

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

Harpa Laser para Controle de Síntese Sonora

Ricardo Torgal Dias Duarte

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Major Telecomunicações

Orientador: Prof. Luís Filipe Teixeira
Co-orientador: Prof. Luís Gustavo Martins

Julho 2011

©Ricardo Torgal Dias Duarte, 2011

A Dissertação intitulada

“Harpa Laser para Controle de Síntese Sonora”

foi aprovada em provas realizadas em 11-07-2011

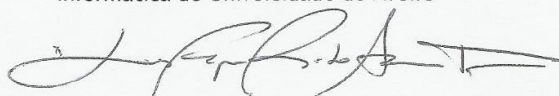
o júri



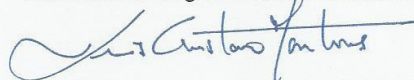
Presidente Professor Doutor Artur Agostinho dos Santos Capelo Cardoso
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professora Doutora Ana Maria Perfeito Tomé
Professora Associada do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e
Informática do Universidade de Aveiro



Professor Doutor Luís Filipe Pinto de Almeida Teixeira
Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Engenharia Informática da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Doutor Luís Gustavo Martins
Professor assistente Departamento de Som e Imagem da Escola das Artes da
Universidade Católica Portuguesa

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.

Ricardo Duarte

Autor - Ricardo Torgal Dias Duarte

Resumo

A Harpa Laser para controlo de síntese sonora é um projecto realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação, sendo o seu principal objectivo a criação de um protótipo que permita aos seus utilizadores controlar os sons através da interacção com feixes lasers.

De modo a criar-se o instrumento musical proposto inicialmente foi necessário investigar, ler, e escolher diferentes tecnologias, materiais e componentes a serem usados, para além da sua estruturação e interacção.

O primeiro passo deste projecto foi uma pesquisa sobre tecnologias passíveis de serem usadas e estruturas que pudessem ser criadas, bem como projectos semelhantes que já tinham sido implementados. A partir da informação recolhida e com o intuito de se criar um protótipo com custos controlados tomou-se várias decisões tanto na escolha do tipo de Harpa Laser a construir como na escolha dos componentes propriamente ditos. Uma vez criada uma estrutura e implementado *software* que permite a recolha do estado dos diferentes componentes, conseguiu-se um protótipo funcional através do qual se consegue controlar sons ou animações de acordo com os movimentos do utilizador.

O culminar deste projecto deu-se com apresentações ao público de um protótipo funcional de uma Harpa Laser.

Abstract

The Laser Harp for the control of sound creation is a project carried out under the Dissertation course, and the creation of a prototype that allows its users to control sounds by interacting with the laser beams is the main objective of the project.

In order to create the musical instrument initially proposed it was necessary to investigate, read and choose different technologies materials and components to be used and the way they interact between themselves in addition to the whole structure of the project.

The first step of this project was a research on technologies and structures that could be used and similar projects that had already been implemented. From the information gathered and in order to create a prototype with controlled costs several decisions were taken both in the choice of the type of Laser Harp to be built and in the choice of the components themselves. Once created a structure and implemented a software framework that allows the update of the different components and respective states, a working prototype was achieved through which animations or sounds can be controlled according to the movements of the user.

The culmination of this project was achieved in presentations to the public with a working prototype of a Laser Harp.

Agradecimentos

Com os melhores agradecimentos ao Professor Luís Filipe Teixeira e ao Professor Luís Gustavo Martins, pela oportunidade de poder trabalhar sobre a sua orientação, pela disponibilidade que sempre demonstraram e pelas opiniões transmitidas no sentido de melhorar este trabalho.

À minha família, nomeadamente aos meus Pais e Irmãos, pelo seu apoio e carinho ao longo de todo o meu percurso académico e pessoal.

A todos os meus amigos e colegas que tive ao longo do curso, pois sem eles este percurso seria mais difícil e certamente menos divertido.

Índice

Introdução	1
1.1 – Contexto	1
1.2 – Objectivos do projecto.....	4
1.3 – Estrutura do documento.....	5
Desenvolvimento do projecto.....	7
2.1 – Tecnologias.....	7
2.1.1– Laser	7
2.1.2 – Sensores	9
2.1.3 – Placa Arduíno	14
2.1.4 – MIDI.....	15
2.1.5 – OSC	17
2.1.6 – Processing.....	18
2.2 – Projectos relacionados	21
Construção e Metodologia.....	25
3.1 – Componentes escolhidos	25
3.1.1 – Laser	26
3.1.2 – Sensor de Luz	27
3.1.3 – Sensor de distância	28
3.1.4 – Placa Arduíno	29
3.1.5 – Software.....	30
3.2 – Circuitos eléctricos	30
3.2.1 – Laser	30
3.2.2 – Sensor de Luz (LDR).....	31
3.2.3 – Sensor de Distância	32
3.2.4 – Interruptores.....	34
3.3 – Software.....	35
3.3.1 – Código Arduíno	35

3.3.2 – Código Processing	39
3.4 – Estrutura do protótipo	44
3.4.1 – A base	45
3.4.2 – O suporte vertical	46
3.5 – Resumo	47
Resultados.....	49
4.1 – Versão 1	49
4.2 – Versão 2	50
4.3 – Versão 3	53
4.4 – Resumo	54
Conclusão	55
5.1 - Discussão.....	55
5.2 - Melhorias Futuras.....	57
5.3 - Considerações Finais.....	57
Referências	59
Anexos.....	61

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Harpa laser (Framed) de Geoffrey Rose (1976)	2
Figura 1.2 – Concerto de Jean Michel Jarre, Helsinquia 2009 (Harpa Frameless)	3
Figura 2.1 – Sensor Ultra Sónico	11
Figura 2.2 – Placa Arduíno Duemilanove	15
Figura 2.3 – Página de abertura do Processing	19
Figura 2.4 – Ambiente de desenvolvimento do Processing	19
Figura 2.5 – Planos da Harpa Laser de Andrew Kilpatrick	21
Figura 2.6 – Harpa Laser de Stephen Hobley	22
Figura 2.7 – Detector de feixes	22
Figura 2.8 – Modo de funcionamento da Termenova	23
Figura 2.9 – O instrumento Termenova	23
Figura 3.1 – Módulo laser vermelho de 5mW	26
Figura 3.2 – Sensor de Luz Silonex NSL-4962	27
Figura 3.3 – Sensor infravermelho de distância Sharp Gp2d12	28
Figura 3.4 – Placa MC-Nove	29
Figura 3.5 – Circuito de alimentação dos lasers	31
Figura 3.6 – Circuito eléctrico dos sensores de luz	31
Figura 3.7 – Circuito eléctrico dos sensores de distância Gp2d12	33
Figura 3.8 – Voltagem vs Distância	33
Figura 3.9 – Fluxograma da verificação do estado dos interruptores	36
Figura 3.10 – Fluxograma da verificação do estado dos lasers	37
Figura 3.11 – Janela desenhada pela função <i>void draw</i>	40
Figura 3.12 – Fluxograma da função <i>serialEvent</i> no Arduíno	41
Figura 3.13 – Fluxograma da função <i>sendOSC</i>	43
Figura 3.14 – Estrutura projectada para o protótipo	44

Figura 3.15 – Projecção da base do protótipo	45
Figura 3.16 – Esquema da parte superior da base do protótipo	45
Figura 3.17 – Dimensões do suporte vertical	46
Figura 4.1 – Harpa Laser no dia 6 de Maio	49
Figura 4.2 – Harpa Laser no dia 10 de Maio	49
Figura 4.3 – Parte I do programa em <i>Puredata</i>	50
Figura 4.4 – Parte II do programa em <i>Puredata</i>	51
Figura 4.5 – Distribuição das classificações relativamente à Harpa Laser.....	51
Figura 4.6 – Harpa Laser no dia 10 de Maio	52

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Classificação das Classes Laser	8
Tabela 2.2 – Tabela de resumo dos Sensores	13
Tabela 2.3 – Especificações do microprocessador ATmega328P	14
Tabela 3.1 – Características do módulo Laser	26
Tabela 3.2 – Características do Sensor de Luz Sionex NSL-4962	27
Tabela 3.3 – Características do sensor Sharp Gp2d12	28
Tabela 3.4 – Características da placa MC-Nove	29
Tabela 3.5 – Funcionamento do sensor de luz (LDR)	32
Tabela 3.6 – Informação contida no byte <i>type</i>	38
Tabela 3.7 – Tabela da relação entre mensagens série e OSC	42

Abreviaturas e Símbolos

BPS – *Bits Per Second*

CPU – *Central Processing Unit*

FPS – *Frame Per Second*

IR – *Infra-Red*

LDR – *Light Dependant Resistor*

MIDI – *Music Instrument Digital Interface*

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

OSC – *Open Sound Control*

PVC – *Polyvinyl Chloride*

RC – Resistência-condensador

RGB – *Red Green Blue*

UDP – *User Datagram Protocol*

°C – grau Célsius

Ω – Ohm

μ – micro

A – Ampere

cm – Centímetro

Hz - Hertz

F – Farad

k – quilo

m – mili

M – mega

mm – Milímetro

p – pico

s – segundo

V – Volt

W – Watt

Capítulo 1 – Introdução

Este capítulo apresenta o problema estudado e o contexto em que se insere. Vai-se introduzir as bases onde está assente o projecto Harpa Laser, quais foram os principais incentivos ao seu desenvolvimento e, os objectivos que se quer atingir no término do projecto. Também é referida a estrutura do documento.

"Logo que, numa inovação, nos mostram alguma coisa de antigo, ficamos sossegados."

Friedrich Wilhelm Nietzsche

1.1 – Contexto

Com o projecto Harpa Laser pretende-se obter um instrumento musical que seja inovador e que permita aos seus utilizadores uma nova forma de criar música e controlar sons.

A música é uma forma de arte em que se organiza de uma forma sensível e lógica ao longo de um determinado período de tempo uma combinação de sons e silêncios, utilizando para tal fundamentos relacionados com a melodia, harmonia e ritmo através de complexos processos psico-anímicos. A música é um estímulo que afecta o campo perceptivo do ouvinte levando a que um fluxo sonoro possa ter diversas funções como entretenimento, comunicação e ambientação [1].

O conceito de música tem sofrido uma evolução desde a sua origem na Grécia Clássica, em que se agrupava sem distinção a poesia, a música e a dança como arte unitária [2]. A criação, o significado, a performance e mesmo a definição de música variam de acordo com a cultura e o contexto social. A música como todas as formas de manifestação artística, é um produto cultural

cujo objectivo é suscitar uma experiência estética no ouvinte ao expressar sentimentos, pensamentos ou ideias.

