicar na tela onde colocar os dedos e que cordas dedilhar/tocar” (**P07-Nunca Tocou Um Instrumento Musical**);
- “O aviso do próximo acorde é muito em cima do momento de troca, fazendo com que você saiba qual será o próximo acorde, mas não consiga trocar de posição a tempo” (**P10-Iniciante**);
- “acho que deveria ter uma forma de mostrar o ritmo da música” (**P13-Iniciante**).

Algumas destas melhorias estão relacionadas com ajustes de performance do sistema, especialmente na animação, enquanto que outras são sugestões de funcionalidades como adição de **feedback**, novas formas de visualização dos acordes na tela do aplicativo, exibição do ritmo/batida da música, e ajustes na antecipação. Particularmente, o ajuste na antecipação pode ser solucionado permitindo ajuste no andamento da música para velocidades ainda menores. Neste caso, andamentos mais lentos aumentam o tempo relativo das notas da música, i.e., uma mesma nota em um andamento de 120 BPM durará o dobro do tempo em um andamento de 60

BPM. Assim, como o tempo da antecipação é baseado neste tempo das notas, permitirá o instrumento antecipar o acorde por mais tempo.

Entretanto, futuros testes devem ser realizados utilizando diferentes grupos de controle. O setup proposto durante a SNCT apresenta certas peculiaridades que necessitam ser consideradas.

## 11.2 AVALIAÇÃO UTILIZANDO O SYSTEM USABILITY SCALE (SUS)

Dos 22 sujeitos que participaram do experimento, 17 participaram da segunda fase e, conseqüentemente, responderam ao questionário que utiliza o método *System Usability Scale* (SUS).

O sistema SUS foi desenvolvido por Brooke (BROOKE, 1996) para auxiliar o processo de avaliação da usabilidade de sistemas, fornecendo um processo “*quick and dirty*” para uma avaliação geral da usabilidade de um sistema sem necessidade de altos custos com testes de usabilidade e para que diferentes sistemas que atuam em diferentes contextos possam ser comparados entre si.

O SUS envolve um questionário de afirmações específicas baseadas na escala de Likert, envolvendo 5 ou 7 pontos em uma escala de confirmação ou de discordância. Este questionário envolve as seguintes afirmações<sup>64</sup> (BROOKE, 1996):

1. Acho que gostaria de usar este sistema com frequência;
2. Eu achei o sistema desnecessariamente complexo;
3. Eu achei o sistema fácil de usar;
4. Acho que precisaria de um técnico para conseguir utilizar este sistema;
5. Considerarei que diversas funcionalidades do sistema estavam bem integradas;
6. Achei que o sistema tinha muitas inconsistências;
7. Imagino que a maioria das pessoas aprenderiam a utilizar o sistema rapidamente;
8. Eu achei o sistema bastante incômodo para usar;
9. Eu me senti confiante utilizando o sistema;
10. Tive que aprender muitas coisas antes de conseguir lidar com o sistema;

---

<sup>64</sup> Questionário traduzido de BROOKE, 1996.

A pesquisa de Lewis e Sauro discute que este método ainda é bastante utilizado como avaliações pós-teste em cerca de 43% dos casos analisados e ainda relatam o grau de confiabilidade do SUS comparado com outros testes de usabilidade (LEWIS; SAURO, 2009, pp. 95). Outros pesquisadores ainda remetem o uso do SUS não apenas para medir uma estimativa da usabilidade e da satisfação do usuário, mas também como formas de comparar diferentes versões de um mesmo sistema ou produto, diferentes tarefas em um mesmo sistema, implementações concorrentes de um mesmo sistema, diferentes interfaces para um sistema e diferentes tecnologias de interface (e.g. interface gráfica vs reconhecimento de voz) (BANGOR; KORTUM; MILLER, 2008).

Durante os experimentos da SNCT com o VioLED, as perguntas 8 e 9 tiveram de ser inferidas devido ao tamanho do questionário quando adicionado ao comparativo feito entre as diferentes versões de setup do sistema (Cifra, App, VioLED + App), aumentando o tempo do teste consideravelmente. Neste caso, os itens utilizados para calcular as afirmações 8 e 9 do SUS foram:

1. Marque qual(is) forma(s) você preferiu para aprender a tocar violão;
2. Marque com qual forma você sentiu mais confiante;
3. Marque o sistema que você se sentiu mais frustrado ao utilizar;
4. O aplicativo melhorou a minha experiência de aprender a tocar violão;
5. Eu me senti entediado ao utilizar o sistema;

Enquanto as primeiras três perguntas poderiam ser respondidas com mais de uma possibilidade, as últimas duas seguem a mesma escala de Likert de 5 pontos de concordância, utilizados no questionário do SUS (TABELA 1). Os resultados podem ser vistos na tabela abaixo (TABELA 2):

Tabela 1 – Escala de concordância de Likert utilizada durante a avaliação.

Discordo Totalmente	Discordo	Nem concordo nem discordo	Concordo	Concordo Totalmente
1	2	3	4	5

Fonte: O autor (2022)

Tabela 2 – Resultados do SUS para a versão v0.4 do iChords + VioLED.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
P1	4	2	5	1	3	4	4	1	1	2
P2	4	1	5	1	5	1	4	1	5	1
P3	5	1	4	3	4	2	5	4	1	4
P4	3	2	5	3	5	5	5	1	5	2
P5	3	2	4	3	3	2	4	2	3	3
P6	4	2	5	3	4	2	5	1	5	1
P7	5	1	5	1	5	2	5	1	5	1
P8	4	1	4	2	4	2	4	2	4	2
P9	5	2	4	5	4	2	4	4	4	3
P10	4	2	3	1	4	1	5	4	3	1
P11	5	2	5	3	3	3	5	1	5	2
P12	5	2	4	2	4	3	4	2	5	3
P13	5	2	4	1	3	2	4	2	5	2
P14	4	3	4	2	3	3	4	2	4	1
P15	2	2	4	2	4	1	4	2	3	2
P16	5	2	4	3	3	3	5	2	5	2
P17	5	1	5	1	5	2	5	1	5	1

Fonte: O autor (2022).

O cálculo do SUS envolve, primeiramente, subtrair 1 do valor de todas as respostas ímpares, subtrair de 5 o valor das respostas pares, somar todos estes valores e multiplica-lo por 2.5. Assim, a fórmula (EQUAÇÃO 4) para o cálculo de usabilidade, seguindo o SUS, é:

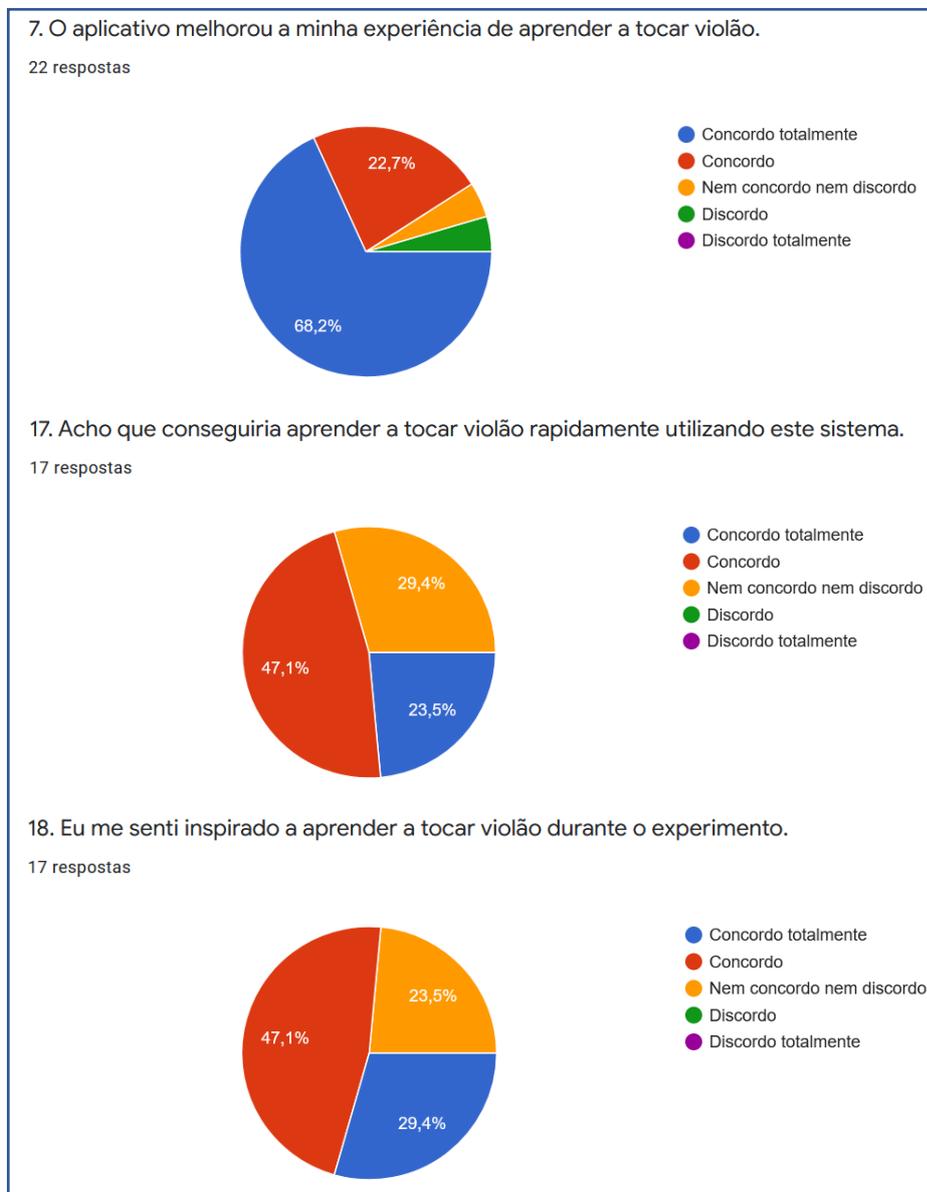
Equação 4 – Cálculo de resultado do System Usability Scale.

$$R_{SUS} = \left( \sum_{i=0}^8 Q_{2i+1} - 1 + \sum_{i=1}^8 5 - Q_{2i} \right) \times 2.5$$

De acordo com a literatura, produtos com aceitáveis devem possuir um resultado ( $R_{SUS}$ ) de ao menos 70 entre o range do SUS (0-100); produtos e sistemas melhores alcançam valores mais próximos de 80 a quase 90; e sistemas superiores alcançando valores superiores a 90 (BANGOR; KORTUM; MILLER, 2008).

