

# Relatório Técnico

## LaserHarpists: Harpa eletrônica com sons reproduzidos por dispositivo móvel

Diogo G. G. de Freitas – dggf.93@gmail.com  
José G. Augustinho – jgaugustinho@outlook.com  
Rinaldi Segecin – rinaldi@alunos.utfpr.edu.br

Novembro de 2015

### Resumo

Este relatório técnico descreve os passos utilizados para a construção de uma harpa eletrônica baseada em lasers, cujo som é reproduzido por um dispositivo móvel com sistema operacional Android. O instrumento musical eletrônico faz uso do microcontrolador (*MCU*) Tiva C Launchpad, o qual, juntamente com sensores de luminosidade e distância, detectam qual feixe luminoso foi interceptado pelo usuário e qual a altura este evento ocorre. A aplicação móvel desenvolvida é capaz de configurar a harpa em dois modos de operação: *Free Style* (Tocar Livremente) e *Learn to Play* (Aprenda a Tocar). No primeiro, o usuário interage com o instrumento livremente, podendo configura-lo entre 6 módulos musicais distintos que alteram a forma como cada som é reproduzido. O segundo modo de operação possui como objetivo ensinar o usuário a tocar canções previamente gravadas no primeiro modo, utilizando de indicadores luminosos para sinalizar o instante que um dado feixe de laser deve ser interceptado.

## 1 Introdução

Datado no final do século 19, o surgimento da música eletrônica transformou a forma como as melodias eram criadas até então. O princípio de funcionamento dos instrumentos acústicos (cordas, tubos ressonantes e superfícies vibratórias) foram substituídos por todo tipo de componente que apresentassem propriedades relevantes quando presentes fenômenos elétricos ou magnéticos [Crab, 2015]. A construção de novos instrumentos musicais virou tendência com o surgimento da eletrônica, e tornou-se ainda mais comum com a difusão da eletrônica digital.

O surgimento da eletrônica digital, proporcionou aos instrumentos musicais elétricos uma vasta gama de novas possibilidades, acarretando na sua popularização e difusão no meio musical. Um destes, em especial, foi construído

nos moldes de uma harpa acústica, com exceção de suas cordas. Estas deram espaço à feixes de lasers, os quais, quando interceptados, produziam um som característico. Futuramente, esse instrumento seria nomeado como sendo uma harpa laser.

A harpa eletrônica foi popularizada pelo músico francês Jean Michel Jarre, que a tem utilizado em seus shows desde 1981 [fan-club Jean Michel Jarre, 2015]. Com a recente expansão do uso de microcontroladores neste tipo de aplicação nos últimos 10 anos, uma série de hobbystas e estudantes da área de eletrônica se propuseram a reproduzir a harpa eletrônica em seus projetos pessoais ou acadêmicos.

Sendo assim, o presente trabalho propõe a construção de uma harpa eletrônica operando de maneira conjunta à uma aplicação construída sobre o sistema operacional Android. Dessa forma, todos serão reproduzidos por um dispositivo móvel, que além desta principal aplicabilidade, também possibilita ao usuário escolher entre dois modos de operação distintos da harpa. São eles: *Free Style* (Tocar Livremente) e *Learn to Play* (Aprenda a Tocar).

Independentemente do modo de operação, o sistema embarcado da harpa deve ser capaz de detectar quais feixes foram interceptados pelo usuário e em qual altura ocorreu. De posse dessas informações, deve enviá-las via Bluetooth ao dispositivo móvel associado, para que este possa reproduzir o som correspondente. Uma visão geral do projeto pode ser observada na Figura 1.

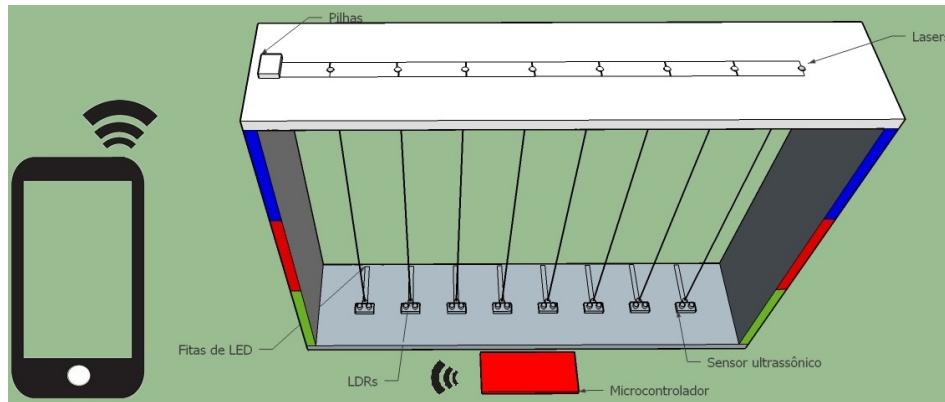


Figura 1: Visão geral da harpa eletrônica proposta.

Os requisitos levantados pela equipe, incluem que cada uma das oito cordas digitais podem ser interceptadas em três seções diferentes, cada qual reproduzindo uma única nota musical. Desse modo, é possível reproduzir um total de 24 notas musicais - duas oitavas completas de 12 notas cada. À frente de cada laser, ainda, há uma fita de LEDs RGB (*Red Green Blue*), cujo acionamento é particularizado pelo modo de operação da harpa. Em ambos os casos, os LEDs representam uma cor para cada altura interceptada. Contudo, no modo *Free Style*, estes servem apenas como *feedback* visual para o usuário, sendo ativados

**após** a interceptação. Já no modo *Learn to Play* as fitas tem como ofício sinalizar o momento exato em que se deve interceptar um dado feixe, portanto são ativas **antes** da interceptação.