A música expandiu-se ao longo da História e actualmente pode ser encontrada em diversas áreas para além da arte como, a educacional ou terapêutica (musicoterapia), para além de ser um elemento central em diversos rituais sociais e religiosos.

De modo a criar música, o ser humano faz uso de objectos com os quais produz sons, a esses objectos dá-se o nome de instrumentos musicais. Em teoria, qualquer objecto é passível de ser usado para produzir sons e como tal ser usado na criação de música, contudo só se costuma usar o termo instrumento musical para designar objectos feitos especificamente com o objectivo de criar música. Esta situação advém do facto de que um instrumento musical torna possível controlar com maior precisão as características do som a ser produzido. Um som é considerado musical ou melódico quando se pode controlar e variar as suas características, timbre, altura (agudo, grave), duração e intensidade [3].

A Harpa Laser é um instrumento electrónico digital que faz uso de vários raios laser que podem ser bloqueados de modo a criar sons, de uma forma análoga com a harpa tradicional. Não há contacto físico entre o instrumento e o músico, contudo os raios laser permitem estabelecer uma relação visual com a audiência criando assim uma experiência musical única.

A história da harpa laser não está devidamente documentada como tal é difícil saber com certeza absoluta quem criou a primeira, embora actualmente Geoffrey Rose é referido como o inventor deste instrumento ao criar a primeira harpa laser em 1976 [4]. Essa harpa era do estilo *Framed* (com uma estrutura) com 5x5 raios laser alinhados paralelamente que podiam produzir até 25 notas, como se pode ver na Figura 1.1.



Figura 1.1 – Harpa laser (Framed) de Geoffrey Rose (1976)

Após a harpa criada por Geoffrey Rose muitas outras harpas foram criadas por outros pioneiros que inovaram tanto no design como no conceito inicial. Alguns dos casos mais importantes foram os de Bernard Szajner que criou a sua harpa em 1981 [5] e o de Jean Michel Jarre que aproveitou o *design* da harpa de Szajner para criar a sua própria harpa, Figura 1.2, a qual usa em concertos, divulgando a harpa laser a nível Mundial [6].



Figura 1.2 – Concerto de Jean Michel Jarre, Helsinquia 2009 (Harpa Frameless)

Actualmente pode-se dividir o *design* da Harpa Laser em duas categorias, *Framed* (com uma estrutura) ou *Frameless*. O estilo *Framed* consiste numa harpa com uma estrutura física em que normalmente se usa um laser distinto para cada feixe, de modo a se obter feixes paralelos entre si. Cada feixe laser é apontado a um sensor de luz que está posicionado no topo da estrutura. É a partir dos sensores de luz que se torna possível identificar o momento quando um feixe é interceptado por um utilizador, uma vez que o sensor deixa de receber a luz do respectivo feixe laser. Este tipo de harpa é o mais construído uma vez que se conseguem protótipos totalmente funcionais a preços razoáveis. Já o estilo *Frameless*, sem estrutura física, consiste em usar um scanner ou um único laser cujo raio é separado em múltiplos feixes de modo a criar um efeito semelhante a um “leque”. Devido ao facto de se usar um só laser é preciso que este tenha uma potência muito elevada o que faz aumentar significativamente os custos e a sua complexidade. Neste tipo de harpa os sensores estão localizados na base juntamente com o laser, e o princípio de funcionamento está relacionado com diferentes comprimentos de onda de cada feixe que são captados pelos respectivos sensores quando o utilizador intercepta um feixe, visto que a luz será reflectida pela mão do utilizador e captada pelos sensores.

A Harpa Laser assume-se como um instrumento musical de excepção devido ao seu conceito de ausência de contacto físico entre o instrumento e o músico, e ao excelente espectáculo visual que oferece. Contudo para se obter esse espectáculo é necessário investir em lasers de grande potência, sensores muito precisos e tecnologia de ponta o que pode levar a que o projecto assuma custos muito elevados.

Também é importante referir que o facto de não haver contacto físico entre o instrumento e o músico tornam a Harpa Laser um instrumento difícil de tocar pois é necessário ao músico ter um período de adaptação para além de um elevado sentido de afinação e uma mão firme uma vez que só recebe feedback áudio e visual.

Contudo estas dificuldades são suplantadas pelo facto de a Harpa Laser ser um instrumento totalmente inovador e que permite uma experiência única quer no seu utilizador quer na plateia.

O projecto da dissertação Harpa Laser pode ser dividido em duas componentes: *hardware* e *software*. A parte de *hardware* consiste na implementação física dos diversos componentes electrónicos como os laser, controladores (sensores de luz e de distância) integrados com um processador. Já a parte de *software* consiste na elaboração de código que permita transformar a informação captada pelos sensores em sons, de modo a permitir ao utilizador criar música. Para se conseguir implementar este projecto com sucesso foi preciso escolher com cuidado e critério os diferentes componentes tendo sempre em conta o preço dos mesmos, para além de ser importante considerar a complexidade e tempo que diferentes tecnologias podem ter no projecto. Ao longo deste documento tentou-se documentar os benefícios e desvantagens que diferentes tecnologias ou componentes passíveis de serem usados neste projecto podem ter sobre o mesmo. Um critério de decisão importante foi o facto da tecnologia laser poder ser prejudicial à saúde humana como tal foi necessária uma escolha criteriosa do material de modo a diminuir esse tipo de riscos.

1.2 – Objectivos do projecto

Os principais objectivos que se pretende atingir com o projecto Harpa Laser são os seguintes:

- Aplicação de conhecimentos e métodos de trabalho adquiridos ao longo do curso;
- Levantamento de soluções e pesquisa do estado de arte;
- Estudo de tecnologias a poderem ser integradas no projecto;
- Construção de um protótipo funcional dentro de um orçamento limitado;
- Integração do protótipo com aplicações sonoras que o complementem;
- Apresentação do protótipo ao publico, observando e recolhendo as suas reacções e opiniões sobre o mesmo.

1.3 – Estrutura do documento

Este documento encontra-se dividido em cinco capítulos, sendo que neste primeiro é feita uma introdução ao tema apresentando o contexto do problema e identificando-se a utilidade e desafios inerentes ao projecto.

No segundo capítulo os conceitos base introduzidos no primeiro capítulo são desenvolvidos e revistos, tentando-se dar uma ideia clara das tecnologias passíveis de serem usadas e quais os benefícios e desafios que trazem ao projecto. Para além da introdução às diversas técnicas, tecnologias e ferramentas também se faz uma apresentação de projectos semelhantes já implementados, dando uma ideia do Estado da Arte da Harpa Laser. Neste capítulo pode-se aproveitar alguns resultados já obtidos noutros projectos de modo a chegar a conclusões sobre a utilização de diferentes tecnologias.

O terceiro capítulo contempla a metodologia de construção seguida ao longo do projecto, explicando-se os principais passos executados na implementação do projecto. Neste capítulo explica-se as tecnologias adoptadas e porquê a sua escolha, e como foram implementadas.

No quarto capítulo são demonstrados os resultados obtidos com o protótipo e é feita uma análise das ferramentas e tecnologias utilizadas.

O quinto capítulo encerra este documento com as conclusões sobre o trabalho desenvolvido, os objectivos alcançados, e melhorias que podem ser implementadas de modo a melhorar o projecto.

Capítulo 2 – Desenvolvimento do projecto

Neste capítulo explica-se diferentes tecnologias que poderiam ser usadas na implementação de uma Harpa Laser, fazendo-se uma revisão dos conceitos explorados no capítulo anterior. Para além da introdução às diversas técnicas, tecnologias e ferramentas também se faz uma apresentação de projectos semelhantes já implementados, dando uma ideia do Estado da Arte da Harpa Laser.

"Aquilo que hoje está provado não foi outrora mais do que imaginado."

William Blake

2.1 – Tecnologias

2.1.1 – Laser

Introdução à tecnologia

O Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) é um dispositivo que emite luz (radiação electromagnética) através de um processo de amplificação óptica baseado na emissão estimulada de fótons

A luz de um laser é bastante diferente da luz normal. As suas principais propriedades são as seguintes (Matthew Weschler [7]):

- A luz emitida é monocromática, ou seja, contém um determinado comprimento de onda de luz (uma cor específica). O comprimento de onda da luz é determinado pela quantidade de energia libertada quando o electrão cai para uma órbita mais baixa.

- A luz emitida é coerente, isto é, a luz emitida é “organizada” e cada fóton desloca-se com os restantes, o que significa que todos os fótons têm frentes de onda cujo lançamento é em unísono.
- A luz é direccionada, uma vez que a luz laser tem um feixe muito estreito, forte e concentrado. Ao contrário de uma lanterna ou lâmpada em que a luz é emitida em muitas direcções, logo é difusa e fraca.

A tecnologia Laser é especialmente perigosa devido à grande concentração dos raios emitidos, às poucas perdas em grandes distâncias e à elevada intensidade da radiação no ponto de impacto, podendo causar lesões na retina do olho humano ou mesmo na pele.

Contudo, como numa Harpa Laser se pretende obter um espectáculo visual para além do auditivo é essencial estabelecer um compromisso entre a luz pretendida e os perigos que daí advêm. Para tal, a seguinte tabela de classificação permite obter uma melhor diversidade de opções existentes e os perigos correspondentes.

Classe Laser IEC	Potência do Laser	Tipo de Laser	Riscos do Laser
1	< 1mW	Lasers de baixa potência ou contidos internamente num dispositivo. CD <i>players</i> , ratos de computador.	Esta classe é segura para os olhos em todas as condições de funcionamento
1M	< 1mW	Lasers de baixa potência com feixes altamente divergentes. DVD <i>players</i> , impressoras a laser.	Esta classe é segura para ver directamente com o olho nu contudo pode ser perigosa se forem usados instrumentos ópticos como lupas.
2	< 1mW	Lasers de baixa potência visíveis. Scanners a laser comerciais estão nessa classe.	O reflexo do olho humano (aversão) previne danos oculares, excepto se se olhar deliberadamente para o feixe por um período prolongado.
2M	< 1mW	Lasers de baixa potência visíveis com feixes altamente divergentes. Alarmes usados em bancos ou museus.	É necessário olhar fixamente para o feixe por um período superior a 1000 segundos para causar algum dano permanente à retina.
3R	1 – 5 mW	Lasers de baixa potência visíveis. Apontadores laser. Gravadores CD/DVD.	Deve-se evitar o contacto directo do feixe com o olho. Lasers desta classe são perigosos quando combinados com instrumentos ópticos que podem mudar o diâmetro ou a densidade de potência.