No caso do sistema do VioLED, foi alcançado **uma média de 75** de acordo com o cálculo do SUS, mostrando uma boa usabilidade de sistema, mas indicando que melhorias podem ser realizadas para garantir uma melhor usabilidade. Ainda assim, este valor indica que a usabilidade do sistema poderá ser indicativa de uma boa retenção do público.

Figura 83 – Respostas do questionário relacionadas com a experiência do aprendizdo.



Fonte: Imagens disponibilizadas pela Daccord Music (2022).

Outro indicativo de possível retenção, ou ao menos de adesão, do público está relacionado com o fato de que 90,9% das pessoas responderam que o aplicativo melhorou a experiência de aprendizdo, 70,6% concordaram que conseguiriam aprender a tocar rapidamente utilizando o VioLED e 76,5% concordaram que se sentiram inspirados a tocar violão utilizando o VioLED (FIGURA 83).

A pandemia do COVID-19 afetou diretamente a realização dos experimentos necessários para avaliação de retenção de público, uma vez que estes experimentos deveriam ser de longa duração e o projeto contava com apenas um protótipo para

teste e desenvolvimento. Neste caso, utilizou-se o resultado do cálculo de usabilidade do SUS como indicativo de retenção de público.

### 11.3 SEGUNDA ETAPA DE AVALIAÇÃO

A segunda etapa focou numa avaliação comparativa do sistema do VioLED com outros sistemas similares. Dos similares utilizados, foram selecionados 10 sistemas para esta avaliação. Os sistemas escolhidos focam no aprendizado de violão, alguns contendo instrumentos aumentados e software, outros contendo apenas software. Estes sistemas utilizam diferentes técnicas e notações gráficas para exibição do conteúdo, porém a grande maioria utiliza tablaturas musicais e/ou cifras. Foram descartados produtos que não possuíam vídeos de demonstração ou que não exibiam propriamente as suas funcionalidades.

Para esta avaliação, foi montado um vídeo<sup>65</sup> contendo as principais funcionalidades destes sistemas. Primeiramente os usuários assistem o vídeo e depois organizam um quadro na plataforma Jamboard. Este questionário envolve o agrupamento dos diferentes produtos em grupos com critérios estabelecidos pelos próprios usuários. Desta forma, buscou-se identificar se estes usuários enxergavam o sistema do VioLED + iChords de maneira diferente das demais soluções e que tipos de relações seriam evidenciadas.

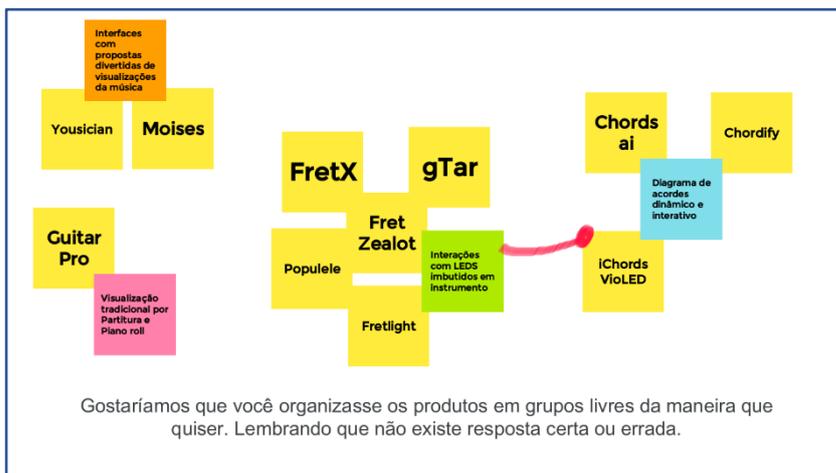
Seis indivíduos participaram desta etapa. Dentre estas pessoas estavam, um desenvolvedor de aplicativos iniciante no aprendizado de violão (**DEV**); três pesquisadores acadêmicos na área de tecnologia musical (**PESQ**), dos quais um buscou aprender a tocar violão e desistiu (**FR**); um especialista na área de *design thinking* (**DT**) e um potencial usuário (**U**) que também já tentaram aprender a tocar.

Para cada pessoa, um quadro diferente foi gerado e exportado com imagem para o software Adobe Photoshop CS6. Desta forma, foi possível extrair medições de distância entre o posicionamento atribuído ao **iChords VioLED** e os demais produtos (FIGURAS 84 a 89).

---

<sup>65</sup> Vídeo disponível em: <<https://youtu.be/MjhiPGHz96o>>.

Figura 84 – Quadro de avaliação Jamboard 1 (P01-PESQ).



Fonte: O autor (2022).

Figura 85 – Quadro de avaliação Jamboard 2 (P02-PESQ,FR).



Fonte: O autor (2022).

Figura 86 – Quadro de avaliação Jamboard 3 (P03-DEV).



Fonte: O autor (2022).

Figura 87 – Quadro de avaliação Jamboard 4 (P04-DT,FR).



Fonte: O autor (2022).

Figura 88 – Quadro de avaliação Jamboard 5 (P05-U,FR).



Fonte: O autor (2022).

Figura 89 – Quadro de avaliação Jamboard 6 (P06-PESQ).

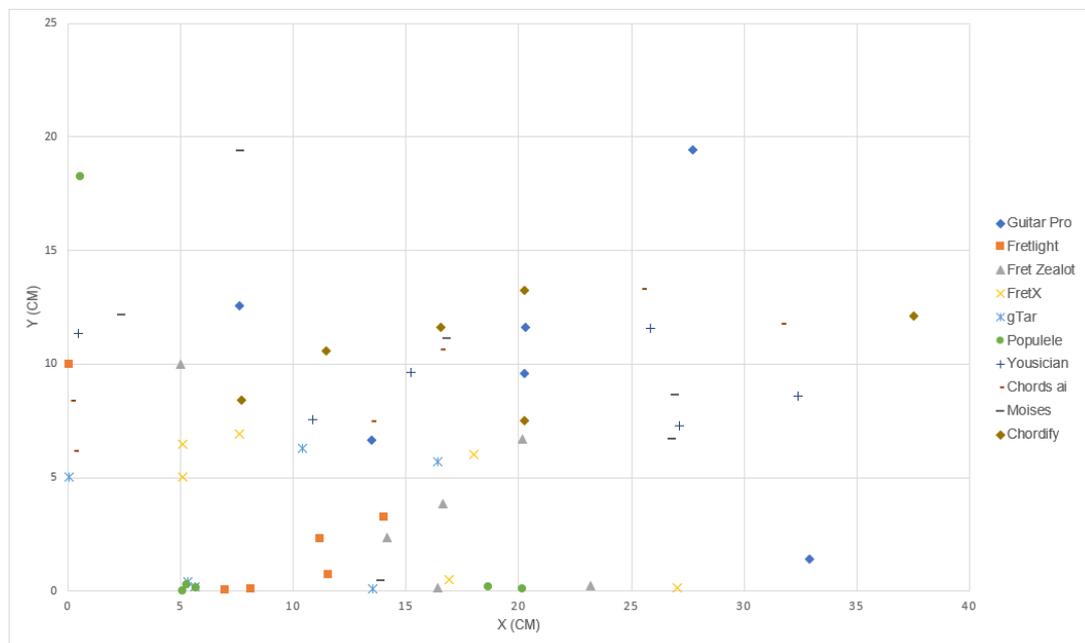


Fonte: O autor (2022).

Para pontos de referência, o tamanho do cartão é de 4,83 centímetros (cm) x 4,83 cm e o canvas possui 28,22 cm x 50,16 cm.

Utilizando a ferramenta de informação do Photoshop, é possível pegar a informação da posição de cada cartão de produto. As imagens foram ampliadas em 800% e a posição do canto superior esquerdo foi anotada. Para cartões em que esta posição estava escondida por trás de outro cartão, foram anotados os valores de X do canto esquerdo e a posição Y do topo do cartão. Assim, a distância absoluta do **iChords VioLED** para os outros podem ser visualizadas na figura abaixo (FIGURA 90):

Figura 90 – Distância entre o iChords VioLED e demais produtos.