A seção 2 apresentará os detalhes de implementação da harpa, enquanto que os resultados são discutidos na seção 3. O relatório termina na seção 4 onde é descrito um apanhado geral do que foi aprendido no projeto.

## 2 Desenvolvimento

Esta seção descreve os métodos, materiais, técnicas e ferramentas utilizadas para a implementação do projeto. A seção 2.1 descreve o microcontrolador utilizado no projeto e suas características, enquanto as seções 2.2 e 2.3 apresentam os circuitos e módulos de sensoriamento da harpa eletrônica. Já a seção 2.4 discute a integração das fitas de LED's no projeto e contextualiza seu uso na harpa. Por sua vez, os métodos e protocolo de comunicação são descritos na seção 2.5, enquanto a implementação do firmware é discutida na seção 2.6. Finalmente, os detalhes de implementação do aplicativo estão presentes na seção 2.7.

## 2.1 O sistema embarcado

O sistema embarcado da harpa eletrônica consiste na placa Tiva C Launchpad TM4C123GH6PM da Texas Instruments. Esta placa é baseada na arquitetura ARM Cortex-M4F, de 32-bits [Instruments, 2013]. Vale ressaltar que o instrumento musical deve, obrigatoriamente, manter conexão com uma estação-base; no caso, um dispositivo móvel executando a aplicação Android desenvolvida. A Figura 2 ilustra a placa Tiva C Launchpad, que disponibiliza trinta e cinco pinos para uso do usuário, os quais podem ser usados como entrada e saída de dados (fazendo uso de lógica digital ou analógica), interfaces para comunicação serial, entre outras.

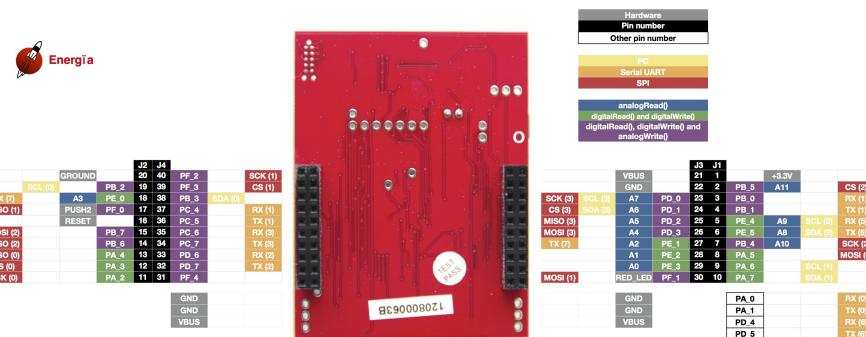


Figura 2: Tiva C Launchpad da Texas Instruments e seus pinos de entrada e saída correspondentes às várias funções do microcontrolador. Adaptado de [Vilo, 2015].

## 2.2 Detecção de interceptação no feixe de laser

O primeiro desafio para tornar possível a construção da harpa, foi encontrar um método eficiente para constatar a interceptação de um ou mais feixes de laser, os quais simulariam uma corda real no instrumento original. Para tal, um circuito foi concebido com a intenção de quantificar a luz emitida por cada laser, a partir de um fotoresistor (LDR). Desta forma, a estrutura física da harpa foi projetada de forma que cada laser projetasse seu feixe luminoso diretamente sobre a superfície de seu respectivo LDR. Enquanto não houver a interceptação, a luz emitida sobre o LDR é muito alta, diminuindo a resistência do mesmo. Por outro lado, quando o feixe é interceptado, a resistência do LDR aumenta, pois este está sujeito apenas à luminosidade do ambiente. Um circuito com uma fonte de tensão, um LDR e um resistor *pull-down* é capaz de fornecer um sinal analógico com um valor de tensão indicando se houver interceptação ou não.

Todavia, uma vez que cada corda da harpa possui apenas dois estados possíveis (indicando se foi ou não interceptada), o uso de um sinal digital torna sua leitura mais simples e precisa. Uma desvantagem, associada ao uso de um sinal analógico, reside na eminentemente necessidade de utilizar os pinos analógicos do microcontrolador e, consequentemente, dos conversores analógico/digital presentes na placa (*onboard*). Logo, os tempos utilizados em cada conversão poderiam gerar atrasos indesejados na leitura desses sensores.

Para discretizar a leitura dos LDR's, anexou-se o circuito mencionado anteriormente (composto pelo LDR, resistor de *pull-down* e fonte de tensão) à entrada de um comparador de tensão, para comparar este sinal com uma tensão limiar, indicando se o sinal analógico indica uma interceptação ou não [Medeiros and Wanderley, 2014]. Esta tensão limiar deve ser ajustável, pois a resistência associada aos LDR's pode variar de acordo com a luminosidade do ambiente. Para tanto, utilizou-se um resistor variável (potenciômetro) como um divisor de tensão para tornar possível este tipo de calibração. Portanto, a calibração deve ser sempre efetuada antes de se utilizar a harpa pela primeira vez. O circuito final deste sensor pode ser visto na Figura 3.

## 2.3 Medição da altura de interceptação no feixe de laser

Um dos requisitos do projeto prevê que a harpa deve ser capaz de detectar a altura da interceptação em cada feixe de laser. Existem inúmeros sensores de distância disponíveis no mercado, baseados em ultrassom, infra-vermelho, entre outros tipos. Como este projeto tem limitações orçamentárias e de prazo, optou-se pelo uso do sensor HC-SR04, um sensor de distância baseado em ultrassom e amplamente utilizado em projetos de sistemas embarcados na plataforma Arduino. A escolha por ele também consiste no fato deste ser de fácil obtenção por fornecedores nacionais, ter baixo custo e possuir muitas referências disponíveis para a pesquisa do seu funcionamento. A Figura 4 representa o sensor de distância utilizado.