3B	5 – 500 mW	Lasers de média potência. Lasers para investigações.	Danos permanentes podem ocorrer em <0,1s dependendo da potência do laser. Protecção ocular é recomendada quando um contacto directo poderá ocorrer. Lasers no final desta categoria podem atear fogo em alguns objectos e queimar levemente a pele. Reflexões directas (espelhos) também podem causar danos.
4	> 500 mW	Lasers de alta potência. Lasers militares, industriais, científicos e médicos estão inseridos nesta categoria. Operações a laser (<i>lasik</i>).	Podem causar queimaduras na pele e danos severos e permanentes nos olhos sem o uso de equipamento óptico de protecção. Reflexões difusas também podem causar danos à pele e aos olhos.

Tabela 2.1 – Classificação das Classes Laser [8]

Na escolha do laser, para além da potência, outro critério de decisão importante é a cor. Tipicamente a cor dos laser é vermelha ou verde, contudo existem diferenças importantes entre as duas, uma vez que a cor verde é melhor detectada pelo olho humano do que a vermelha. Esta situação deve-se ao facto de a luz verde ter um comprimento de onda de 532nm enquanto que a luz vermelha tem um comprimento de onda de 640nm. No caso de lasers com menor potência como os de 5mW é possível tornar o feixe visível com a ajuda de uma máquina de fumo, uma vez que as partículas são iluminadas, criando assim um feixe visível de uma forma segura e barata.

Aplicações da tecnologia

A tecnologia laser é muito usada em leitores e gravadores de CDs e DVDs, impressoras e *scanners* a laser, apontadores laser, teclados virtuais e muitos outros equipamentos electrónicos. Também é usada actualmente para fins medicinais como as operações laser aos olhos, Lasik [9].

2.1.2 – Sensores

Introdução à tecnologia

Para a Harpa Laser ser totalmente funcional é necessário utilizar dois tipos de sensores, um para saber quando um feixe laser é interceptado e outro para saber a distância à fonte do laser onde está a mão do utilizador. Ao termos este último sensor vamos permitir um maior controlo sobre o instrumento e como tal proporcionar uma melhor experiência ao utilizador.

➤ Sensor de Intercepção de um feixe laser

Para se saber quando é que a mão do utilizador está a interagir com o feixe laser uma das soluções é fazer com que o feixe incida sobre um sensor de luz e sempre que o feixe é interceptado, a resistência do sensor aumenta. E, existem várias opções para implementar esta funcionalidade contudo as que se apresentam mais viáveis são: foto-resistências ou foto-díodos.

Foto-resistências

A primeira opção, foto-resistência também conhecida por LDR (*Light Dependent Resistor*) é uma resistência que varia conforme a intensidade de radiação electromagnética do espectro visível que incide sobre ele. Um LDR é um transdutor de entrada (sensor) que converte a luz em valores de resistência, sendo normalmente feito em sulfato de cádmio (CdS). A sua resistência diminui quando a intensidade luminosa é alta e aumenta quando a intensidade luminosa é baixa, ou seja a resistência é inversamente proporcional à intensidade de luz. O LDR é muito sensível à luz conseguindo ter uma boa resposta em mudanças de intensidade de luz. A sua única desvantagem é que precisa de um amplificador para aumentar os valores de tensão eléctrica de modo a poderem ser lidos por um microprocessador, contudo isso é compensado com o facto de serem o tipo de sensor de luz mais barato.

Foto-díodos

A outra opção é usar foto-díodos, que é um tipo de sensor capaz de converter luz em corrente ou tensão eléctrica, dependendo do modo de operação. Normalmente nos foto-díodos quanto maior a intensidade luminosa maior será a corrente ou tensão na saída. Embora o seu custo também seja reduzido, têm a desvantagem de terem uma área de contacto bastante inferior aos LDR o que pode dificultar o alinhamento com os lasers.

➤ Sensor de distância

De modo a saber qual a distância a que está a mão do utilizador é necessário usar sensores que permitam capturar essa informação. Estes dados vão ser particularmente importantes no controlo da Harpa Laser uma vez que permitirão obter um maior controlo do som. Por exemplo, a localização da mão do utilizador poderá alterar o tom de uma nota - mais longe da fonte do

feixe de laser obter-se-á uma nota mais grave e mais próximo uma nota mais aguda. Existem várias opções de como implementar este tipo de sensor sendo as mais atractivas as seguintes:

Sensor de distância Ultra Sónico

Os sensores ultra sónicos baseiam-se num princípio semelhante ao radar ou ao sonar que avalia os atributos de um alvo ao interpretar os ecos de rádio ou ondas sonoras. Sensores ultra sónicos geram ondas sonoras de alta-frequência e avaliam o eco que é recebido de volta no sensor. Os sensores calculam depois o intervalo de tempo entre o envio do sinal e a recepção do eco para determinar a distância a um objecto, como representado na Figura 2.1. O sensor emite pulsos ultra sónicos ciclicamente, e quando um objecto reflecte esses pulsos, o eco resultante é recebido e convertido num sinal eléctrico.

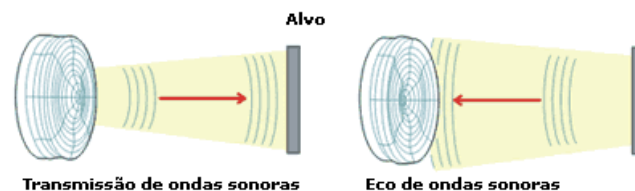


Figura 2.1 – Sensor Ultra Sónico

As principais vantagens deste tipo de sensor são a sua precisão, o seu grande alcance, e o facto de ser barato. As desvantagens são a impossibilidade de detectar objectos muito próximos.

Sensor de distância Infravermelho

Os sensores infravermelhos (IV) aproveitam o comprimento de onda da luz invisível ao olho humano (radiação IV) para detectar objectos no seu campo de controlo. São muito eficazes na detecção de objectos sem haver contacto com superfícies. Este tipo de sensores normalmente é constituído por um sensor e um emissor de luz IV, e o seu princípio de funcionamento assenta sobre a luz IV reflectida de volta para o sensor quando um objecto entra no raio de acção do sensor. Este tipo de sensores é muito usado em projectos na área da robótica devido à sua fácil integração, preço acessível e precisão.

As principais vantagens deste tipo de sensor são a sua precisão, e o facto de ser barato. A desvantagem está no facto deste tipo de sistema ser propenso a interferências de radiação IV quando utilizado no exterior.

Sensor de distância usando Wiimote

O *Wii Remote*, também conhecido por *Wiimote*, é o controlo principal da consola *Wii* da Nintendo, que veio revolucionar o conceito tradicional de consolas e jogos com a sua grande interactividade e forma inovadora de jogar. As principais características do *Wiimote* são o facto de ser um controlador que capta os movimentos que o jogador executa ao movimentar o comando. De modo a receber essa informação o *Wiimote* faz uso de um acelerómetro embutido e de um sensor óptico [10].

O controlador *Wiimote* foi divulgado em Outubro de 2005 na *Tokyo Game Show*, e desde essa data tem recebido muita atenção devido ao seu conceito único em contraste com os controladores tradicionais. Sendo também verdadeiro que devido às suas grandes potencialidades tem sido muito usado em projectos electrónicos por designers ou amadores, havendo mesmo bibliotecas criadas que facilitam a integração do *Wiimote* com o computador. Para ligar o *Wiimote* ao computador é preciso uma ligação *Bluetooth* e um programa auxiliar como o *BlueSoleil* [11] que permita aplicar os dados recebidos.

As vantagens desta solução são o facto de ser apenas necessário um comando da *Wii*, independentemente dos feixes laser usados, para além do controlador ser bastante sensível e retornar informação detalhada sobre a posição. A desvantagem seria ter que integrar a informação devolvida pelo *Wiimote* com a da placa *Arduíno* o que pode levar a que a complexidade do sistema aumente significativamente. Para além do facto de se ter que averiguar se a intensidade da luz no ponto de contacto entre o feixe e a mão do utilizador é suficientemente forte para ser identificada pelo *Wiimote*, caso contrário seria necessário usar um led para identificar a posição da mão do utilizador.

Sensor de distância usando Kinect

O *Kinect*, também conhecido inicialmente como *Projecto Natal* [12], foi criado pela Microsoft para a consola *Xbox 360* e veio inovar ainda mais no campo dos videojogos seguindo o caminho revolucionário da consola *Wii* e do *Eyeto*y [13] da *Playstation*. A ideia básica é que o utilizador pode interagir através de movimentos ou comandos de voz dispensando os habituais controladores.

O *Kinect* tem uma câmara RGB, um sensor de profundidade e um conjunto de microfones que permitem capturar movimentos em 3D do corpo, reconhecimento facial e reconhecimento de voz. O sensor de profundidade consiste num projector laser de infravermelhos combinado com um sensor CMOS monocromático, o que permite capturar dados vídeo em 3D sobre

qualquer nível de luz ambiente. O sensor de profundidade pode ser calibrado de modo a ignorar informação relativa a mobiliário do utilizador presente no campo do sensor. Segundo informações da Microsoft o sistema permite capturar simultaneamente informação de reconhecimento facial e de voz até 6 pessoas e consegue também seguir os movimentos de 2 jogadores activos.

O Kinect está equipado com um sensor cujo alcance está entre 1,2-3,5m. Já a câmara RGB usa uma resolução de 640x480 pixels, com uma *frame rate* de 30Hz. O sistema de microfones é constituído por quatro microfones cada um com um canal áudio a 16-bit e taxa de amostragem de 16kHz.

A grande vantagem do Kinect é o facto de ser um produto novo e com um conceito muito inovador o que dá outra dimensão ao sistema. Também é importante considerar o facto de embora este dispositivo ser relativamente recente já existem várias bibliotecas *open source* que fazem a integração com o computador. As desvantagens prendem-se com o preço elevado e com o alcance do sensor que é referido como sendo ideal para distâncias entre os 1,2-3,5m o que pode inviabilizar a integração com um projecto como a Harpa Laser.

Aplicações da tecnologia

Os sensores de luz são muito usados em leitores de CDs e DVDs, e por vezes também na iluminação pública. Quanto aos sensores de distância para além de serem muito usados na indústria de segurança como nos alarmes, também estão a ser usados na indústria de jogos nomeadamente em casos como na consola da Wii com o Wiimote, como na Xbox 360 com o Kinect, referidos anteriormente.