Fonte: O autor (2022).

É possível ver que os entrevistados tiveram a impressão que o **iChords VioLED** é mais próximo de sistemas como **Populele**, **gTar**, **FretX** e **Fretlight** e mais distantes de produtos como **Guitar Pro** e **Moises**. Enquanto sistemas como Fret Zealot, Fretlight e gTar utilizam um sistema de tablaturas sincronizadas com a música, o Populele, o FretX e o VioLED se aproximam mais por utilizarem a notação de cifras, focando na simplificação da notação musical para o aprendizado das músicas e, possivelmente, atingindo músicos em um nível mais iniciante. Todavia, no modo de improvisação e solo, o iChords VioLED se aproxima dos demais sistemas que possuem integração com instrumentos aumentados.

De fato, um dos quadros (FIGURA 84) apresenta o iChords VioLED separado dos demais instrumentos e próximos de aplicativos como Chordify e Chords.ai, uma vez que todos estes utilizam uma visualização de cifras focando especialmente na exibição dos acordes atual e próximo na tela do *smartphone*.

Por outro lado, uma similaridade do iChords VioLED com demais instrumentos como o Populele, Fretlight e gTar é o fato de estes serem sistemas que utilizam uma abordagem intrusiva, possuindo os LEDs embutidos no instrumento. Isto é um fator que diferencia estes sistemas do Fret Zealot e do FretX, os quais podem ser instalados em instrumentos convencionais.

Entretanto, o desvio padrão das distâncias foi elevado (TABELA 3):

Tabela 3 – Desvios padrões na medição das distâncias entre o iChords VioLED e demais produtos.

	DESVIO PADRÃO NO EIXO X (CM)	DESVIO PADRÃO NO EIXO Y (CM)
<b>GUITAR PRO</b>	9,18	6,05
<b>FRETLIGHT</b>	4,93	3,77
<b>FRET ZEALOT</b>	6,23	3,87
<b>FRET X</b>	8,84	3,05
<b>GTAR</b>	6,02	3,00
<b>POPULELE</b>	8,11	7,38
<b>YOUSICIAN</b>	11,96	1,84
<b>CHORDS AI</b>	12,87	2,73
<b>MOISES</b>	9,96	6,28

Fonte: O autor (2022).

O alto desvio padrão pode estar relacionado ao número reduzido de pessoas que realizaram a pesquisa, mas principalmente porque cada pessoa tende a utilizar seus próprios critérios de agrupamento. Alguns sujeitos de pesquisa utilizaram o critério de quais plataformas eles achavam que iriam aprender mais facilmente, outros relacionados com as funcionalidades dos sistemas, outros com o tipo de visualização fornecida (FIGURA 84), entre outros. Entretanto ainda é possível visualizar proximidade entre os sistemas que possuem instrumentos aumentados e *software* de sistemas que utilizam puramente *software*.

## 11.4 ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS

Após esta etapa foram realizadas entrevistas com especialistas para avaliarem o **iChords VioLED** dos demais produtos. Dentre estes, foram 2 músicos com background de ensino musical (**MUS,TUTOR**), um músico profissional (**MUS**), um desenvolvedor sênior de aplicativos (**DEV**) e um pesquisador acadêmico e professor da área de tecnologia musical (**PESQ**). Nesta etapa, a entrevistas com especialistas foi utilizada por proporcionar a coleta de informações mais aprofundadas em um curto período de tempo e que pode ser bastante útil se usada em conjunto com outros métodos qualitativos (MARSHALL, 1996). Entretanto o autor menciona que os especialistas podem não representar ou entender a visão da grande maioria, mas que pode ser de grande uso para obter informações valiosas mais técnicas ou conceituais que podem passar despercebido em outros tipos de entrevistas.

A entrevista seguiu o seguinte protocolo: primeiramente os entrevistados foram informados do motivo da pesquisa; passadas as informações, o vídeo dos produtos foi exibido e o seguinte questionário foi realizado:

1. Qual foi a impressão que você teve do iChords VioLED?
2. O que você acha que o iChords VioLED faz?
3. Você ficou com alguma dúvida sobre alguma funcionalidade?
  - a. Depois de entender melhor, como você acha que o VioLED pode auxiliar pessoas no aprendizado?
4. Para que tipo de público você acha que pode servir uma solução como o iChords VioLED?
5. Das funcionalidades que você notou, quais delas você acha mais importante?
  - a. Por que?
6. Das funcionalidades que você notou, quais delas você **não** acha importante?
  - a. Por que?
7. Em comparação com os demais produtos, você nota diferenças entre o VioLED e os demais?
  - a. Se sim, quais?
8. Tem alguma funcionalidade que você acha importante que acha que deveria ser incluída?

#### 9. Alguma outra sugestão, comentário que você queira fazer?

Respondidas as perguntas, foi realizada a transcrição de trechos das entrevistas que remetiam à análise do sistema. A partir destes trechos, podem ser levantadas as impressões dos especialistas sobre o sistema, buscando solucionar as perguntas de pesquisa.

#### 11.4.1 Resultados

Todos os entrevistados relataram que a integração dos instrumentos com LEDs facilita o processo do aprendizado, funcionando como uma *“espécie de cola, uma cola boa... porque você vai ter a antecipação do que você vai tocar”* (P01-MUS,TUTOR), uma vez que *“a questão da visualização é muito latente no processo de aprendizado”* (P02-MUS,TUTOR) especialmente para o público iniciante e também para pessoas que não entendem tanto a notação musical, que estão se *“familiarizando com o braço do instrumento”* ou com o *“conceito de cifra”*, que *“ainda não têm os acordes decorados”* ou que busca *“fazer transposição”* mas não estão suficientemente confortáveis para isso (P04-DEV). Também pode ser utilizada para exercícios práticos diretamente no instrumento (P01-MUS,TUTOR).

Um dos pesquisadores menciona que, dos que serviços que contém instrumentos aumentados e *software*, a escolha de interface do *software* do iChords VioLED parece atingir um público diferente dos demais (P05-PESQ). Possivelmente, a escolha de utilizar notações de cifra em comparação à notação de tablaturas do Fret Zealot e gTar pode atingir um público mais iniciante e/ou que o objetivo seja mais alinhado com simplesmente acompanhar a música, sem a necessidade do detalhamento da tablatura.

A questão da **antecipação** de acordes foi destacada por todos os entrevistados, como um aspecto *“interessante”* porque o usuário *“já entende quais são as próximas posições que você tem que ir”* (P04-DEV). Para a atividade específica do *“ato de pegar uma música e começar a tocá-la”* mais diretamente, entrevistados mencionaram que a questão da antecipação é *“essencial”*, e quando combinada ao ajuste da velocidade da música pode ser mais *“relevante para ajudar as pessoas”* tanto para performance quando para o estudo (P01-MUS,TUTOR). A **antecipação** é *“muito importante se você quiser tocar na hora, e não como um exercício”* (P05-PESQ). Se o usuário quiser tocar o acompanhamento, algo que um dos entrevistados notou que deve ser o que

“*vai atingir mais diretamente o grande público*”, a antecipação é um recurso que permite que você toque “*on-the-fly*” (P05-PESQ) e identificar “*em que momento o acorde entra*”. Este recurso passa a ser um diferencial para a “*dinâmica de você querer tocar uma música e aprender a tocar uma música*” (P05-PESQ). Entretanto, embora um dos entrevistados tenha notado o fato de a oclusão da mão poder afetar esta antecipação durante a experiência (P02-MUS,TUTOR), outro já não acho algo tão relevante para o início do processo do aprendizado (P05-PESQ).

Apesar de destacarem as vantagens para o público iniciante no aprendizado, também relataram a possibilidade de atingir todos os públicos, uma vez que este sistema também pode servir para performance ou para um estudo de escalas. Para “*players mais casual, que já toca alguma coisa, mas que ainda não tem um repertório muito grande... ou que já toca, mas por exemplo, não sabe decorado uma cifra inteira*” (P04-DEV). A exibição de escalas pode ajudar o músico a “*ter mais confiança ali no braço para estudar ou até improvisar*”, como um recurso adicional se um músico intermediário o avançado necessitar (P02-MUS,TUTOR; P03-MUS). Um dos entrevistados ainda destacou a alteração de cores no modo de escala para destacar “*notas características da escala*”.

Além disso, citaram que a integração com tecnologias de inteligência artificial para reconhecimento e/ou sincronização automáticos dos acordes com a música ou vídeo pode ser um “*grande poder que tem hoje em dia*” (P02-MUS,TUTOR). Ferramentas de sincronização de acordes podem servir para gerar conteúdo automático de lições e erros produzidos pelo algoritmo podem ser ajustados por especialistas. Já o reconhecimento automático pode ser utilizado para “*a partir daqueles acordes [da música] entender as escalas disponíveis [para a música]*” (P03-MUS).