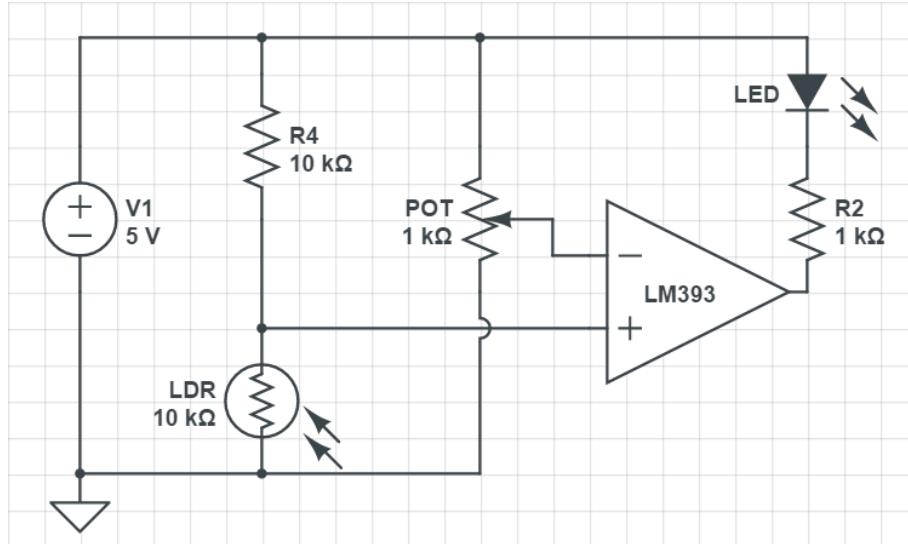


Figura 3: Circuito de detecção de interceptações no feixe de laser.



Figura 4: Sensor de distância ultrassônico HC-SR04.

Este sensor possui quatro pinos, dois referentes a alimentação (*Vcc* e *GND*) e mais dois pinos de dados, sendo um de entrada (*Trig*) e outro de saída (*Echo*), ambos conectados respectivamente em pinos de saída e entrada digital do microcontrolador. Para iniciar uma medição, é necessário enviar ao pino *Trig* um pulso digital em nível alto de duração igual ou superior à 10 microsegundos. A eletrônica deste sensor, então, se responsabiliza em responder no pino *Echo* outro pulso digital em nível alto, de forma que a duração desse seja a mesma quantidade de tempo que o som levou para sair do transmissor do sensor e voltar ao receptor. De posse desse valor é possível calcular a distância do anteparo até o sensor, desde que se saiba a velocidade do som no ar (aproximadamente 343 m/s à temperatura de 20° Celsius) [ElecFreaks, 2015]. O processo de medição descrito é ilustrado pela Figura 5.

O diagrama de tempos para aquisição de medidas pelo sensor HC-SR04 está representado na Figura 6.

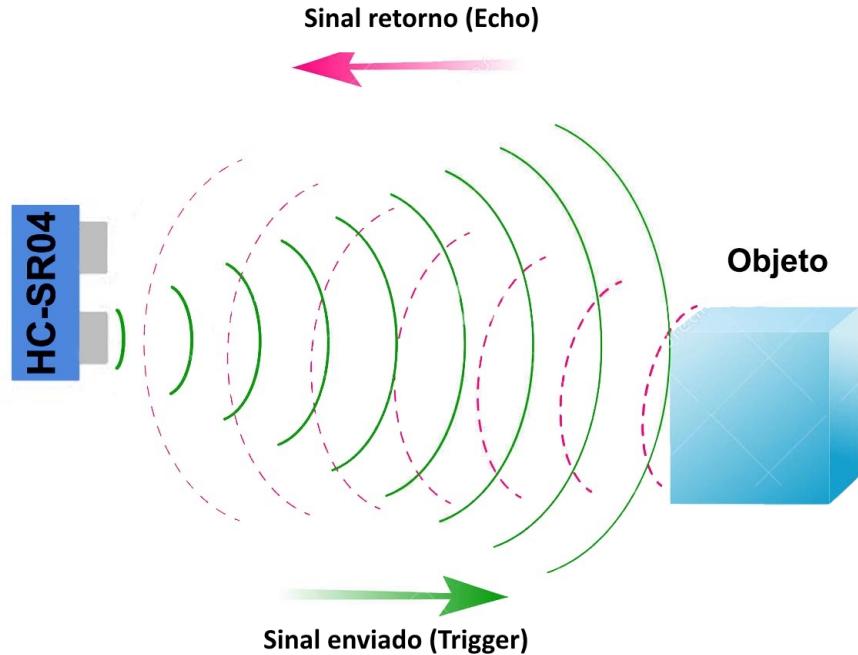


Figura 5: Visão geral da operação do HC-SR04. Fonte: [FilipeFlop, 2015]