Na Tabela 2 é apresentado um resumo das vantagens e desvantagens destas tecnologias.

Sensor	Tipo	Vantagens	Desvantagens
Luz	LDR	Preço, facilidade de integração	Necessidade de se integrar um amplificador
Luz	Foto-díodos	Preço	Área de contacto menor
Distancia	Ultrasónicos	Preço, precisão	Não consegue detectar objectos muito próximos
Distancia	Infravermelhos	Preço, precisão	Interferência da luz natural quando montado ao ar livre
Distancia	Wiimote	Precisão, inovação	Complexidade
Distancia	Kinect	Precisão, inovação	Preço, alcance não é ideal para o projecto

Tabela 2.2 – Tabela de resumo dos Sensores

2.1.3 – Placa Arduíno

Introdução à tecnologia

A placa Arduíno é uma plataforma electrónica *open-source*, projectada com um único microcontrolador, suporte de entradas e saídas embutido e uma linguagem de programação que permite facilitar a implementação de projectos electrónicos. O *hardware* da placa consiste num processador do tipo Atmel AVR e um suporte I/O (entradas/saídas) local [14].

A placa Arduíno foi criada em 2005 na cidade de Ivrea em Itália, com o objectivo de fornecer uma plataforma barata e funcional para projectos educativos e didácticos. Contudo, devido à sua simplicidade e alto rendimento foi amplamente usada e difundida, de tal modo que recebeu uma menção honrosa em 2006 na categoria Comunidades Digitais pela Prix Ars Electrónica. Também é importante referir que até Fevereiro de 2010, 120.000 placas tinham sido vendidas [15], o que comprova a sua grande integração no mercado a nível Mundial.

O hardware da placa Arduíno pode ser programado usando uma linguagem de programação baseada em *Wiring* (sintaxe e bibliotecas), muito semelhante a C++, e usando um IDE (Integrated Development Environment) baseado em *Processing*.

O grande objectivo desta placa é criar condições acessíveis, flexíveis, baratas e de fácil uso para qualquer pessoa interessada em desenvolver um projecto electrónico. A placa pode ser ligada a um computador através da sua porta série ou da porta USB o que leva a que seja muito usada no desenvolvimento de projectos independentes, uma vez que se pode programar e interagir com a placa em tempo real.

O componente principal da placa Arduíno é o microcontrolador Atmel AVR de 8 bits, que complementado com outros componentes facilita a programação e integração da placa com outros circuitos. A série Arduíno oficial tipicamente usa microcontroladores da série mega AVR, nomeadamente os ATmega168, ATmega328 e ATmega1280, contudo outros processadores podem ser usados uma vez que a placa tem uma grande compatibilidade com outros componentes.

Um resumo das especificações do processador ATmega328 é apresentado na Tabela 2.3.

Especificações	ATmega328P
Fabricante	Atmel
Arquitectura	8-bit
Temperatura de Operação	-40 °C até 85 °C
Corrente por pino I/O	40mA
Voltagem de Operação	2.7V ~ 5.5V
Corrente de Operação	15mA
Canais Analógicos-Digitais	8

Memória Flash (Bytes)	32K
EEPROM (Bytes)	1K
RAM (Bytes)	2K
I/O	23
Número de pinos	40 - 44
Velocidade de processamento máxima	20 MHz
Velocidade de execução	20 MIPS

Tabela 2.3 – Especificações do microprocessador ATmega328P [16]

A maior parte destas placas inclui um regulador linear de 5V. Adicionalmente a placa, como a da Figura 2.2, permite que o microcontrolador possa ser programado com um *bootloader*, o que simplifica o *upload* de programas para a memória flash do chip embutido.



Figura 2.2 – Placa Arduino Duemilanove

Aplicações da tecnologia

A placa Arduino é muito usada para programar microprocessadores devido à sua potencialidade de ser ligada a computadores via UART, para além de ser tipicamente usada na construção de dispositivos electrónicos devido à sua fácil implementação conjugada com o seu alto rendimento.

2.1.4 – MIDI

Introdução à tecnologia

MIDI (*Musical Instrument Digital Interface* ou “interface musical para instrumentos musicais”) é um protocolo industrial que permite a comunicação e sincronização entre instrumentos musicais electrónicos (sintetizadores, teclados), computadores e equipamentos

electrónicos (controladores MIDI, placas de som). O protocolo MIDI possibilita que uma composição musical seja executada, transmitida e manipulada por qualquer dispositivo que reconheça o protocolo [17].

Este protocolo é diferente de outros formatos digitais de áudio como o MP3, uma vez que um arquivo MIDI não transmite um sinal áudio, mas sim dados e instruções de como produzir o áudio, ou seja, revela-se como sendo uma partitura digital. As instruções MIDI podem ser armazenadas em ficheiros que podem ser executados a qualquer momento, e que, por conterem apenas instruções, têm um tamanho muito menor do que os ficheiros áudio. As instruções enviadas definem instrumentos, notas, ritmos, timbres, intensidades e outras características que serão usadas por um sintetizador para gerar o sinal áudio propriamente dito [18].

O protocolo MIDI nasceu da necessidade de haver uma plataforma que permitisse a comunicação e sincronização entre instrumentos musicais electrónicos e computadores, sendo que até à década de 70 essa comunicação era impraticável. Devido a essa necessidade um grupo de fabricantes desenvolveu as bases do protocolo MIDI, que consistia no envio de instruções para controlo de instrumentos electrónicos digitais ou analógicos, em que se representavam os eventos e não o som digitalizado. O protocolo MIDI foi definido em 1982.

A base do protocolo MIDI é constituída por mensagens de 3 palavras que são enviadas e recebidas em série através de duas portas UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*). Por sua vez cada palavra é composta por 10 bits (1bit de início + 8 bits de dados + 1 bit de fim). É importante referir que entre a transmissão das palavras ou mensagens o sinal é mantido a 1 e, na transmissão é enviado primeiro o bit menos significativo da palavra.

MIDI consiste apenas em dados (conjunto de instruções) que contêm eventos e mensagens a serem enviadas para um dispositivo electrónico (instrumento musical, placa de som, telemóvel...) de modo a que este gere um determinado som. Alguns exemplos de mensagens MIDI são:

Note On –

sinaliza que uma tecla foi premida ou uma nota foi tocada num instrumento. Esta mensagem transmite instruções sobre que tecla foi premida e com que velocidade (quão forte foi tocada a nota).

Note Off –

sinaliza que uma tecla deixou de ser premida ou uma nota deixou de ser tocada.

Control Change –

indica ao controlador que um pedal foi pressionado. Esta mensagem inclui o valor da mudança e para que controlador é que essa mudança é feita.

Polyphonic Key Pressure –

esta mensagem permite em alguns dispositivos adicionar vibração ou outros efeitos à nota.

Existem dois tipos de dispositivos capazes de criar dados MIDI: instrumentos musicais MIDI ou controladores MIDI. Os primeiros são mais conhecidos por sintetizadores (teclados electrónicos); os segundos são muito parecidos com os primeiros excepto no facto de não emitirem sons por si só. Um controlador MIDI só gera dados MIDI que são depois interpretados por um computador – este seria por exemplo o caso da harpa laser.

Aplicações da tecnologia

O protocolo MIDI é muito usado na indústria musical para criar música. A um nível mais básico é usada por designers amadores na construção de dispositivos ou instrumentos musicais electrónicos de modo a transmitir informação para sintetizadores e as notas serem tocadas.

2.1.5 – OSCIntrodução à tecnologia

OSC (*Open Sound Control*) é um protocolo de mensagens entre computadores, sintetizadores de som e outros dispositivos multimédia. O OSC permitiu que os actuais benefícios de tecnologias de rede fossem aplicados no mundo dos instrumentos musicais electrónicos, sendo que as principais vantagens estão na interoperabilidade, precisão, flexibilidade, e melhorias a nível de organização e documentação.

O OSC foi criado por Matt Wright e Adrian Freed, dois dos criadores do protocolo ZIP, que tentou ser uma alternativa ao protocolo MIDI mas que contudo não foi bem sucedido. Matt Wright e Adrian Freed continuaram a trabalhar no protocolo e em 1997 revelaram o OSC, um sistema de controlo para redes de transporte de dados. O sistema define os tipos de dados a

serem transportados e gere o fluxo dos dados, e à imagem de outros protocolos de transporte, o OSC permite a comunicação entre computadores e outros dispositivos, bem como a entre programas a funcionarem na mesma máquina. O OSC foi criado com fins musicais, contudo devido à sua flexibilidade pode ter outras funções noutras áreas [19].

O sucesso do OSC deve-se ao facto de resolver alguns dos aspectos mais frustrantes do protocolo MIDI, particularmente no que diz respeito à velocidade de transporte e necessidade de *hardware* específico para conectividade exterior, ou seja, o OSC consegue colmatar algumas das lacunas do MIDI e como tal apresenta-se como uma boa alternativa. No OSC não há restrição a nível do timbre ou qualquer outra representação musical, e o formato de dados suportados inclui: *integer*, *float*, *doubles* entre outros, sendo bastante mais flexível do que MIDI. As taxas de transmissão estão ao nível de velocidades de rede, e os atrasos indesejados são resolvidos pelo apoio que o OSC tem aos pacotes de dados. O protocolo também não faz suposições sobre os dispositivos alvo, e não é necessário nenhum *hardware* específico para além das típicas interfaces de rede.

Aplicações da tecnologia

O protocolo OSC é usado em inúmeras aplicações e implementações, incluindo som em tempo real, processamento de multimédia, ferramentas de interactividade na Web, sintetizadores de software, linguagens de programação e dispositivos de hardware. O OSC também conseguiu uma ampla utilização em áreas como interfaces para expressão musical, robótica, interfaces de desempenho de vídeo, sistemas de distribuição de música, comunicação entre processos ou mesmo dentro de uma só aplicação.

2.1.6 – Processing

Introdução à tecnologia

Processing é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), Figura 2.4, com uma linguagem própria de programação. O Processing está orientado para áreas como a Arte Electrónica e Design Visual e tem como objectivo ajudar e oferecer noções básicas de programação num contexto visual. Este projecto teve início em 2001 por Casey Reas e Benjamin Fry, ambos ex-membros do Grupo de Estética e Computação no Laboratório de Media do MIT [20].