Em termos de funcionalidades, todos os entrevistados preferiram a abordagem não-intrusiva de sistemas como Fret Zealot e FretX, uma vez que é possível utilizar o “*em qualquer instrumento*” (P03-MUS), i.e., um músico que já possui um violão/guitarra pode utilizar a plataforma no instrumento que “*já gosta, já tem ergonomia com ele, já tem familiaridade com o tamanho do braço*” (P04-DEV). Particularmente, os músicos já podem ter investido mais recursos em um instrumento que gostam e podem retirar quando quiserem. Ao mesmo tempo, destacaram que, pelo vídeo, não é possível identificar qual o desafio técnico para implementar este tipo de abordagem nem como afetaria na ergonomia.

Outra funcionalidade mencionada foi a necessidade de implementação de **feedback** para o usuário (**P01-MUS,TUTOR; P04-DEV; P05-PESQ**). Este pode ser implementado tanto para identificação de acertos e erros do músico, mas também para afinação do instrumento, uma vez que “*para quem tá aprendendo... é muito importante*” (**P05-PESQ**). Um dos entrevistados relatou que sentiu falta de alguma “*informação que enriqueça a experiência na tela do celular*” (**P04-DEV**), pois a informação exibida atualmente – nome do acorde e posição dos acordes – pareceu redundante. Esta informação redundante foi implementada para complementar a informação da posição, uma vez que pode ocorrer problemas de oclusão das luzes. Apesar da informação da duração do acorde, o entrevistado notou que sentiu que a redundância foi desnecessária e que outras funcionalidades, como *feedback*, destaque maior no compasso, exibição da letra da música (funcionalidade secundária), etc. poderiam complementar melhor a experiência. Entretanto, destaca que o aplicativo deve usar a visão periférica do usuário, para não competir com o foco no instrumento.

Um dos entrevistados ainda destacou a vantagem de alguns produtos de o usuário poder tocar com um “*repertório de qualquer música*” (**P05-PESQ**). Os produtos que possuem algoritmos de reconhecimento de acordes e estão conectados com serviços de streaming possuem um acervo praticamente ilimitado, apenas restritos ao número de músicas disponíveis na plataforma. Isto faz com que o grande público encontre as músicas que gostaria de aprender/tocar, algo considerado de extrema importância durante as primeiras entrevistas com potenciais usuários. Um dos entrevistados ainda destacou que “*não usaria nenhum desses se estivesse limitado a um monte de música que eu não gosto*” (**P05-PESQ**).

Outro comentário foi talvez buscar novas formas de visualização e uma melhora na produção do app, por exemplo adicionando elementos de gamificação como o Yousician e Populele (**P05-PESQ**). Enquanto um dos entrevistados gostou do aspecto da produção do Yousician, do aspecto gamificado e também da forma de antecipação utilizada, um dos músicos relatou que achou a informação do nome do acorde desnecessária (**P03-MUS**). Este músico relatou que ao emular o braço do instrumento, a informação da posição dos dedos seria mais útil.

Um dos destaques de outros produtos foi no caso da videoaula combinada a um produto como Guitar Pro (**P05-PESQ**). Neste caso, não apenas o detalhamento da cifra, mas também o detalhamento do posicionamento dos dedos, da mão que não

ficam visíveis nos outros sistemas. Alguns sistemas como Fretlight e Populele incorporam lições sincronizadas, possuindo a vantagem deste detalhamento do vídeo e a exibição no instrumento.

Este entrevistado ainda notou que para todos estes sistemas, é necessário um estudo e implementação de um processo para desvencilhar a pessoa do produto para que o usuário não precise depender da ferramenta para tocar. Isto pode ser “*mais fácil de fazer quando se tem feedback*”, pois você pode utilizar estes recursos de maneira que o sistema “*apresenta uma vez, depois não mostra o tempo todo... depois mostra só no software*” (P05-PESQ).

## 11.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou diferentes etapas de avaliação do sistema realizadas ao longo do desenvolvimento do projeto. Esta avaliação foi realizada com a versão v0.4 do VioLED e com a versão do aplicativo antes das implementações do segundo ciclo de desenvolvimento do software.

As etapas envolveram um experimento comparativo entre um site de cifras, o aplicativo do iChords VioLED e o conjunto do instrumento aumentado e o aplicativo do iChords VioLED. Nesta primeira etapa de avaliação foi possível identificar um grande potencial de adesão do público, além de coletar *feedback* para aprimoramento da solução. Além disso, o questionário apresentado permitiu a utilização da System Usability Scale (SUS) para avaliação da usabilidade do sistema, apresentando uma média de **pontuação de 75** no ranking e mostrando uma boa usabilidade, porém que pode ser melhorada.

Além disso, outra etapa de avaliação envolveu investigar como o público e especialistas enxergavam o iChords VioLED em comparação com outras ferramentas do mercado. Primeiramente, potenciais usuários organizaram 11 produtos para o aprendizado e notaram que os sistemas que utilizam instrumentos e aplicativos costumam ficar próximos. Especificamente, o iChords VioLED se aproximou de sistemas como o Populele, gTar, FretX e Fretlight, enquanto que outros sistemas ficaram mais dispersos. Entretanto, o grau de proximidade apresentou uma dispersão de dados relativamente alta, possivelmente pelo fato de a seleção do critério de agrupamento ser escolhido pelo usuário.

Já durante as entrevistas com especialistas, estes notaram grandes vantagens destes sistemas com instrumentos aumentados e aplicativos para o aprendizado tanto de um público mais iniciante, quanto de um público intermediário e possivelmente avançado. Particularmente para o público iniciante, foi notado que o uso do instrumento aumentado com LEDs agrega bastante na questão da visualização das notas que é bastante latente no começo do aprendizado. Ao mesmo tempo, as ferramentas de escala poderiam servir como mais um recurso para estudo e performance de usuários mais avançados, para solos e improvisação. Ainda assim, notaram melhorias de sistema como adição de **feedback** automático, conexão com recursos de inteligência artificial para sincronizar acordes e reconhecer as possíveis escalas das músicas, etc. Um dos entrevistados ainda notou que sentiu falta de uma experiência mais rica na tela do aplicativo, possivelmente apresentando letras, andamento da música, ou outras informações que possam ser checadas eventualmente ou percebidas pela visão periférica para que não tire o foco do instrumento.

## 12 CONCLUSÃO

Com os avanços de tecnologias de em áreas como interfaces gestuais, internet das coisas e HCI, novas formas de interação com música têm emergido na área de computação. Particularmente na área de instrumentos musicais digitais e aprendizado musical, novos instrumentos munidos de tecnologias de IoT, como LEDs e microcontroladores, surgem para tentar auxiliar o aprendizado musical. Estes instrumentos aumentados para estudo (AMIS) integram essas tecnologias para serem capazes de exibir conteúdo musical diretamente nos instrumentos musicais, gerando novas oportunidades no aprendizado de instrumentos musicais.

Neste contexto, este projeto buscou utilizar estes avanços tecnológicos no aprendizado de violão popular para um público que ainda não foi ativado e para pessoas que já buscaram aprender e desistiram. Principalmente buscando:

1. Como estes sistemas de instrumentos aumentados e serviços podem ser desenvolvidos para auxiliar o aprendizado musical de violão popular?
2. Quais são os serviços que precisam ser atacados para auxiliar este aprendizado?

Para isso, o projeto partiu de uma iniciativa da empresa Daccord Music em parceria com a Batebit Artesania Digital que desenvolveu um violão que contém LEDs instalados para exibir conteúdo de representação musical para auxiliar o processo de aprendizado de violão popular. Particularmente, buscou-se desenvolver um serviço envolvendo o instrumento aumentado (o VioLED) e o software integrado ao sistema (iChords). Pela falta de métodos bem estruturados e/ou *guidelines* para o desenvolvimento, foi adotada uma abordagem de design centrado no usuário e pesquisa através do design, utilizando métodos de design para produzir conhecimento sobre o tema e, conseqüentemente, produzir melhores protótipos e sistemas.

Desta forma, uma das principais contribuições desta tese é **o processo de desenvolvimento** deste sistema com instrumento aumentado e um software atrelado para o aprendizado de violão popular e as **descobertas** feitas durante este processo. Utilizando a abordagem de **pesquisa através do design**, foi possível explorar métodos de design para criar um processo de desenvolvimento de produtos similares. Durante a primeira etapa do desenvolvimento, o uso dos métodos de **brainstorming** e **brainwriting 6-3-5** nas primeiras etapas do projeto foram essenciais para gerar

diversas ideias, possibilidades de funcionalidades e estabelecer e priorizar conceitos iniciais para o projeto.

Além disso, a partir de uma base de clientes da empresa Daccord, utilizou-se métodos de **Lean Canvas** para definir e expandir as personas que caracterizam o público-alvo e para solidificar a ideia do serviço, suas vantagens e desvantagens. A partir da elaboração de **personas** e realização de **entrevistas com usuários** que fazem parte deste grupo, buscou-se entender a experiência destes usuários com o aprendizado musical. Com estas entrevistas foi possível identificar **Jobs-to-be-Done** e pontos de dores relacionados com estes *Jobs*. Foram eles:

- Aprender as cifras das músicas;
  - Achar músicas compatíveis com seu nível
  - Credibilidade das cifras
  - Saber as posições enquanto toca
  - Achar as músicas que quer tocar;
- Socializar com outras pessoas;
  - Dificuldade de socialização;
  - Não ter onde demonstrar a evolução;
  - Não receber *feedback*;
- Receber Feedback;
  - Precisão / coerência do *feedback*;
  - Credibilidade do *feedback*;
- Aprimorar técnica;
  - Dificuldade de saber escalas/solos
  - Dificuldade de saber o ritmo/batida/dedilhado
- Ter liberdade para tocar onde quiser.
  - Formatação e legibilidade do mobile
  - Tamanho das telas.