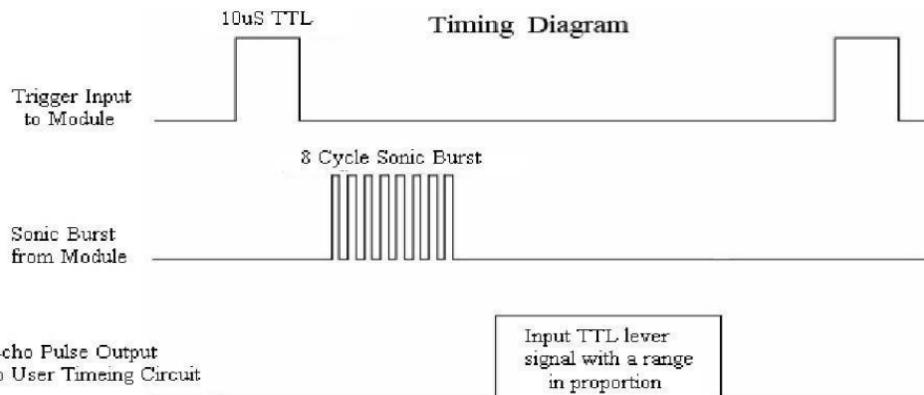


Figura 6: Diagrama de tempo dos sinais do HC-SR04. Fonte: [ElecFreaks, 2015]

## 2.4 Feedback visual com LEDs

Cada nota tocada na harpa laser aciona LEDs RGB, de acordo com a seção do feixe de laser que foi interceptada. Então, cada seção do feixe recebeu uma cor correspondente, sendo a seção mais baixa da cor verde, a seção mais alta em azul e vermelho na seção intermediária. Para concretizar tal tarefa, faz-se uso de fitas de LED RGB (indicadas na Figura 7 ), as quais possuem um pino para a

alimentação e outros três pinos (R, G e B) para o controle de qual cor será acionada. Porém, como as saídas digitais do microcontrolador em questão operam na tensão máxima de 3,3 volts, não é possível controlar as fitas de LED diretamente, uma vez que estas operam na tensão de alimentação de 12 volts. Este problema foi contornado com a adição do circuito integrado ULN2003 que é amplamente utilizado como *driver* de acionamento de lâmpadas de alta tensão [Instruments, 2015b].



Figura 7: Fita de LEDs utilizada no projeto.

Outro problema teve a ver com a falta de pinos disponíveis no microcontrolador. O Tiva C Launchpad tem trinta e cinco pinos de entrada e saída, o que não é suficiente para este projeto. Uma conta rápida mostra que apenas para o controle das fitas de LED seriam necessários vinte e quatro pinos de saída, isso sem contar os demais pinos utilizados no sensoriamento. A solução encontrada foi o uso de registradores de deslocamento do circuito integrado 74HC595, que realiza o processo de conversão serial/paralelo [Instruments, 2015a]. Assim, pode-se controlar a cor acesa em cada fita de LEDs sem o desperdício de pinos no microcontrolador.

Alternativamente, além de prover *feedback* visual para o usuário, as fitas de LEDs também são utilizadas para indicar ao usuário qual nota deve ser tocada no modo *Learn to Play* do aplicativo. Ao invés de ser responsiva ao toque do usuário, neste modo, o usuário deverá ser responsável ao acionamento dos LEDs, interceptando o feixe correto na altura correspondente a cor acesa na fita. Mais informações sobre este modo de operação e sobre a aplicação da fita de LEDs são fornecidos na seção 2.7.

## 2.5 Comunicação sem fio

A comunicação entre a harpa laser e o *smartphone* se dá através da tecnologia Bluetooth. A aplicação desenvolvida em *smartphones* Android facilita a implementação deste tipo de comunicação sem fio, largamente utilizada entre tais dispositivos móveis. Para utilizar esta tecnologia, o sistema embarcado da harpa eletrônica possui um módulo de comunicação Bluetooth. O módulo escolhido foi o JY-MCU (ilustrado pela Figura 8), de baixo custo, com muitas referências de seu funcionamento e com a tensão de operação igual a do microcontrolador, dispensando o uso de um circuito do tipo *level shifter*. Para que esta módulo funcione, basta conectá-lo a uma tensão de alimentação e os pinos de transmissão (*Tx*) e recepção (*Rx*) de dados. Estes dois últimos devem ser conectados de forma cruzada entre o módulo Bluetooth e o microcontrolador, de forma que o

*Tx* do módulo deve ser ligado ao *Rx* do microcontrolador e vice-versa.



Figura 8: Módulo Bluetooth JY-MCU.

O envio de pacotes ocorre como numa comunicação serial, para a qual foi criado um protocolo para a transmissão de dados entre os dispositivos. Este protocolo contém basicamente uma letra que identifica a corda da harpa (de A a H), mais um caractere que para dizer que se está entrando (i) ou saindo (o) da interceptação, e a distância da interceptação. Por exemplo, se o feixe correspondente a corda A for interceptado, na altura de 10 cm, a mensagem enviada ao *smartphone* será "Ai10" ao interceptar e "Ao10" ao deixar de interceptar. Caso seja a corda D, na altura 52, as mensagens serão "Di52" e "Do52". A mensagem em questão sempre será enviada na forma de *string*, tendo seu tamanho limitado a apenas 4 bytes, pois apenas contém 4 caracteres. Assim, este protocolo se mostra simples o bastante para não criar gargalos na transmissão de dados pelo Bluetooth evitando atrasos indesejados na transmissão.

## 2.6 O firmware

O firmware foi desenvolvido através do ambiente de desenvolvimento integrado Energia IDE da *Texas Instruments*, um projeto *open-source* baseado na plataforma eletrônica Arduino<sup>1</sup> e no *framework* Wiring<sup>2</sup>. Daí a opção da equipe por este ambiente: a quantidade de projetos já existentes envolvendo a plataforma Arduino é extremamente vasta, e o *framework* Wiring (escrito sobre a linguagem C++) possibilita um controle prático e eficiente dos recursos fornecidos pelo microcontrolador. As aplicações construídas sobre o *framework* devem, obrigatoriamente, conter duas funções principais (não excluindo a possibilidade do uso ou declaração de outras adicionais). São elas:

- *setup()* – chamada apenas uma única vez (no momento em que o firmware é iniciado), define algumas propriedades importantes do microcontrolador, como o modo (entrada ou saída) dos pinos que se faz uso, e outras próprias do ambiente de desenvolvimento.
- *loop()* – é executada de maneira contínua, ou seja, uma vez que as instruções nela contidas se encer, esta função é reiniciada.