Processing é uma ferramenta para utilizadores que desejam criar imagens, animações e aplicações interactivas, como se pode constatar pela Figura 2.3. Inicialmente foi desenvolvida para ensinar os fundamentos da programação de computadores num contexto visual, contudo houve uma grande evolução e actualmente apresenta-se como uma ferramenta que permite criar e terminar projectos a nível profissional.



Figura 2.3 – Página de abertura do *Processing*

A linguagem de programação Processing é relativamente simples e fácil de aprender, como tal é uma ferramenta bastante eficaz na criação de aplicações interactivas. Embora seja simples, a linguagem Processing é ao mesmo tempo bastante poderosa permitindo a criação de aplicações complexas que podem ser embutidas em páginas Web, aplicações que interagem com software no mesmo ou em diferentes computadores e aplicações que interagem com tecnologias como Arduino e que permitem interacção com hardware exterior ao computador.



Figura 2.4 – Ambiente de desenvolvimento do *Processing*

O Processing assume-se como uma ferramenta importante para o projecto com o protocolo OSC em alternativa ao protocolo MIDI, uma vez que o primeiro teria que ser difundido em pacotes UDP pela Internet, enquanto que o segundo só necessita da ligação de um cabo entre a placa Arduíno e um computador ou sintetizador. Como tal ao usar-se OSC é necessário encontrar uma forma de transmitir os dados obtidos pelos sensores e processados pela placa Arduíno e uma alternativa simples e eficaz é o Processing. As ligações entre as duas ferramentas tornam a sua interacção bastante intuitiva e eficaz. Também é importante referir que devido ao seu carácter de ferramenta *open source* o Processing tem uma vasta documentação e fóruns online ao seu dispor disponíveis.

Aplicações da tecnologia

O Processing é uma ferramenta útil na introdução à programação em geral, uma vez que facilita a aprendizagem de novas linguagens de programação. Actualmente milhares de estudantes, artistas, designers, investigadores e amadores utilizam Processing como uma ferramenta de aprendizagem, prototipagem e produção. [21]

2.2 – Projectos relacionados

Actualmente existem vários projectos implementados usando o conceito da Harpa Laser, como o de Andrew Kilpatrick [22] que criou uma Harpa *Framed* simples usando dois lasers para criar feixes e sensores de luz para detectar quando os feixes são interrompidos. Já a Harpa Laser criada por Stephen Hobley [23] é do tipo *Frameless* usando apenas um laser e um galvanómetro que emite os feixes numa forma do tipo “leque” e juntamente com um sensor permite ter um maior controlo sobre as notas de saída. Outro projecto que no entanto usa outro conceito é o projecto “Terminova” desenvolvido no MIT por Leila Hassan [24], que usa tecnologia laser e sensores juntamente com o instrumento Theremin. Por último o projecto “The Chandelier” também desenvolvido no MIT por Michael A. Fábio [25] que criou uma Harpa Laser como controlador musical alternativo ao seu projecto “Chandelier”.

A Harpa Laser criada por Andrew Kilpatrick é uma harpa muito simples que consiste em dois lasers apontados para peças de Plexiglass (também conhecido por vidro acrílico) criando doze feixes apontados para sensores de luz colocados numa estrutura metálica como pode ser observado na Figura 2.5. Segundo o criador o passo mais difícil deste projecto foi calcular as posições para os feixes visto que foi necessário determinar a reflexão da luz do laser. Esta harpa não permite um controlo tão preciso por parte do utilizador uma vez que não está incluído um sensor que permita obter informação relativa à posição da mão que intercepta o feixe. O criador deste projecto também fez algumas considerações, recomendando o uso de mais do que um apontador laser por feixe de modo a criar um efeito visual mais atractivo para a audiência e, também integrar uma máquina de fumo de modo a poder-se usar lasers de menor potência e como tal mais baratos. Outra observação do criador foi a necessidade de usar um microprocessador que permita ser programado em C e que tenha uma USART de modo a facilitar a comunicação MIDI. Curiosamente Andrew Kilpatrick referiu que a principal razão de ter criado a sua Harpa Laser foi a de ter assistido a um concerto de Jean Michel Jarre.

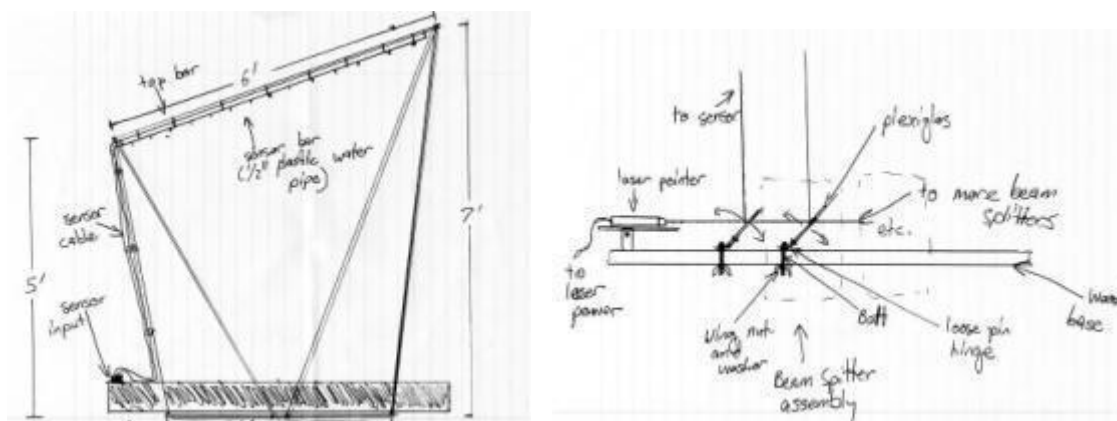


Figura 2.5 – Planos da Harpa Laser de Andrew Kilpatrick

Já a Harpa Laser de Stephen Hobley veio trazer novas ideias e aplicar novas tecnologias ao conceito original da Harpa Laser como se pode constatar na Figura 2.6. Mais uma vez a grande referência e fonte de inspiração do criador foram os concertos de Jean Michel Jarre. A harpa *Frameless* de Stephen Hobley consiste num laser de grande potência apontado para um galvanómetro que cria um leque de feixes que ao serem interrompidos vão levar à criação de notas. Esta harpa para além do facto de ter inovado no design, uma vez que não precisa de uma estrutura física (*frameless*) também usa sensores infravermelhos para modular as notas. Contudo recentemente Stephen Hobley referiu que criou uma nova harpa com o mesmo conceito e design inovando no facto de usar o Wiimote para detectar a posição onde o feixe foi interrompido.

O criador referiu que os grandes problemas do projecto inicial foram a calibração do galvanómetro e do laser de modo a criar dez feixes laser. Foi necessário programar o microprocessador da plataforma Arduíno para controlar os instantes em que o laser tinha que estar activo. Outro problema foi o facto de os sensores, Figura 2.7, terem que estar calibrados para cada feixe, uma vez que cada feixe tem uma frequência diferente, o que se revelou bastante difícil de configurar, segundo o criador. Na arquitectura da harpa os sensores são colocados em frente do utilizador ou seja em frente à harpa e quando um feixe é interceptado a reflexão da luz laser é captada pelos sensores. Contudo actualmente parte desse problema foi resolvido com a integração do Wiimote para detectar a posição da mão do utilizador.

As grandes desvantagens deste projecto são o facto de exigir uma elevada complexidade computacional e de calibração de equipamento, para além de ser necessário um grande investimento uma vez que o laser a ser usado com o galvanómetro precisa de ter uma potência mínima de 250mW; para além de tornar o projecto caro, também é perigoso para a saúde humana.



Figura 2.6 – Harpa Laser de Stephen Hobley



Figura 2.7 – Detector de feixes

O projecto de Leila Hassan para além de usar tecnologia laser e sensores ópticos também usa o princípio do instrumento Theremin.

O Theremin foi um dos primeiros instrumentos musicais completamente electrónico, tendo sido inventado em 1919 por Lev Termen. O Theremin para além de ser totalmente electrónico é único devido ao facto de não ser preciso contacto físico para ser tocado. O princípio de funcionamento deste instrumento está num oscilador de frequência variável controlado pela proximidade da mão ou corpo do utilizador a um elemento com capacidade sensitiva como uma antena.

Leila Hassan construiu para a sua tese um instrumento musical electrónico, a que deu o nome de Termenova, que combina os princípios do Theremin, de não haver contacto físico, com um conjunto dinâmico de feixes laser que servem como auxílio visual ao utilizador. Os feixes laser oferecem informação visual sobre a localização de zonas com timbre ou eventos conhecidos, tal como ilustrado na Figura 2.8. O sistema pode ser calibrado para cada utilizador ou para qualquer banda de frequências desejada ou para qualquer timbre à escolha. Neste instrumento também se consegue detectar a posição da mão do utilizador no feixe laser o que permite um maior controlo sobre o instrumento.

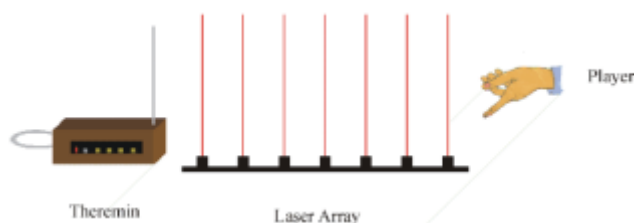


Figura 2.8 – Modo de funcionamento da Termenova

Como se pode constatar pela descrição, este projecto é muito semelhante à Harpa Laser tradicional em que há interacção entre o utilizador e feixes lasers. A principal diferença está no facto de no instrumento Termenova, na Figura 2.9, ser o Theremin que controla as notas e não os feixes lasers, estes últimos servem como informação visual, tanto para o músico como para a plateia, sobre as zonas onde se consegue obter determinada nota no Theremin.



Figura 2.9 – O instrumento Termenova

Por último, temos o projecto “The Chandelier” por Michael A. Fábio que desenvolveu diversos trabalhos envolvendo instrumentos musicais robóticos. O trabalho base é o Chandelier um instrumento megalómano, devido ao seu tamanho, sendo essencialmente um conjunto de actuadores que controlam electroímãs (que tocam ficheiros áudio) e motores, que controlam martelos e cordas como num piano, produzindo assim um som alternativo através de 88 teclas que servem como controlador do instrumento.

Paralelamente a este projecto também foi criada uma harpa laser com o objectivo de substituir o teclado como controlador do Chandelier. A harpa laser construída foi a tradicional harpa *framed* com lasers de baixa potência juntamente com sensores de luz e sensores de distância infravermelhos. A harpa foi implementada com a placa Arduíno, apontadores laser, foto-resistências, e sensores de distância sendo totalmente funcional tendo contudo apenas três feixes laser visto que só eram necessários três elementos para controlar os actuadores do Chandelier.