Além disso, foi investigado o quão importante cada um destes aspectos é para estes usuários utilizando um **questionário** para identificar a **importância** de cada um dos aspectos levantados durante as entrevistas e o quão **satisfeitos** estes usuários estão com as soluções atuais para estes aspectos. Assim, foi possível realizar um **cálculo de oportunidade**. Enquanto todos os aspectos são de grande importância para estes usuários, os que geram maior oportunidade estão relacionados com:

- Ter músicas que está querendo aprender;
- Mostrar evolução e receber *feedback*;
- Melhorar técnica;
- Ter acompanhamento da música enquanto toca;
- Legibilidade e possibilidade de utilizar o celular no aprendizado.

Estes aspectos estão relacionados principalmente com “**Aprender as cifras das músicas**”, “**Receber *feedback***”, “**Ter liberdade de tocar onde quiser**” e “**Aprimorar técnica**”. Entretanto, o aspecto de melhoria da técnica está mais associado com músicos mais experientes. Apesar de não ser um aspecto prioritário para o público-alvo, é um aspecto que não pode desagradar o público.

A partir destes resultados, foi possível responder a segunda pergunta de pesquisa e direcionar o desenvolvimento do sistema. O uso de métodos como *brainsketching* nesta etapa de se provou bastante útil para elaboração de diferentes possibilidades de interação do usuário com o sistema, incluindo discussões sobre posicionamento de elementos visuais e do conteúdo musical na tela do *smartphone*. Entretanto, o fato de ser um sistema interativo em tempo real tornou o processo de seleção de funcionalidades complexo, necessitando da criação de **protótipos funcionais** para visualização da interação.

Apesar de protótipos funcionais aumentarem o tempo de desenvolvimento das versões, o método iterativo de prototipação permitiu a **identificação das funcionalidades essenciais** do sistema, o descarte de funcionalidades desnecessárias ou fora de escopo, e **aprimoramento** dos modos de funcionamento do sistema. De fato, funcionalidades como a antecipação de acordes, controle de velocidade das músicas de acompanhamento e destaque de notas específicas das escalas musicais puderam ser implementadas a partir da avaliação interna do protótipo.

Durante o segundo ciclo de desenvolvimento, o método de **caixas morfológicas** permitiu a exploração de diferentes possibilidades para o aplicativo do sistema e a consolidação da versão atual para o iChords VioLED. Combinando esta exploração com os métodos de **histórias de usuário** e **matriz de esforço vs impacto**, pôde-se elaborar quais as funcionalidades deveriam ser implementadas e como priorizar as diferentes tarefas, proporcionando um direcionamento para o desenvolvimento dos recursos do sistema.

Para a avaliação do sistema, uma análise comparativa com potenciais usuários trouxe informações valiosas sobre o sistema, quais vantagens foram identificadas por esses usuários e que melhorias deveriam ser implementadas. Além disso, utilizando um **questionário** baseado no *System Usability Scale* é possível obter uma pontuação de usabilidade do sistema. Dados qualitativos podem ser obtidos combinando os resultados dos testes com usuários, **entrevistas com especialistas** da área.

Figura 91 – Apresentação com o sistema VioLED.



Fonte: Imagem disponibilizada pela Daccord Music (2022).

Outra contribuição da tese é o protótipo do iChords VioLED. O **VioLED** (FIGURA 91) foi desenvolvido em diferentes iterações, principalmente envolvendo aprimoramento de funcionalidades do **software embarcado** no instrumento e no **software de controle** do sistema.

A maioria dos similares analisados, especialmente os sistemas que focam no aprendizado de violão e guitarra, utilizam uma notação de tablatura mais complexa diferente da notação de cifras. Esta notação de cifras é mais acessível ao público iniciante por ser uma notação simplificada baseada em acordes, diferentemente das tablaturas que se baseiam em notas. Além disso, o sistema do iChords VioLED integra a conexão com grandes bases de dados de sites de cifras e serviços de streaming de música. Desta forma, pode expandir o seu acervo para que os usuários possam encontrar as músicas que querem aprender, sem estar limitado à produção manual de conteúdo, contando com um algoritmo de reconhecimento e alinhamento de acordes. Isto faz com que aspectos importantes levantados pelo público-alvo sejam atacados, como **“Ter músicas que está querendo aprender”**, **“Ter o**

### acompanhamento da música enquanto toca” e a “Legibilidade e possibilidade de utilizar o celular no aprendizado”.

A versão atual do iChords ainda incorpora elementos de redes sociais para que os usuários possam compartilhar suas performances e trocar informações com outros usuários, atacando um tipo de “**Feedback**” a partir de elementos de redes sociais.

O VioLED incorpora:

- Modo de visualização de notas e acordes para aprendizado de cifras sincronizadas;
  - Antecipação de acordes;
  - Visualização dos acordes atual e próximo;
  - Possibilidade de ajuste de velocidade do acompanhamento musical.
- Modo de visualização de escalas para aprendizado de solos e improvisação;
  - Destaque visual nas tônicas da escala.
- Modo de animações para entretenimento em performances.

A antecipação dos acordes é outro diferencial do iChords VioLED, uma vez que busca manter o usuário no fluxo de aprendizado, permitindo que a pessoa possa ver quais os acordes deverão ser executados sem tirar o foco do instrumento. A ausência desta funcionalidade pode ocasionar em uma experiência frustrante, já que o músico passa a tocar atrasado tentando “alcançar” a velocidade de exibição ou se surpreendendo toda vez que o instrumento exhibe a nota/acorde que deve ser executado.

A partir de testes com usuários, foi identificado que este serviço que utiliza *hardware* com LEDs integrados a *software* para auxílio no aprendizado musical foi bem recebido por potenciais usuários, mostrando um **potencial de adesão** e melhorando a experiência de aprendizado destes usuários. Os usuários relataram que preferiram utilizar este serviço quando comparado à um site de cifras e ao *software* do sistema com um violão convencional, além de boa parte do público mencionar que acredita que aprenderiam a tocar mais rapidamente e que melhorou a experiência de aprender. Além disso, utilizando a análise do *System Usability Scale* (SUS), foi obtida uma pontuação de **75** nesta escala mostrando uma boa usabilidade, porém que há espaço para melhorias. Este indicativo de usabilidade somado aos resultados da entrevista exibem um potencial de retenção deste usuário.

Foi identificado que este tipo de sistema pode ser especialmente útil para usuários iniciantes, uma vez que a questão visual é bastante latente no começo do processo de aprendizado. A atividade de acompanhar uma música, aprendendo mais diretamente pode ser bastante beneficiada por estes sistemas, especialmente se incluírem a funcionalidade de **antecipação**. Isto permite que a pessoa mantenha o fluxo da experiência sem interrupções, sem precisar passar páginas, sem sentir que está sempre tocando atrasada e tentando alcançar a música. Ademais, este tipo de sistema pode ser utilizado como recurso adicional, de forma secundária, para outro tipo de público. Usuários mais avançados podem utilizar esse sistema para melhoria de técnicas como solos, improviso, exercícios e lições de teoria, etc.

A integração destes sistemas a serviços de streaming de música pode ampliar bastante seu potencial, buscando solucionar o problema de **quantidade de conteúdo** e permitindo que as pessoas encontrem as músicas que estão querendo aprender. Especificamente no iChords VioLED, é uma melhoria que está planejada e o algoritmo de reconhecimento e alinhamento de acordes encontra-se em desenvolvimento.

Entretanto, algumas melhorias podem ser realizadas como implementação de um sistema de *feedback* automático, um destaque maior em outras informações que possam enriquecer o aplicativo, como letra da música, metrônomo ou outros dados que não disputem a atenção com o instrumento. Particularmente, o sistema de *feedback* também pode auxiliar no processo de independência do usuário ao produto, fazendo com que o usuário possa atingir um nível em que não necessite mais da ferramenta.

Ademais, como uma terceira contribuição da tese, diferentes obstáculos foram identificados durante o desenvolvimento. Alguns destes corroborando com alguns resultados encontrados na literatura, como **latência** e desafios de **design simultâneo de hardware e software**, enquanto outros são obstáculos específicos para o sistema similares ao VioLED, como **oclusão** dos LEDs, **consumo de energia**, diferenças entre **abordagem intrusiva e não-intrusiva**, **carência de feedback**, entre outros.

Foram elaboradas diferentes hipóteses de soluções para obstáculos como as melhores formas e tempos de antecipação de acordes e notas, para resolver o obstáculo da oclusão dos LEDs pela mão do usuário, além de discussões sobre consumo de energia e latência no protocolo de comunicação. Entretanto, futuros experimentos podem ser realizados para explorar as diferentes abordagens com o intuito de solucionar estes obstáculos. Além disso, pesquisadores podem utilizar estas

descobertas como ponto de partida para elaboração de *guidelines* refinados para, por exemplo, parâmetros de tempo de antecipação, quais as melhores formas de antecipação (mudança de cores vs piscar os LEDs na hora correta), posicionamento dos LEDs no instrumento, tipos de componentes utilizados, entre outros.