<sup>1</sup>Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 17 de novembro de 2015

<sup>2</sup>Disponível em: <<http://wiring.org.co/>>. Acesso em: 17 de novembro de 2015

O firmware desenvolvido pela equipe configura o microcontrolador para comunicar-se (envio e recebimento de dados) com o dispositivo móvel utilizado pelo usuário, respeitando os dois modos de operação da aplicação construída sobre o sistema operacional Android: *Free Style* e *Learn to Play*.

A primeira função do programa, *setup()*, fica responsável por inicializar todos os pinos utilizados no microcontrolador, a interface serial conectada ao comunicador Bluetooth, as fitas de LED's (todas as luzes são apagadas) e finalmente são configuradas as interrupções do programa. Elas ocorrem sempre que um feixe de laser ("corda digital") da harpa é interceptado – a verificação é feita por meio dos LDR's que se encontram precisamente posicionados abaixo de cada laser (conforme descrito anteriormente na seção 2.1). A rotina de tratamento de interrupção fica responsável por obter a distância fornecida pelo sensor, acionar a fita de LED's com a cor referente à altura interceptada<sup>3</sup> e enviar esses dados à aplicação Android.

Já a função *loop()* possui duas atribuições. A primeira consiste em verificar continuamente se a aplicação Android deseja enviar algum tipo de informação à harpa, a qual pode ser útil para estabelecer a conexão inicial entre os dispositivos e configurar seu modo de operação. Caso este seja o *Learn to Play*, a função *loop()* também fica responsável por obter as notas que devem ser tocadas. Sua segunda atribuição, refere-se diretamente aos sensores ultrassônicos, obtendo-se continuamente as distâncias e realizando uma análise estatística das medidas, para obter o valor mais próximo à altura interceptada.

## 2.7 O aplicativo

O aplicativo do smartphone foi criado na plataforma de desenvolvimento oferecido pelo *Android SDK* [Google, 2015a]. No aplicativo há dois modos de operação:

1. *Free Style* - permite ao usuário tocar livremente a harpa, podendo escolher entre 6 módulos sonoros distintos e salvar a canção produzida para reprodução futura. Os módulos são: violão, piano elétrico, percussão, *synth pluck* (uma espécie de som futurista), trombone e violino.
2. *Learn to Play* - possibilita ao usuário aprender a tocar uma das canções disponíveis no acervo do aplicativo, sinalizando individualmente qual nota deve ser tocada através das fitas de LEDs. Durante a canção, uma pontuação é exibida, indicando também o número de erros.

A Figura 9 (a) ilustra a tela inicial da aplicação. Antes de entrar em qualquer modo, o aplicativo solicita a conexão com o Bluetooth, que faz o pareamento (reconhecimento) da harpa como mostra a Figura 9 (b). Para não haver quebra

---

<sup>3</sup>Caso o modo de operação da harpa esteja configurado como *Learn to Play*, as fitas de LEDs não são acionadas na rotina de tratamento de interrupção, mas na própria função *loop()*.

com a conexão Bluetooth entre as *activities* do aplicativo foi criado um serviço [Google, 2015c], que mantém a comunicação com a harpa por todo o aplicativo. Deste modo o aplicativo continua seu funcionamento mesmo que a tela do usuário desligue automaticamente ou minimize a aplicação.

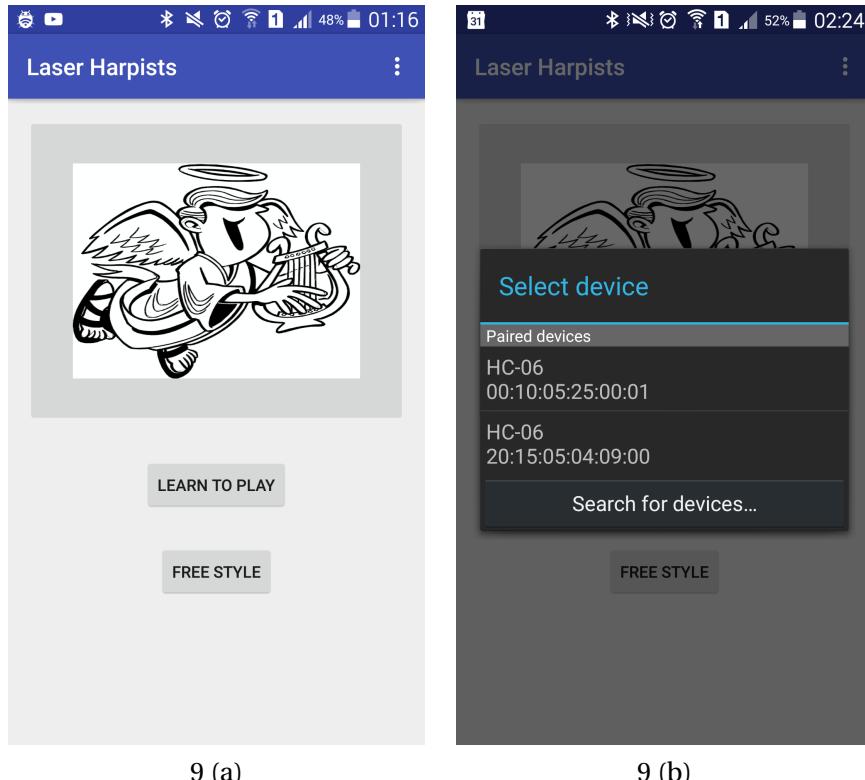


Figura 9: 9 (a) Janela de entrada do aplicativo e 9 (b) Janela de pareamento com módulo Bluetooth.