Capítulo 3 – Construção e Metodologia

Neste capítulo são explicados os componentes e ferramentas utilizados no projecto e a razão da sua escolha. Também são descritos os circuitos eléctricos elaborados e o *software* criado de modo a criar um protótipo da Harpa Laser totalmente funcional. Uma referência à estrutura construída para o projecto também é feita, explicando-se que materiais foram usados e como se construiu a estrutura, ilustrando-se essa informação através de esquemas.

"A capacidade pouco vale sem oportunidade."

Napoleão Bonaparte

3.1 – Componentes escolhidos

Previamente à escolha dos componentes necessários à implementação do projecto foi preciso decidir qual o tipo de Harpa Laser a ser construída, havendo duas opções: *Framed* e *Frameless*, como foi explicado no capítulo anterior. A opção recaiu sobre a Harpa Laser do tipo *Framed* uma vez que se conseguia um maior controlo sobre os custos, sem contudo descurar a funcionalidade do projecto.

Devido ao facto de o projecto estar sobre um orçamento limitado foi necessário tomar várias decisões relativamente aos componentes a utilizar, sendo que tentou-se sempre chegar a um compromisso entre o preço, funcionalidade e complexidade dos diferentes componentes. Ao decidir-se que o tipo de Harpa Laser a ser construída era do estilo *Framed*, sabia-se que para cada laser a ser utilizado corresponderia um sensor de luz e um sensor de distância. A partir desse pressuposto decidiu-se usar seis lasers de modo a implementar o projecto com bastante

funcionalidade e controlo, mas com custos controlados. Os componentes seleccionados foram os seguintes:

3.1.1 – Laser

Na escolha dos lasers tentou-se ter o cuidado de escolher um que não excedesse uma potência de saída de 5mW de modo a não colocar em risco a saúde humana, para além de assim ter um custo mais acessível. Inicialmente também tentou-se encontrar um laser de cor verde de modo a facilitar a visualização dos feixes, contudo devido a diferenças de preço elevadas acabou-se por escolher um módulo laser vermelho de 5mW, representado na Figura 3.1.



Figura 3.1 – Módulo laser vermelho de 5mW

As principais características do módulo laser escolhido são as seguintes:

Característica	Típico	Mínimo	Máximo
Potência de saída	3,0mW	2,5mW	5mW
Voltagem	4,5V DC	2,3V DC	8,0V DC
Corrente	20mA	10mA	25mA
Temperatura	25°C	-15°C	35°C
Comprimento de onda	650nm		
Feixe laser	2mm		

Tabela 3.1 – Características do módulo Laser

3.1.2 – Sensor de Luz

Os sensores de luz escolhidos foram as comuns foto-resistências, também conhecidas por LDR (*Light Dependent Resistor*), devido ao facto de serem muito sensíveis à luz e bastante baratas, o que faz com que sejam a escolha perfeita para este projecto.



Figura 3.2 – Sensor de Luz Silonex NSL-4962

O sensor de luz escolhido foi o Silonex NSL-4962 com as seguintes características:

Característica	Típico	Mínimo	Máximo
Temperatura	25°C	-60°C	75°C
Resistência à luz	17kΩ	10kΩ	24kΩ
Resistência ao escuro	1MΩ		
Potencia	250mW		
Voltagem de pico	320V		

Tabela 3.2 – Características do Sensor de Luz Silonex NSL-4962

3.1.3 – Sensor de distância

Os sensores de distância utilizados foram os sensores infravermelhos devido à sua precisão e ao facto de se conseguir uma fácil integração no projecto a um preço acessível, comparativamente às outras soluções apresentadas no capítulo anterior.



Figura 3.3 – Sensor infravermelho de distância Sharp Gp2d12

O sensor infravermelho escolhido foi o Sharp Gp2d12 por causa das seguintes características, em que se destacam o alcance até uma altura máxima de 80cm, a saída analógica, para além do facto de os valores colocados na saída serem uma média de várias medições efectuadas durante 40ms (25Hz de frequência de amostragem):

Característica	Típico	Mínimo	Máximo
Temperatura	25°C	-10°C	60°C
Voltagem	5V	4,5V	5,5V
Alcance	-	10cm	80cm
Corrente	35mA	-	-
Frequência de amostragem	25Hz	-	-
Saída	Analógica, proporcional à distância		

Tabela 3.3 – Características do sensor Sharp Gp2d12

3.1.4 - Placa Arduíno

De modo a receber a informação proveniente dos sensores e transformar essa informação em comandos ou mensagens escolheu-se a placa MC-Nove com um microprocessador Atmega 328p. Esta placa não é um produto Arduíno oficial, mas sim uma placa compatível com a Duemilanove oficial, sendo idêntica em todas as funcionalidades. Os factores de escolha nesta placa incidiram principalmente sobre o facto de só se precisar de seis pinos analógicos de entrada visto que só seriam utilizados seis sensores de distância. Para além desse factor a funcionalidade e o preço acessível da placa foram factores essenciais na escolha.



Figura 3.4 – Placa MC-Nove

As principais características da placa MC-Nove são as apresentadas na Tabela 3.4, para além das já referidas no Capítulo 2.

Característica	Típico	Mínimo	Máximo
Voltagem	7-12V	6V	20V
Microprocessador	ATmega328p		
Pins Digitais	14		
Pins Analógicos	6		
Memória Flash (Bytes)	32K		

RAM (Bytes)	2K
EEPROM (Bytes)	1K
Velocidade de processamento	16MHz

Tabela 3.4 – Características da placa MC-Nove

3.1.5 – Software

Relativamente às tecnologias a serem usadas, optou-se por usar a comunicação OSC em vez de MIDI, visto que OSC permite maior liberdade na sua utilização, não precisa de hardware específico para fazer a ligação com o computador e permite fazer integração com outras aplicações para além de áudio (ex: vídeo) o que dá uma maior versatilidade ao projecto. De modo a implementar-se as mensagens OSC usou-se o *Processing* para receber as mensagens vindas da placa Arduíno por porta série e transformar o conteúdo das mesmas em mensagens OSC enviadas depois em pacotes UDP para o endereço que o utilizador pretenda.

3.2 – Circuitos eléctricos

Uma vez realizada a escolha dos componentes foi necessário construir os circuitos eléctricos e ligá-los à placa Arduíno de modo a que esta conseguisse receber a informação dos estados dos diferentes componentes e comunicar essa mesma informação para o exterior. Os circuitos construídos para os diferentes componentes foram os seguintes:

3.2.1 – Laser

Para os módulos laser não foi necessário criar nenhum circuito de raiz visto que estes já vinham preparados sendo apenas necessário ligar um fio à terra e outro a uma alimentação de 5V, como exemplificado na Figura 3.5.

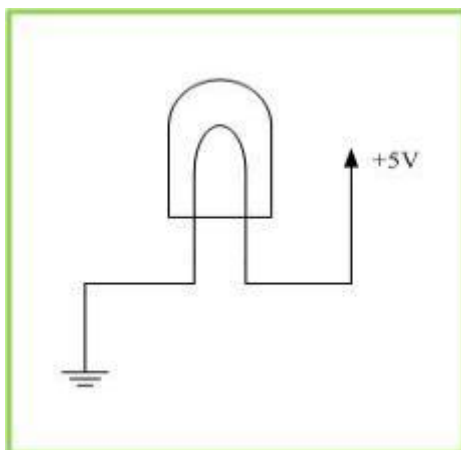


Figura 3.5 – Circuito de alimentação dos lasers

3.2.2 – Sensor de Luz (LDR)

Para os sensores de luz tinha-se projectado inicialmente um circuito com um amplificador visto que a voltagem de saída dos sensores é pequena, contudo ao executarem-se testes com a placa Arduíno chegou-se à conclusão que o amplificador não era necessário uma vez que se conseguia distinguir perfeitamente através dos pinos digitais quando o sensor estava iluminado pelo laser, ou o oposto. Como tal o circuito criado foi o seguinte:

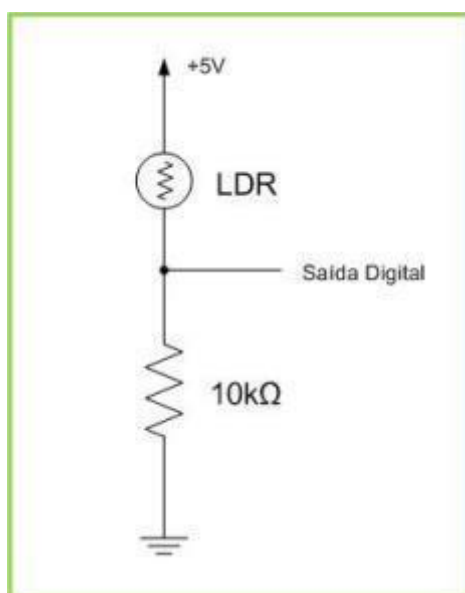


Figura 3.6 – Circuito eléctrico dos sensores de luz

Feixe laser	Luz	Resistência LDR	Voltagem	Pin Digital
Presente	Muita luz	Mínima	Máxima	HIGH
Ausente	Pouca luz	Máxima	Mínima	LOW

Tabela 3.5 – Funcionamento do sensor de luz (LDR)

Através da Tabela 3.5 consegue-se perceber o funcionamento do sensor de luz. Quando o feixe laser está presente, ou seja, o utilizador não está a interceptar o feixe, a luz a incidir no sensor será máxima, o que faz com que a resistência do sensor seja mínima. Com base na seguinte fórmula referente ao circuito projectado,

$$V = \frac{10k}{LDR+10k} * 5 \quad (3.1)$$

temos uma voltagem máxima (~5V) e consequentemente o pino digital assume o estado HIGH, isto é, o valor 1. Já quando o utilizador intercepta o feixe laser, a luz a incidir no sensor será mínima, o que leva a que a resistência no LDR seja máxima e o que faz com que a voltagem, segundo a fórmula 1.1 seja mínima. Logo o pino digital a que está ligado o sensor terá o estado LOW, ou seja o valor 0.

3.2.3 – Sensor de Distância

Para os sensores de distância foi preciso um circuito um pouco mais complexo como se verificar no esquema da Figura 3.7. Colocaram-se dois condensadores à entrada do circuito para anular eventuais picos de corrente que pudessem danificar o sensor e para guardar corrente que será usada pelo sensor em cada medição feita. Na saída do circuito colocou-se um filtro RC passa baixo de modo a se obter um melhor sinal analógico na saída ao reduzir-se variações de frequência acima dos 700 Hz.