## REFERÊNCIAS

- ABRAS, C.; MALONEY-KRICHMAR, D.; PREECE, J. User-Centered Design. p. 1–14, 2004.
- AKIYAMA, K. et al. **An education curriculum of IoT prototype construction system**. IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). **Anais...**2017.
- AL-EMRAN, M.; MALIK, S. I.; AL-KABI, M. N. A Survey of Internet of Things (IoT) in Education: Opportunities and Challenges. In: **Studies in Computational Intelligence**. [s.l.] Springer Verlag, 2020. v. 846p. 197–209.
- ASKENFELT, A.; DANSSON, E. **From touch to string vibrations. I: Timing in the grand piano action**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://acousticalsociety.org/content/terms>>.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- AZUMA, R. T. **A Survey of Augmented RealityPresence: Teleoperators and Virtual Environments**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.cs.unc.edu/~azumaW>>.
- BÅÅTH, R. Construction of a low latency tapping board (LUCS Minor Report 17). **Retrieved from the website of Lund University Cognitive Science: <http://www.lucs.lu.se/LUCS M>**, v. 17, 2011.
- BANGOR, A.; KORTUM, P. T.; MILLER, J. T. An empirical evaluation of the system usability scale. **International Journal of Human-Computer Interaction**, v. 24, n. 6, p. 574–594, ago. 2008.
- BAUER, W. I.; DAMMERS, R. J. **Technology in Music Teacher Education: A National Survey**. [s.l: s.n.].
- BEAUDOUIN-LAFON, M.; MACKAY, W. Prototyping Tools and Techniques. p. 1081–1104, 2012.
- BERTHOLDO, A. P. O. et al. Agile usability patterns for UCD early stages. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 8517 LNCS, n. PART 1, p. 33–44, 2014.
- BROOKE, J. **SUS-A quick and dirty usability scale**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[www.TBIStaffTraining.info](http://www.TBIStaffTraining.info)>.
- BRYCE, D. J.; DYER, J. H.; HATCH, N. W. **Competing against free**.
- BURD, B. et al. **Courses, content, and tools for internet of things in computer science education**. ITiCSE-WGR 2017 - Proceedings of the 2017 ITiCSE

Conference on Working Group Reports. **Anais...Association for Computing Machinery, Inc**, 30 jan. 2018.

BURNS, A.-M.; WANDERLEY, M. M. Visual methods for the retrieval of guitarist fingering. **New Interfaces For Musical Expression**, p. 196, 2006.

CAKMAKCI, O.; BÉRARD, F.; COUTAZ, J. **An Augmented Reality Based Learning Assistant for Electric Bass Guitar**. [s.l.: s.n.].

CALEGARIO, F. **Sketchument: ambiente de experimentação para criação de instrumentos musicais digitais**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

CALEGARIO, F. **METHOD AND TOOLKIT FOR DESIGNING DIGITAL MUSICAL METHOD AND TOOLKIT FOR DESIGNING DIGITAL MUSICAL INSTRUMENTS : GENERATING IDEAS AND PROTOTYPES**. [s.l.: s.n.].

CARBONARA, P. **For Fender Guitars, The Future Is Digital And Female**. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/petercarbonara/2018/03/28/for-fender-guitars-the-future-is-digital-and-female/#1ee0cd664a37>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

CECI, L. **Free and paid app distribution for Android and iOS 2021** . Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/263797/number-of-applications-for-mobile-phones/>>. Acesso em: 6 mar. 2022.

CHEDIAK, A. **Songbook Bossa nova**. [s.l.] Irmãos Vitale, 1990.

CHEN, D. et al. Platform choices and design demands for IoT platforms: cost, power, and performance tradeoffs. **IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications**, v. 1, n. 1, p. 70–77, 2016.

CHEN, P. et al. A review of using augmented reality in education from 2011 to 2016. **Lecture Notes in Educational Technology**, n. 9789811024184, p. 13–18, 2017.

CHRISTENSEN, C. M. et al. **Know Your Customers’ “Jobs to Be Done” Is innovation inherently a hit-or-miss endeavor? Not if you understand why customers make the choices they do**. [s.l.: s.n.].

CIFRACLUB. **Cifra Club**. Disponível em: <<https://www.cifraclub.com.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CIUHA, PETER.; KLEMENC, B.; SOLINA, F. **Visualization of Concurrent Tones in Music with Colours**. MM '10 : proceedings of the ACM Multimedia 2010 International Conference. **Anais...Association for Computing Machinery**, 2010.

COHN, M. **User stories applied : for agile software development**. [s.l.] Addison-Wesley, 2004.

COUTO, A. C. **Música popular e aprendizagem**. **Ana Carolina N. do Couto**. [s.l.: s.n.].

CROSLING, G.; HEAGNEY, M.; THOMAS, L. CROSLING, Glenda; HEAGNEY, Margaret; THOMAS, Liz. Improving student retention in higher education. *Australian Universities Review*, v. 51, n. 2, p. 9-18, 2009. **Australian Universities Review**, v. 51, n. 2, p. 9–18, 2009.

CROSS, N. **Engineering design methods : strategies for product design**. [s.l.] Wiley, 2000.

DABBAGH, N.; KITSANTAS, A. Personal Learning Environments, social media, and self-regulated learning: A natural formula for connecting formal and informal learning. **Internet and Higher Education**, v. 15, n. 1, p. 3–8, 2012.

DAHL, L. Designing New Musical Interfaces As Research: What's the Problem? **Leonardo**, v. 48, n. 1, p. 74–75, 2016.

DAMMERS, R.; LOPRESTI, M. **Practical Music Education Technology**. [s.l.: s.n.].

DE KONING, B. B. et al. **Towards a Framework for Attention Cueing in Instructional Animations: Guidelines for Research and Design** **Educational Psychology Review**, jun. 2009.

DENIS, G.; JOUVELOT, P. Motivation-driven educational game design. p. 462–465, 2005.

DIX, A. et al. **Human-computer interaction**. Third ed. Essex, UK: Pearson Education Limited, 2004.

DIX, A. et al. **Human-computer interaction**, 13 fev. 2005.

DORFMAN, J. **Ohio Music Education Association Technology in Ohio's School Music Programs: An Exploratory Study of Teacher Use and Source: Contributions to Music Education**. [s.l.: s.n.].

DOW, S. How prototyping practices affect design results. **Interactions**, v. 18, n. 3, p. 54–59, 2011.

EVANS, P. The Child as Musician: A handbook of musical development. In: **The Child as Musician: A handbook of musical development**. Second ed. New York, USA: Oxford Press, 2016. p. 325–339.

FALLMAN, D. Design-oriented Human—Computer Interaction. p. 225–232, 2003.

FOLKESTAD, G. Here, there and everywhere: music education research in a globalised world. **Music Education Research**, v. 7, n. 3, p. 279–287, nov. 2005.

FREITAS, E. M. C. DE. **O gesto musical nos métodos de percussão afro-brasileira**. [s.l.: s.n.].

FULLERTON, T.; SWAIN, C.; HOFFMAN, S. FULLERTON, Tracy; SWAIN, Chris; HOFFMAN, Steven. Game design workshop Designing, prototyping, & playtesting games. CRC Press, 2004. 2004.

GIBBONS, S. **Using Prioritization Matrices to Inform UX Decisions.**

GOHN, D. M. A Tecnologia na Música. **Intercom**, p. 13, 2001.

GORDON, M. E. **The History of App Pricing, And Why Most Apps Are Free.**

GREEN, L. **How popular musicians learn: A way ahead for music education.** [s.l.] Routledge, 2001.

HAMARI, J.; KOIVISTO, J.; SARSA, H. Does Gamification Work? A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. 2014.

HAN, J. Y. **Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection.** Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. **Anais...** Association for Computing Machinery, 2005.

HARTE, C. et al. **SYMBOLIC REPRESENTATION OF MUSICAL CHORDS: A PROPOSED SYNTAX FOR TEXT ANNOTATIONS.** [s.l: s.n.].

HENZINGER, T. A.; SIFAKIS, J. The Embedded Systems Design Challenge. p. 1–15, 2006.

HIRAGA, R.; WATANABE, F.; FUJISHIRO, I. **Music learning through visualization.** Proceedings - 2nd International Conference on WEB Delivering of Music, WEDELMUSIC 2002. **Anais...** Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2002.

HOFFMAN, B. Cognitive efficiency: A conceptual and methodological comparison. **Learning and Instruction**, v. 22, n. 2, p. 133–144, 2012.

HORNBAEK, K. Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research. **International Journal of Human Computer Studies**, v. 64, n. 2, p. 79–102, fev. 2006.

HUANG, K. Challenges in Human-Computer Interaction Design for Mobile Devices. **Wcecs 2009**, v. 1, p. 1, 2009.

ISSA, T.; ISAIAS, P. Usability and Human Computer Interaction (HCI). In: **Sustainable Design: HCI, Usability and Environmental Concerns.** London: Springer London, 2015. p. 19–36.

JOHANSEN, I. Scenario modelling with morphological analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 126, p. 116–125, 1 jan. 2018.

JORDÀ, S. Digital Instruments and Players : Part I – Efficiency and Apprenticeship. **Proceedings of the 2004 Conference on New Interfaces for Musical Expression**, p. 59–63, 2004.