A execução da comunicação Bluetooth do aplicativo ocorre em uma *thread* separada da *User Interface*, para mantê-la rodando sem “travamentos” na tela para o usuário.

A aplicação Android faz uso da biblioteca *MediaPlayer* para reproduzir os sons, que por sua vez estão armazenados nos formatos *.MIDI (Musical Instrument Digital Interface)* e *.mp3 (MPEG-1/2 Audio Layer 3)*. Uma vez que essa biblioteca não é capaz de sintetizar os arquivos de áudio, apenas reproduzilos [Google, 2015b], o processo de gravação de uma música criada pelo usuário ocorre por meio do armazenamento de cada nota e do instante em que é tocada, ou seja, não é gerado um novo arquivo de áudio. Portanto, para reproduzir o que a pessoa tocou, com auxílio de um *timer* disparado em cada milissegundo, verifica-se a diferença da hora tocada com o momento de sua execução. Se forem os mesmos, então, a nota é reproduzida. Para isso o banco de dados utilizado foi o *SQLite* [Google, 2015d][SQLite, 2015].

A aprendizagem ocorre de maneira similar ao método apresentado para reproduzir uma canção previamente gravada, exceto que a reprodução individual das notas ocorre apenas se o usuário acertar. O *score* começa com o montante de notas dentro da música, conforme o usuário erra é deduzido do score e no final ele tem a porcentagem de acertos.

Nos dois modos a harpa reage acendendo os LEDs dispostos na frente de cada corda. No modo *Learn to Play* eles servem para indicar a nota e a altura que o usuário deve interceptar um feixe luminoso na harpa, sendo que a altura é indicada pela cor da respectiva fita de LED.

O aplicativo é um projeto aberto e disponível em <https://github.com/rsegecin/LaserHarpists> [Segecin, 2015]. A Figura 10 (a) ilustra a tela do modo *Free Style* e a 10 (b) ilustra a do modo *Learn to Play*.

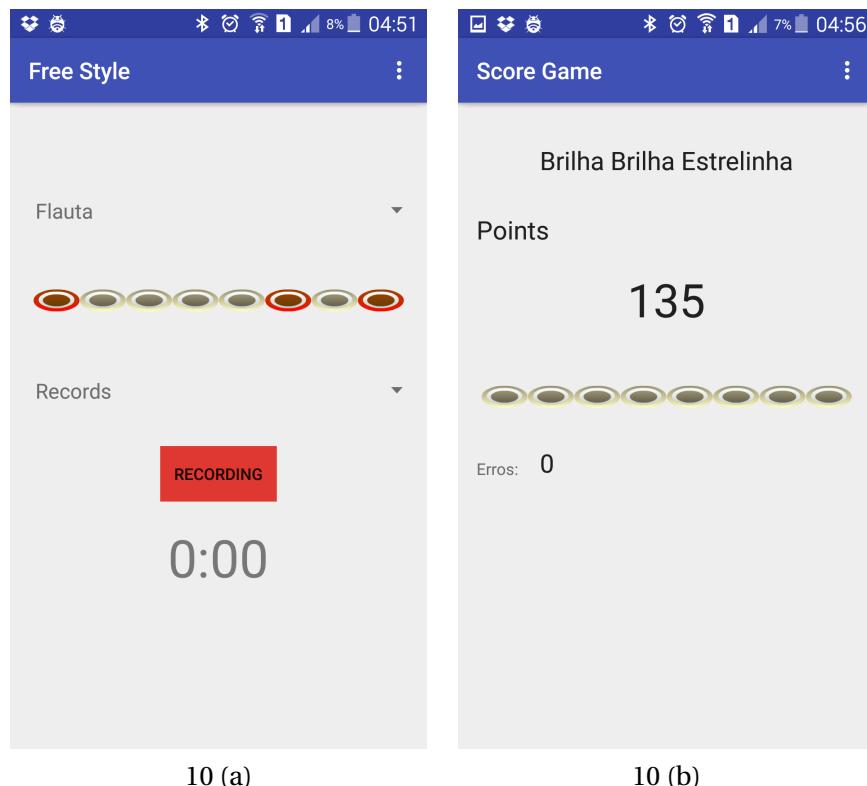


Figura 10: 10 (a) Janela do modo *Free Style* da aplicação Android desenvolvida e 10 (b) Janela do modo *Learn to Play*.

### 3 Resultados

Iniciando pela estrutura física da harpa eletrônica, suas dimensões finais foram de 20 centímetros de largura por 70 centímetros de altura e por 100 centímetros de comprimento. A estrutura foi feita inteiramente de madeira do tipo MDF

(Medium-density fibreboard). Os lasers foram posicionados na parte superior de sua estrutura, permanecendo embutidos na madeira, de forma que não fosse possível movê-los (era necessário que permanecessem precisamente posicionados em cima dos respectivos LDR's). A alimentação dos módulos lasers é separada do microcontrolador. Para alimentar os módulos são utilizadas 4 pilhas AA recarregáveis (totalizando cerca de 5V). Já o microcontrolador foi energizado pela interface USB de um computador convencional. A Figura 11 exibe a vista frontal da harpa.