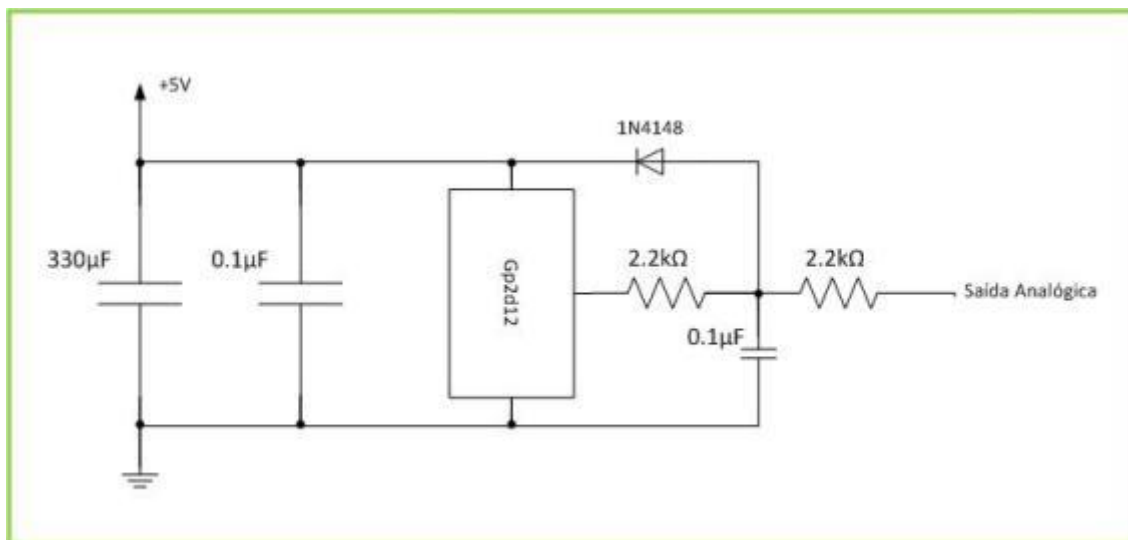


Figura 3.7 – Circuito eléctrico dos sensores de distância Gp2d12

De modo a transformar os valores de tensão recebido na placa Arduino numa distancia em cms foi preciso efectuar uma linearização desse valores, sendo que essa transformação é conseguida através da seguinte fórmula,

$$R = \frac{6787}{V-3} - 4, \quad (3.2)$$

tendo-se que se conseguiu chegar à formula (1.2), através do seguinte processo [26]:

Primeiro recolheram-se amostras do sensor das distâncias entre 0 e 80cm, obtendo-se os valores da Figura 3.8, onde os valores de tensão são correspondentes aos valores do conversor analógico para digital de 10 bits da placa Arduino.

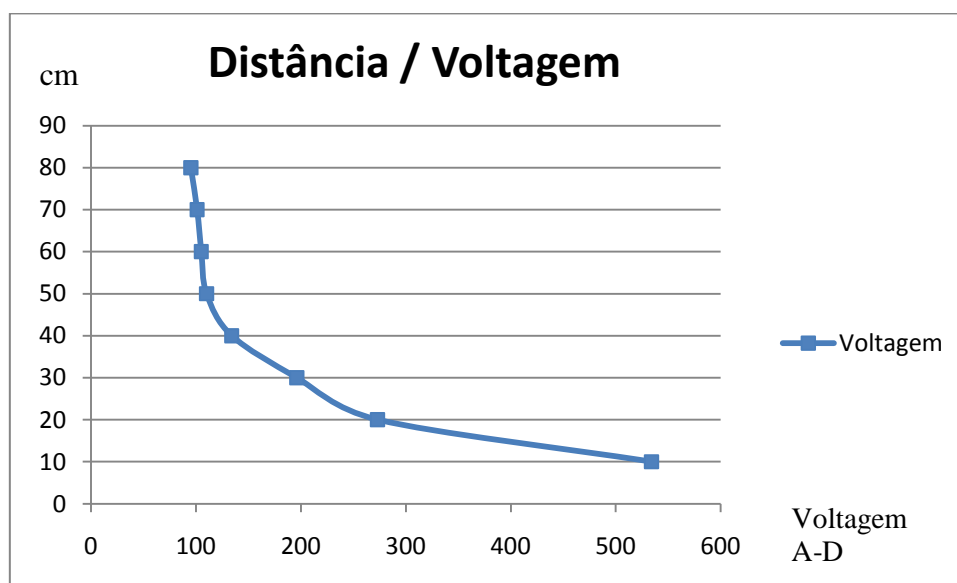


Figura 3.8 – Voltagem vs distância

Depois de terem sido obtidos os valores e usando-se a equação fornecida pela folha de especificações do sensor [27],

$$V = \frac{1}{R+k}, \quad (3.3)$$

verificou-se que se consegue uma boa linearização dos valores para $k=4$, onde o k é a constante de calibração do sensor. Após este passo foi necessário encontrar uma linha que relacione a tensão com a função linearizada. Logo, usando a equação de uma recta,

$$y = m * x + b, \quad (3.4)$$

em que $y = \frac{1}{R+k}$ e $x=V$, obtêm-se a seguinte equação,

$$\frac{1}{R+k} = m * V + b \quad (3.5)$$

Fazendo um reajuste obtêm-se,

$$R = \frac{1}{m*V+b} - k \quad (3.6)$$

Esta ultima equação funciona bem para programas com virgula flutuante, contudo pode ser rearranjada para virgula fixa ao assumir-se que $m' = \frac{1}{m}$ e $b' = \frac{b}{m}$, o que dá origem a,

$$R = \frac{m'}{V+b'} - k \quad (3.7)$$

Ao usar os valores retirados nas medições do sensor e assumindo o valor $k=4$ consegue-se fazer uma regressão linear e obter os seguintes valores, $m' = 6787$ e $b' = 3$, o que dá origem à equação 3.2, usada no programa a correr na placa Arduino com bons resultados.

3.2.4 - Interruptores

Também se colocaram dois interruptores no protótipo construído, sendo que inicialmente seriam usados para fazer a transição entre diferentes modos implementados no micro controlador da placa Arduino, referidos na Secção 3.3.1. Contudo chegou-se à conclusão que apenas no *software* do computador se poderiam fazer as diferentes variações, tendo em conta a maior facilidade de implementação nesse ambiente por parte dos utilizadores típicos da harpa. Como tal os botões permitem dar ao utilizador mais controlo sobre o protótipo e criar novas nuances. O circuito elaborado é muito semelhante ao usado nos sensores de luz, uma vez que os botões do tipo on-off também estão ligados aos pinos digitais da placa Arduino.

3.3 – Software

Uma vez ligados os diferentes componentes à placa Arduíno o próximo passo consistiu em construir o código que corresse no micro controlador da placa e lesse os estados dos diferentes componentes e enviasse pela porta série essa mesma informação. Essa informação é depois recebida e processada pelo código a correr no *Processing*.

3.3.1 – Código Arduíno

O código a correr na placa Arduíno sofreu várias alterações ao longo do projecto, sendo que nas primeiras versões, criaram-se vários modos que corriam em paralelo e eram seleccionados a partir dos dois interruptores. Estes modos enviavam informações sobre as notas e a velocidade (distância) e estavam construídos da seguinte forma:

- Modo 1 – cada laser corresponde a uma nota predefinida e à distância corresponde a velocidade da nota (equivale a quão forte foi tocada a nota).
- Modo 2 – a cada laser corresponde quatro notas predefinida, que irão ser tocadas conforme a distância a que está a mão do utilizador.
- Modo 3 – a cada laser corresponde uma nota aleatória e à distância corresponde a velocidade da nota (equivale quão forte foi tocada a nota).
- Modo 4 – a cada laser corresponde uma nota predefinida e a distância mudaria uma característica musical como o timbre.

A informação enviada pela porta série era então relativa às notas e características musicais, o que tornava a Harpa Laser um controlador mais rígido e limitado. Por isso chegou-se à conclusão que faria mais sentido enviar mensagens sobre o estado dos lasers e distâncias captadas pelos sensores, e que depois no software no computador é que se implementaria os diferentes modos, permitindo assim uma maior liberdade ao utilizador uma vez que é mais fácil mudar o *software* num computador do que no micro controlador.

Assim sendo a versão final do código a correr na placa Arduíno está dividida em diferentes funções:

void setup

Esta é uma das funções base dos programas em Arduíno, e nela estabelece-se os parâmetros que irão ser usados pelo micro controlador. No programa implementado o único parâmetro que

teve que ser estabelecido foi a taxa de transmissão (*baud rate*) da porta série, tendo-se escolhido 9600 bits/s, visto que as mensagens enviadas pela porta série são de 4bytes = 32bits, o que permite enviar 300 mensagens por segundo.

void loop

Esta é outra função base dos programas em Arduino, e nela estão a correr constantemente as instruções do programa construído. É esta função que lê o estado dos diferentes sensores e botões, processa essa informação e chama a função *SendInfo* para enviá-la pela porta série. Esta função pode ser dividida em duas partes, a primeira em que se vê o estado dos dois botões e a segunda em que se vê o estado dos sensores. Ao longo desta função são chamadas outras funções como *SendInfo* ou *calculateDistance* para executar operações auxiliares como enviar dados pela porta série ou ler e calcular valores dos sensores de distância.

A função *loop* num primeiro momento verifica qual o estado actual dos botões e averigua se mudaram de estado desde a última verificação. Caso tenham ocorrido mudanças num dos interruptores é enviada uma mensagem com o novo estado desse interruptor. A verificação do estado de um dos interruptores está esquematizada no fluxograma na Figura 3.9.