JORDÀ, S. Digital Lutherie Crafting musical computers for new musics ' performance and improvisation. **Departament de Tecnologia**, v. 26, n. 3, p. 531, 2005.

JUHÁSZ, A. **6 Methods to Prioritize Features: Figuring out what to work on first, second and last.**

KEMELL, K. K. et al. Startup metrics that tech entrepreneurs need to know. In: **Fundamentals of Software Startups: Essential Engineering and Business Aspects**. [s.l.] Springer International Publishing, 2020. p. 111–127.

KOOPMAN, P. Embedded system design issues (the rest of the story). p. 310–317, 1996.

KOPETZ, H. **Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications**. New York, USA: Springer Science & Business Media, 2011.

KUROSU, M.; KASHIMURA, K. Apparent usability vs. inherent usability: experimental analysis on the determinants of the apparent usability. **CHI '95 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems**, n. May 2017, p. 292–293, 1995.

KUZNETSOV, S.; PAULOS, E. Rise of the Expert Amateur : DIY Projects , Communities , and Cultures. **Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries**, p. 295–304, 2010.

LAGO, N. P.; KON, F. **The Quest for Low Latency \*ICMC**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://gsd.ime.usp.br/software/DistributedAudio/paper-latencia.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2022.

LEBLER, D. Popular music pedagogy: peer learning in practice. **Music Education Research**, v. 10, n. 2, p. 193–213, jun. 2008.

LEE, H. et al. Experiencing immersive virtual reality in museums. **Information and Management**, v. 57, n. 5, 1 jul. 2020.

LEE, K. **Augmented Reality in Education and Training Cite this paper**. [s.l.: s.n.].

LEHMANN, A. C. The acquisition of expertise in music: Efficiency of deliberate practice as a moderating variable in accounting for sub-expert performance. **Perception and cognition of music**, p. 161–187, 1997.

LEVITIN, D. J.; MCADAMS, S.; ADAMS, R. L. Control parameters for musical instruments: A foundation for new mappings of gesture to sound. **Organised Sound**, v. 7, n. 2, p. 171–189, 2002.

LEWIS, J. R.; SAURO, J. **LNCS 5619 - The Factor Structure of the System Usability ScaleLNCS**. [s.l.: s.n.].

LIAROKAPIS, F. **Augmented Reality Scenarios for Guitar Learning**. [s.l: s.n.].

LIU, M. et al. A study of learning and motivation in a new media enriched environment for middle school science. **Educational Technology Research and Development**, v. 59, n. 2, p. 249–265, 2011.

LÖCHTEFELD, M. et al. Using Mobile Projection to Support Guitar Learning 1 Introduction. **Proceedings of the 11th international conference on Smart graphics**, v. 12, p. 103–114, 2011.

LUCASSEN, G.; JANSEN, S. Gamification in Consumer Marketing - Future or Fallacy? **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 148, p. 194–202, ago. 2014.

LÜDEKE-FREUND, F.; GOLD, S.; BOCKEN, N. M. P. **A Review and Typology of Circular Economy Business Model Patterns** *Journal of Industrial Ecology* Blackwell Publishing, , 1 fev. 2019.

LUETH, K. L. **State of the IoT 2020: 12 billion IoT connections, surpassing non-IoT for the first time**. **IoT Analytics - Market Insights for the Internet of Things**.

MACKENZIE, I. S.; WARE, C. Lag as a determinant of human performance in interactive systems. p. 488–493, 1993.

MANTIE, R. Thinking About Music and Technology. In: RUTHMANN, A.;

MANTIE, R. (Eds.). . **The Oxford handbook of technology and music education**. [s.l.] Oxford University Press, 2017.

MARGOLIS, H.; MCCABE, P. P. Improving self-efficacy and motivation: What to do, what to say. **Intervention in School and Clinic**, v. 41, n. 4, p. 218–227, 2006.

MARSHALL, M. **The key informant technique** MN Marshall *Family Practice* © Oxford University Press. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://fampra.oxfordjournals.org/>>.

MARTIN, B.; HANINGTON, B. M. **Universal Methods of Design**. [s.l: s.n.].

MARUO, S. et al. **A FEEDBACK FRAMEWORK FOR IMPROVED CHORD RECOGNITION BASED ON NMF-BASED APPROXIMATE NOTE TRANSCRIPTION**. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing : proceedings. **Anais...**2015.

MASON, R.; RENNIE, F. **e-Learning and Social Networking Handbook**. New York, USA: Routledge, 2008.

MATSUTOMO, S. et al. **Real-time visualization system of magnetic field utilizing augmented reality technology for education**. IEEE Transactions on Magnetics. **Anais...**fev. 2012.

MATTKE, J.; MAIER, C. Gamification: Explaining Brand Loyalty in Mobile Applications. **AIS Transactions on Human-Computer Interaction**, p. 62–81, 31 mar. 2021.

MAUCH, M.; DIXON, S. **CHORD DETECTION USING A DYNAMIC BAYESIAN NETWORK**. MIREX 2010, 2010. Disponível em: <[http://nema.lis.illinois.edu/nema\\_out/](http://nema.lis.illinois.edu/nema_out/)>

MAURYA, A. **Running Lean**. Second ed. Sebastopol: O'Reilly, 2012.

MAYER, R. E.; MORENO, R. Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. **Educational Psychologist**, v. 38, n. 1, p. 43–52, 2003.

MCCLURE, D. **Startup metrics for pirates** [Slideshare.net](http://slideshare.net), 2007.

MCPHERSON, G.; DAVIDSON, J.; EVANS, P. Playing an instrument. In: **The Child as Musician: A handbook of musical development A handbook of musical development**. Second ed. New York, USA: Oxford Press, 2015. p. 401–421.

MCPHERSON, G. E.; MCCORMICK, J. Self-efficacy and music performance. **Psychology of Music**, v. 34, n. 3, p. 322–336, 2006.

MEDEIROS, R. et al. Challenges in Designing New Interfaces for Musical Expression. **Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience**, p. 643–652, 2014.

MIASKIEWICZ, T.; KOZAR, K. A. Personas and user-centered design: How can personas benefit product design processes? **Design Studies**, v. 32, n. 5, p. 417–430, set. 2011.

MICHELI, G. D. E.; GUPTA, R. K. Hardware / Software Co-Design. v. 85, n. 3, p. 349–365, 1997.

MIKROS, N. Using Software Prototypes in Game Design. In: **In Game Design Workshop: Designing, Prototyping, and Playtesting Games**. 3. ed. [s.l.] CRC Press, 2004a.

MIKROS, N. Using Software Prototypes In Game Design. In: **Game Design Workshop—Designing, Prototyping, and Playtesting Games**. [s.l.] CMP Books, 2004b. p. 460.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. Towards a definition of the Internet of Things (IoT). **IEEE IoT Initiative white paper**, n. 1, p. 86, 2015.

MIRANDA, E. R.; WANDERLEY, M. M. **New digital musical instruments: control and interaction beyond the keyboard**. [s.l.: s.n.].

MODEL THINKERS. **Impact Effort Matrix**. Disponível em: <<https://modelthinkers.com/mental-model/impact-effort-matrix>>. Acesso em: 6 mar. 2022.

MODHRIN, S. O. A Framework for the Evaluation of Digital Musical Instruments. **Computer Music Journal**, v. 35, n. 1, p. 28–42, 2011.

MOREIRA, F.; FERREIRA, M. J.; CARDOSO, A. **Higher education disruption through IoT and big data: A conceptual approach**. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). **Anais...**Springer Verlag, 2017.

MÜLLER, M. **Fundamentals of Music Processing: Audio, Analysis, Algorithms, Applications**. [s.l.: s.n.].

MYERS, B. Challenges of HCI design and implementation. **Interactions**, v. 1, n. 1, p. 73–83, 1994.

NART, S. **Music Software in the Technology Integrated Music Education TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.cornerstoneconfessions.com>>.

NEIL, T.; TIDWELL, J. **Mobile design pattern gallery : UI patterns for smartphone apps**. [s.l.: s.n.].

NIELSEN, J. **Usability 101: Introduction to Usability**.

NORMAN, D. Attractive Things Work Better. In: **Why We Love (or Hate) Everyday Things**. New York, USA: Basic Books, 2004. p. 17–33.

NORMAN, D. A.; DRAPER, S. W. **User centered system design: New perspectives on human-computer interaction**. 1. ed. [s.l.] CRC Press, 1986.

O'MODHRIN, S.; CHAFE, C. INCORPORATING HAPTIC FEEDBACK INTO INTERFACES FOR MUSIC APPLICATIONS. **Proceedings of the International Symposium on Robotics with Applications, World Automation Conference**, p. 7, 2000.

OORE, S. Learning Advanced Skills on New Instruments. **NIME '05 Proceedings of the 2005 conference on New interfaces for musical expression**, v. c, p. 60–64, 2005.

PAINE, G. New Musical Instrument Design Considerations. **MultiMedia, IEEE**, p. 76–84, 2013.

PALMER, C.; MEYER, R. K. Conceptual and motor learning in music performance. **Psychological Science**, v. 11, n. 1, p. 63–68, 2000.