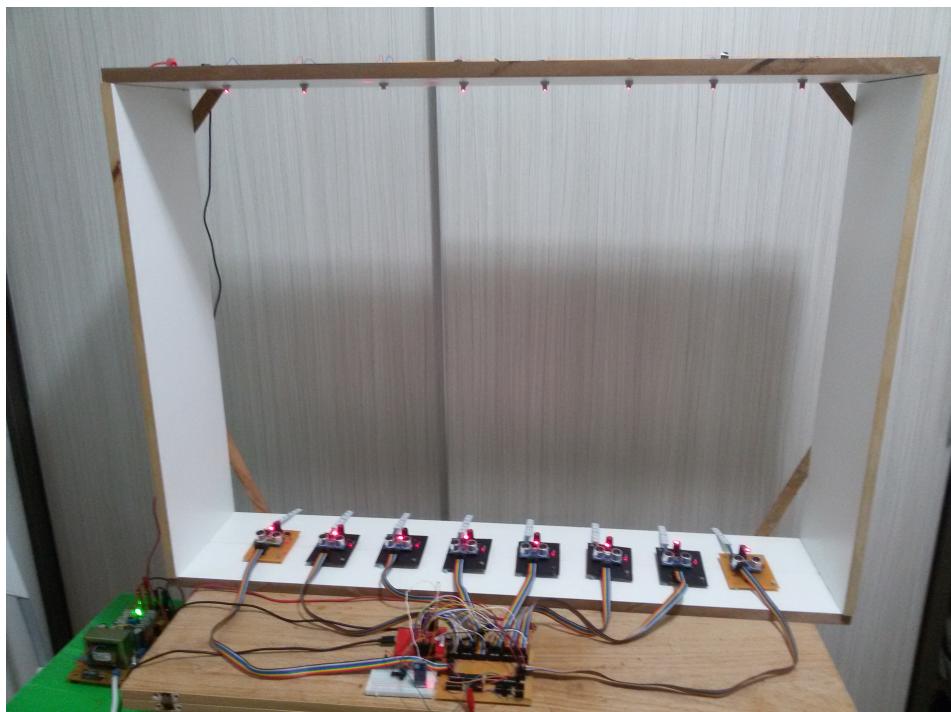


Figura 11: A vista frontal da harpa desenvolvida.

Os módulos desenvolvidos ocupam oito placas de circuito impresso, uma para cada módulo laser. Estas, foram fixadas na extremidade inferior da harpa. Ligeiramente a frente das placas (e também conectadas à elas) estavam as respectivas fitas de LEDs (Figura 12). Na lateral da harpa foi posicionada uma placa padrão perfurada, a qual abrigava os circuitos integrados utilizados e demais componentes e fazia conexão com o microcontrolador.

A fim de obter melhores resultados nas medições, os sensores de distância ultrassônicos foram posicionados logo abaixo de seu respectivo LDR. Desta forma, como o sistema só detecta uma interceptação se o feixe incidido sobre o LDR desaparecer, o usuário terá a sua mão necessariamente acima do sensor de distância, possibilitando uma melhor leitura.

Outro fator observado foram que os sensores de distância também apre-

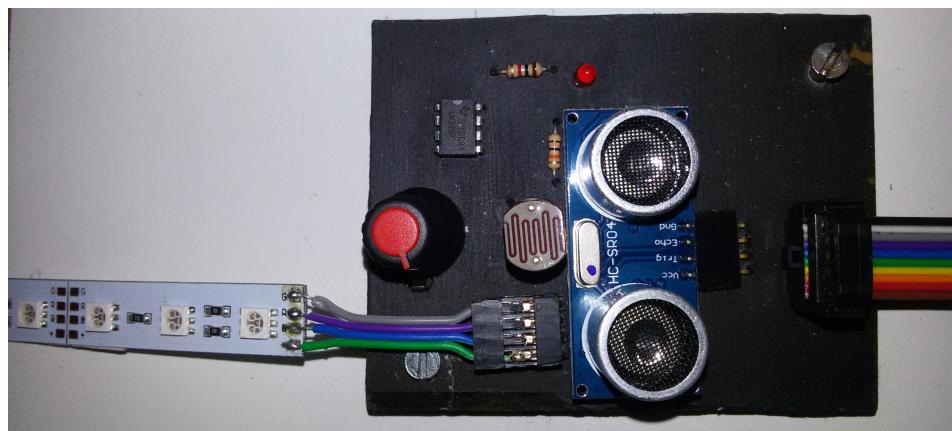


Figura 12: O módulo sensorial completo.

sentaram certa imprecisão em suas medições. O som emitido pelo transmissor pode, por exemplo, ser interrompido por um anteparo que não esteja perfeitamente plano, como a mão do usuário. Desta forma o som pode refletir em uma direção e sentido que não sejam a do receptor demorando mais do que o tempo previsto para retornar ao sensor.

## 4 Conclusão

A proposta de construção da harpa eletrônica surgiu do interesse, por parte da equipe, de integrar dispositivos eletrônicos com música. Apesar de já ser possível encontrar alguns modelos desse instrumento sendo comercializados, seu uso ainda não é completamente difundido no espaço da música eletrônica, dado seu alto custo e complexidade de construção. Um motivo que dificulta sua utilização, consiste na visibilidade dos feixes de luzes emitidos. Estes só podem ser vistos a olho nu em condições especiais, como em meios esfumaçados. Fora dessas condições, utilizam-se lasers de alta potência, que além de possuírem um valor de aquisição mais elevado podem acarretar riscos à saúde (danos à visão se incididos diretamente e queimaduras na pele). Portanto, para tornar as "cordas" da harpa visíveis, a equipe fez uso de um dispositivo emissor de gelo seco (dióxido de carbono solidificado).

O principal componente utilizado no projeto, sem o qual sua implementação não seria possível, foi o sensor de distância ultrassônico de baixo custo e amplamente utilizado em projetos eletrônicos. De maneira geral, seu uso possibilitou a verificação da altura de interceptação dos feixes de luz com uma tolerância aceitável. Contudo, ainda sim foi necessário a implementação de um algoritmo para normalização das medições obtidas, de forma a extrair as mais discrepantes.

Associar cada altura de interceptação de um feixe à uma cor correspondente em uma fita de LED's, também contribuiu para tornar o projeto mais atraente aos olhos de quem toca o instrumento. Sua utilização acarretou na aquisição adicional de dois circuitos eletrônicos: registradores de deslocamento e transistores atuando como *drivers* de corrente, ambos encapsulados como circuitos integrados.

Uma dificuldade encontrada pela equipe foi na implementação e funcionamento do modo *Learn to Play*. O trabalho de povoar a base de dados do aplicativo com as músicas demandou um tempo considerável, visto que gravá-las por meio do uso da própria harpa exigiria maior tempo de treinamento da equipe. Neste sentido, uma implementação futura que cabe ao projeto é a implementação de um algoritmo para análise automática de um arquivo .MIDI, "decompõe" a música nos parâmetros necessários. Este recurso tornaria a aquisição de novas músicas para o modo de operação da harpa em questão, um processo significativamente mais rápido e flexível.

Outro fator interessante que agregou conhecimento à equipe foi o contato com a área de conhecimento referente à teoria musical. Para escolher quantos lasers e interceptações possíveis a harpa teria, os membros passaram a familiarizar-se com termos técnicos antes desconhecidos, como escalas e notas musicais, oitavas, claves, entre outros. Uma decisão importante foi a escolha das notas que comporiam os módulos de reprodução da harpa (ou instrumentos), com exceção do *Percussion*. Para tal, a equipe optou pelo uso de uma única escala musical, com duas oitavas, totalizando 24 notas (oito lasers com três alturas de

interceptações possíveis). Ainda que não fossem possíveis reproduzir acordes, uma vez que não se pode interceptar mais de 2 lasers simultaneamente, era possível substituí-los por uma nota individual.

De qualquer forma, o objetivo deste trabalho foi atingido. A harpa eletrônica que opera de maneira conjunta à uma aplicação desenvolvida sobre o sistema operacional Android foi construída, possibilitando, aos membros da equipe e ao orientador, ver que é possível integrar dispositivos eletrônicos à aparelhos musicais com um custo reduzido.

## Referências

- [Crab, 2015] Crab, S. (2015). 120 years of electronic music. <http://www.120years.net>. Acesso em 15 de Novembro de 2015.
- [ElecFreaks, 2015] ElecFreaks (2015). Ultrasonic ranging module hc-sr04. <http://e-radionica.com/productdata/HCSR04.pdf>. Acesso em 16 de Novembro de 2015.
- [fan-club Jean Michel Jarre, 2015] fan-club Jean Michel Jarre, A. (2015). Les harpes laser. <http://aerozonejmj.fr/les-harpes-laser/>. Acesso em 15 de Novembro de 2015.
- [FilipeFlop, 2015] FilipeFlop, B. (2015). Como conectar o sensor ultrassônico hc-sr04 ao arduino. <http://blog.filipeflop.com/sensores/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino.html>. Acesso em 16 de Novembro de 2015.
- [Google, 2015a] Google (Acesso em 16 de Novembro de 2015a). Android sdk. <https://developer.android.com/sdk/index.html>.
- [Google, 2015b] Google (Acesso em 16 de Novembro de 2015b). Media player android. <http://developer.android.com/reference/android/media/MediaPlayer.html>.
- [Google, 2015c] Google (Acesso em 16 de Novembro de 2015c). Services android. <http://developer.android.com/guide/components/services.html>.
- [Google, 2015d] Google (Acesso em 16 de Novembro de 2015d). Sqlite android. <http://developer.android.com/guide/topics/data/data-storage.html#db>.
- [Instruments, 2015b] Instruments, T. (1976, revisado em 2015.b). High-voltage, high-current darlington transistor arrays. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf>.

- [Instruments, 2015a] Instruments, T. (1982, revisado em 2015.a). 8-bit shift registers with 3-state output registers. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc595.pdf>.
- [Instruments, 2013] Instruments, T. (2013). Tiva™ tm4c123gh6pm microcontroller. <http://www.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?baseLiteratureNumber=spms376>.
- [Medeiros and Wanderley, 2014] Medeiros, C. B. and Wanderley, M. M. (2014). A comprehensive review of sensors and instrumentation methods in devices for musical expression. *Sensors*, 14(8):13556.
- [Segecin, 2015] Segecin, R. (2015). Laserharpists. <https://github.com/rsegecin/LaserHarpists>.
- [SQLite, 2015] SQLite (Acesso em 16 de Novembro de 2015). Sqlite. <https://www.sqlite.org/datatype3.html>.
- [Valvano, 2012] Valvano, J. W. (2012). *Embedded Systems: Introduction to the ARM® Cortex(TM)-M Microcontrollers*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 5 edition.
- [Vilo, 2015] Vilo, R. (2015). Launchpad stellaris lm4f120 and tiva c series tm4c123 pins maps. <http://embeddedcomputing.weebly.com/launchpad-stellaris-lm4f120-pins-maps.html>. Acesso em 25 de Novembro de 2015.