PEI, X. L. et al. **Internet of things based education: Definition, benefits, and challenges**. Applied Mechanics and Materials. **Anais...**2013.

PINTO, H. **Iniciação ao Violão, Vol. I(1)**. São Paulo, Brasil: Ricordi Brasileira, 1978.

PREECE, J. et al. **Human-Computer Interaction: Concepts And Design Hardcover**. [s.l.] England: Pearson, 1994.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Interaction design: beyond human-computer interaction**. New York, USA: [s.n.].

RASCH, R. A. Synchronization in performed ensemble music. **Acustica**, v. 43, p. 121–131, 1979.

RAYMAEKERS, L.; VERMEULEN, J. Game of tones: learning to play songs on a piano using projected instructions and games. **CHI'14 Extended ...**, p. 411–414, 2014.

REESE, S.; RIMINGTON, J. **Music TECHNOLOGY IN ILLINOIS PUBLIC SCHOOLS**. [s.l: s.n.].

RICHTER, F. **Music Streaming Accounts for 75% of U.S. Music Revenues**. Disponível em: <<https://www.statista.com/chart/8836/streaming-proportion-of-us-music-revenue/>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

RITCHEY, T. **General Morphological Analysis \* A general method for non-quantified modelling**. [s.l: s.n.].

ROGERS, K. et al. P.I.A.N.O.: Faster Piano Learning with Interactive Projection - Universität Ulm. 2014.

ROVAN, J. B. et al. **Instrumental Gestural Mapping Strategies as Expressivity Determinants in Computer Music Performance**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ucs.mun.ca/>>.

RYAN, R. M.; DECI, E. L. **Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being Self-Determination Theory**. [s.l.] Ryan, 1985.

RYAN, R. M.; DECI, E. L. Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. **American Psychologist**, v. 55, n. 1, p. 68–78, 2000.

SAFFER, D. **Designing Gestural Interfaces**. [s.l: s.n.]. v. 1

SANTOS, M. E. C. et al. Augmented reality learning experiences: Survey of prototype design and evaluation. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 7, n. 1, p. 38–56, 2014.

SCHOLZ, R. **DIMINUINDO A BARREIRA DE ENTRADA EM USABILIDADE PARA EXPERIMENTAÇÃO DE POÉTICAS INTERATIVAS NA DANÇA**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

SEABORN, K.; FELLS, D. I. Gamification in theory and action: A survey. **International Journal of Human Computer Studies**, v. 74, p. 14–31, 2015.

SEAMAN, JEFF TINTI-KANE, H. Social Media for Teaching and Learning. **Pearson**, n. October, p. 1–32, 2013.

SHEPARD, B. K. **Refining Sound: A Practical Guide to Synthesis and Synthesizers**. [s.l.] Oxford University Press, 2013.

SIGRIST, R. et al. Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. **Psychonomic Bulletin and Review**, v. 20, n. 1, p. 21–53, 2013.

SIMILARWEB. **cifraclub.com.br**. Disponível em: <<https://www.similarweb.com/website/cifraclub.com.br>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SMITH, R. L. Chapter Sensors. In: **The Electrical Engineering Handbook**. [s.l.] CRC Press, 1993. p. 1304–1313.

SOUSA, J. P. **The Menace of Mechanical Music**. [s.l.: s.n.].

SPOTIFY. **Company Info**. Disponível em: <<https://newsroom.spotify.com/company-info/>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

STEWART, L.; WALSH, V.; FRITH, U. Reading music modifies spatial mapping in pianists. **Perception and Psychophysics**, v. 66, n. 2, p. 183–195, 2004.

STOWELL, D. et al. Evaluation of live human-computer music-making: Quantitative and qualitative approaches. **International Journal of Human Computer Studies**, v. 67, n. 11, p. 960–975, 2009.

TAGUE, N. **The Quality Toolbox**. Second Edition. Milwaukee, USA: ASQ Quality Press, 2005.

TEICH, J. Hardware / Software Codesign : The Past , the Present , and Predicting the Future. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, p. 1–20, 2012.

TRACTINSKY, N. Aesthetics and Apparent Usability: Empirically Assessing Cultural and Methodological Issues. **Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**, p. 115–122, 1997.

TURCHET, L.; FISCHIONE, C.; BARTHET, M. Towards the Internet of Musical Things. p. 13–20, 2017.

ULWICK, A. ULWICK, Anthony. What customers want. New York, NY McGraw-Hill Professional Publishing, 2005. 2005.

VAN DER LUGT, R. **Brainsketching and How it Differs from Brainstorming**. [s.l: s.n.].

WAGNER, C. **Digital Gamification in Private Music Education**. [s.l: s.n.].

WALDRON, J. Exploring a virtual music community of practice: Informal music learning on the Internet. **Journal of Music, Technology and Education**, v. 2, n. 2, p. 97–112, 5 jul. 2009.

WALLIS, I. et al. Music and Human-Computer Interaction. p. 49–66, 2013.

WANDERLEY, M. M.; ORIO, N. Evaluation of Input Devices for Musical Expression: Borrowing Tools from HCI. **Computer Music Journal**, v. 26, n. 3, p. 62–76, 2002a.

WANDERLEY, M. M.; ORIO, N. Evaluation of Input Devices for Musical Expression: Borrowing Tools from HCI. **Computer Music Journal**, v. 26, n. 3, p. 62–76, 2002b.

WESSEL, D.; WRIGHT, M. Problems and Prospects for Intimate Musical Control of Computers. **Computer Music Journal**, v. 26, n. 3, p. 11–22, 2002.

WU, H.-H.; BELLO, J. P. **AUDIO-BASED MUSIC VISUALIZATION FOR MUSIC STRUCTURE ANALYSIS**. [s.l: s.n.].

YANG, L. et al. System-level design solutions: Enabling the IoT explosion. **Proceedings - 2015 IEEE 11th International Conference on ASIC, ASICON 2015**, 2015.

ZIMMERMAN, J.; FORLIZZI, J.; EVENSON, S. Research through design as a method for interaction design research in HCI. p. 493, 2007.

ZWICKY, F. **INVENTION, RESEARCH AND CONSTRUCTION**. [s.l: s.n.].

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SEMIESTRUTURADO COM POTENCIAIS USUÁRIOS

1. Nome
2. Idade
3. Já sabe tocar violão?
4. **Se sim,**
  - a. Como foi sua experiência de aprendizado com esse instrumento?
    - i. O que você gostou?
    - ii. O que você não gostou?
    - iii. Já está satisfeito com seu nível?
      1. Como você acha que você pode melhorar?
  - b. Como você faz para aprender uma música nova?
  - c. Atualmente, em quais situações você costuma tocar?
  - d. Quais situações você gostaria de tocar, mas não consegue/ não costuma?
    - i. Por que?
5. **Se não,**
  - a. Você já teve vontade de aprender a tocar violão?
    - i. O que te levou a querer aprender?
    - ii. Fala um pouco sobre o que te impediu de aprender?
    - iii. O que você acha que facilitaria o seu aprendizado?
  - b. Você já tentou aprender a tocar violão?
    - i. O que você utilizou?
    - ii. O que te fez desistir?
    - iii. O que poderia ter ajudado a não desistir?
6. O que você acha que faltou para você APRENDER/MELHORAR?
7. **Se sim,** você conhece algum aplicativo, site, ferramenta que acha que pode lhe ajudar?
  - a. Quais?
  - b. Por que você acha que essas ferramentas podem ajudar?
  - c. O que você acha que falta?
8. Você já fez ou faria algum investimento para aprender a tocar?
  - a. O que você fez?
  - b. Que tipo de investimento?
  - c. Caso não, por que não?
9. Como você acha que as pessoas vão aprender a tocar violão daqui a 15 anos?
10. Alguma coisa a acrescentar?

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE IMPORTÂNCIA E SATISFAÇÃO PARA JOBS-TO-BE-DONE

Aqui são apresentadas as perguntas disponíveis no formulário utilizado no ciclo de observação da importância e satisfação de cada aspecto levantado durante a realização das entrevistas e identificação dos *Jobs-to-be-Done*.

Para cada um dos 10 tópicos a seguir, uma pergunta subsequente era feita da seguinte maneira:

- Em relação à pergunta anterior, o quão satisfeito(a) você está com as soluções atuais?

Esta pergunta também seguia o mesmo tipo de resposta de escolha entre 1 e 10, totalizando um conjunto de 20 perguntas.

Tópicos:

1. Para você, o quão importante é ver a posição dos dedos (desenhos das cifras) enquanto você está tocando?
2. O quanto para você é importante que as cifras não contenham erros?
3. Para você, o quão importante é achar cifras compatíveis com o seu nível?
4. O quanto, para você, é importante encontrar as músicas que você está querendo aprender?
5. O quanto você acha importante aprender a tocar tendo o acompanhamento da música ao fundo?
6. Para você, o quão importante é mostrar sua evolução e receber dicas e feedback de outras pessoas?
7. O quanto é importante para você tocar uma música completa logo no início do aprendizado?
8. Para você, o quão importante é melhorar sua técnica em habilidades específicas (ex.: escalas, solos, harmonização, etc.)?
9. Para você, o quão importante é que a cifra seja legível e tenha formatação adequada aos dispositivos móveis?
10. Para você, o quão importante é poder utilizar o celular para tocar violão?