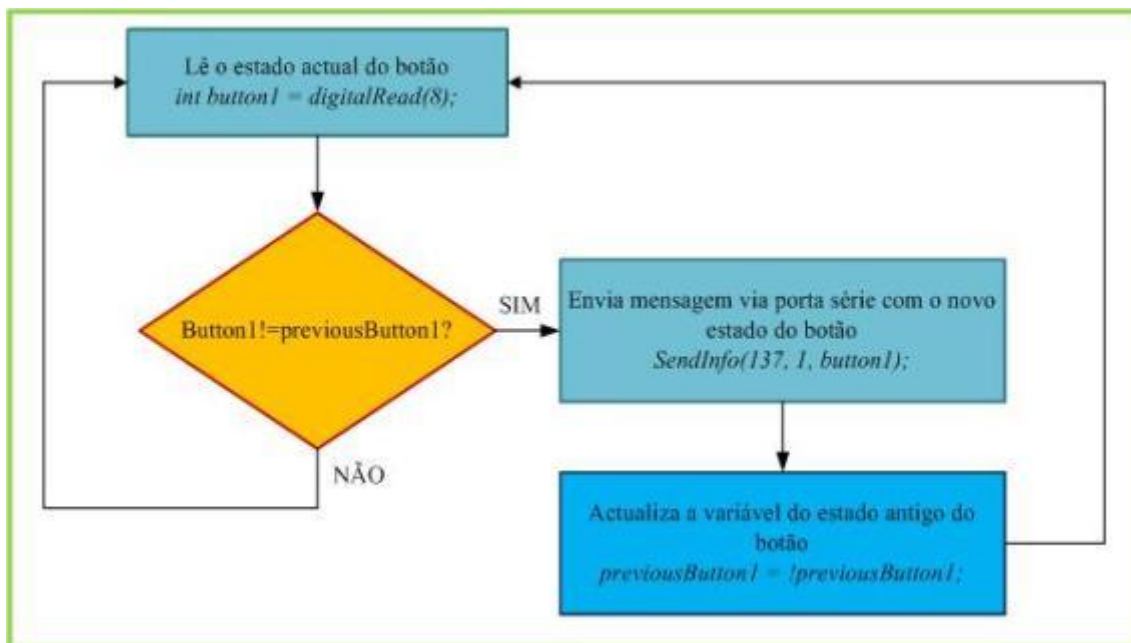


Figura 3.9 – Fluxograma da verificação do estado dos interruptores

Após a verificação do estado dos interruptores, é feita uma verificação do estado dos sensores de luz em comparação com o seu último estado, e só no caso de haver diferenças é que se procede à leitura dos sensores de distância e envio dessa informação, sendo que esta verificação está esquematizada na Figura 3.10. É importante referir que se o estado de algum dos sensores de luz estiver em *LOW*, ou seja, se o laser continuar a ser interceptado por um utilizador, é lido e calculado o valor do sensor de distância correspondente e essa informação é enviada pela porta série. Uma vez que a frequência de amostragem do sensor de distância é de 25Hz, como foi referido anteriormente, só precisamos de ler um novo valor a cada 40ms, como tal vamos ter alguma segurança nos valores obtidos se fizermos a leitura do sensor a cada 30ms.

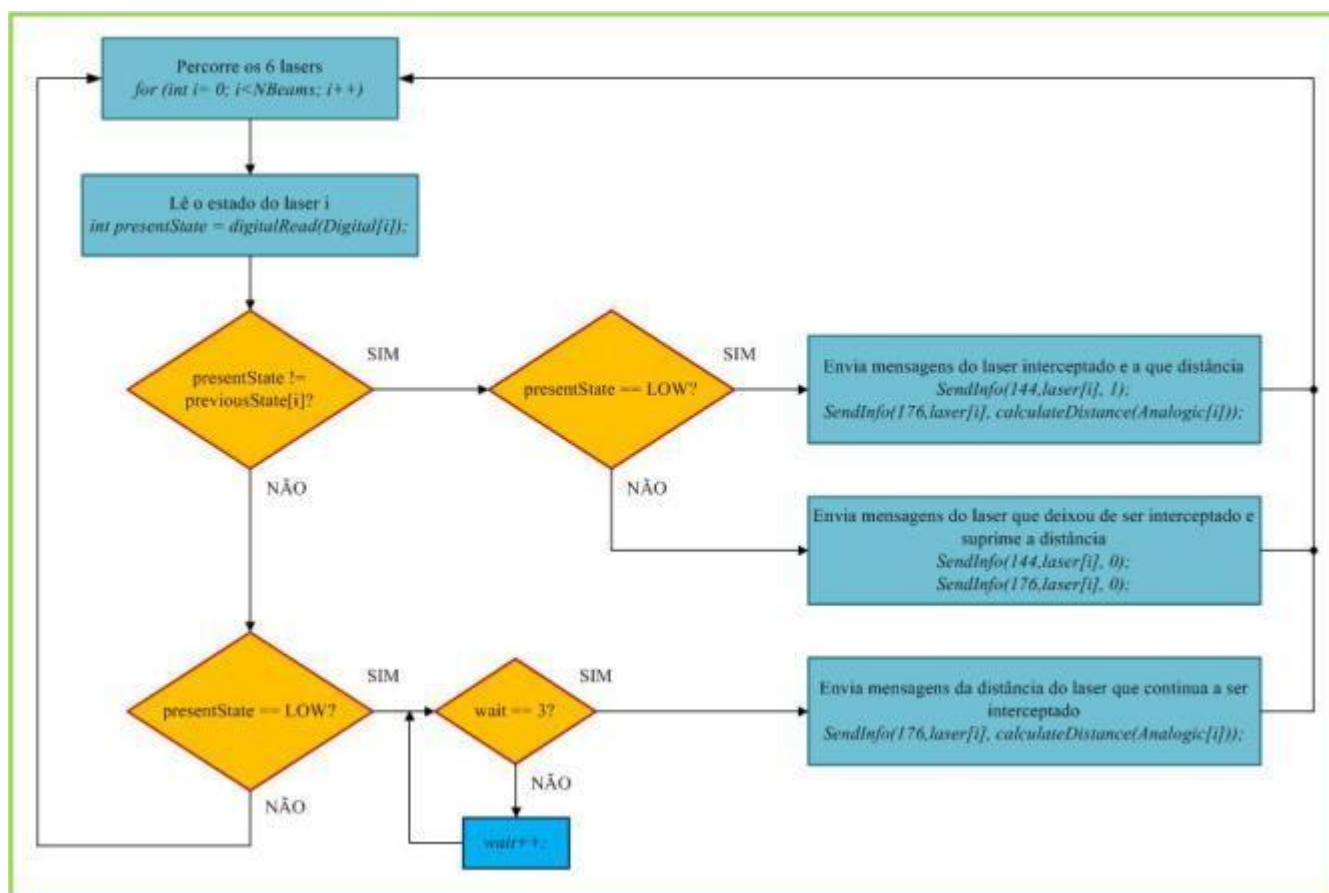


Figura 3.10 – Fluxograma da verificação do estado dos lasers

Para além das funções base do Arduino foram também criadas as seguintes três funções auxiliares:

int calculateDistance(byte i)

Esta função é chamada no ciclo principal do programa, a função *loop*, e recebe como parâmetro de entrada o byte *i* que é usado para saber qual o sensor de distância que se quer ler.

A função chama por sua vez a função *ReadGp2d12Range* que devolve a distância obtida pelo sensor. Depois de receber esse valor, limitam-se os valores ao tamanho máximo do protótipo, e faz-se uma mudança de escala de 0-75 para 0-127. Também existe a opção de inverter os valores obtidos de modo a que os valores mais próximos do sensor sejam os mais altos, e os mais longe os mais baixos, contudo esta mudança também pode ser feita facilmente no *software* cliente.

float ReadGp2d12Range(byte i)

Esta função é chamada pela função *calculateDistance*, e é a partir dela que se lê o valor do sensor de distância referente ao parâmetro de entrada *i*, transformando-se o valor obtido em Volts para uma distância em cms, através da equação 3.2.

void SendInfo(char type, char byte1, char byte2)

A função *SendInfo* é usada sempre que se quer mandar uma mensagem, com a informação do estado dos botões ou sensores, para o exterior. Esta função recebe três parâmetros de entrada, em que o primeiro deles o *char type* é um número que identifica o tipo de mensagem segundo a seguinte Tabela,

<i>char type</i>	Conteúdo
137	Mensagem relativa ao estado dos botões
144	Mensagem relativa ao estado dos sensores de luz
176	Mensagem relativa ao estado dos sensores de distância

Tabela 3.6 – Informação contida no byte *type*

As mensagens enviadas pela porta série são compostas por quatro bytes, sendo o primeiro byte enviado o *check byte* com o valor 255 que sinaliza o envio de uma nova mensagem. Depois do *check byte* é enviado o *byte type* que indica a que tipo de sensor corresponde a mensagem. Finalmente são enviados os bytes de informação, com o *byte1* a enviar um número que identifica qual foi o sensor ou botão cujo estado foi modificado, e o *byte2* a enviar a informação

de on/off para o caso dos sensores de luz e dos botões, ou a enviar o valor da distância obtida pelos sensores de distância.

3.3.2 – Código Processing

Com o objectivo de tornar a Harpa Laser num controlador o mais versátil possível decidiu-se implementar as mensagens OSC. Uma alternativa para implementar esse protocolo seria usar uma *Ethernet Shield* para a placa Arduíno, contudo essa solução exigiria um maior esforço financeiro visto que seria necessário comprar esse componente. Como alternativa para construir as mesmas mensagens escolheu-se usar *Processing* para receber mensagens via porta série e a partir dessas mensagens construir as mensagens OSC que são enviadas em pacotes UDP para onde o utilizador quiser. A única desvantagem que se têm ao usar *Processing* está no facto de ser necessário instalar o software no computador a que for ligada a Harpa Laser.

Uma vez que o software Arduíno foi criado tendo como base *Processing*, existem muitas semelhanças entre as duas ferramentas, e conseqüentemente entre o código elaborado para cada uma delas. O código elaborado para *Processing* também se encontra dividido em funções como o código elaborado para Arduíno.

void setup()

É uma função base dos códigos *Processing* onde diversos parâmetros do programa são inicializados. Inicialmente estabelece-se uma *frame rate* de 25fps e também que a janela de apresentação visual terá um tamanho de 400x400 pixéis. Depois de estabelecer os dois parâmetros anteriores pode-se considerar que a função está dividida em duas secções uma para a porta série e outra para o protocolo OSC.

Na primeira secção é indicada ao programa qual a porta onde a placa Arduíno está ligada e a velocidade de transmissão de 9600bps, parâmetro que foi estabelecido no código Arduíno. Os comandos para implementar estas instruções são os seguintes,

```
String portName = Serial.list()[0];  
myPort = new Serial(this, portName, 9600);
```

De modo a implementar estes comandos foi necessário importar a biblioteca *processing.serial.**, e criar o objecto da classe *Serial*, *myPort*.

Na segunda secção desta função estabelecem-se os parâmetros para a comunicação do protocolo OSC. Indicando qual o endereço IP e a porta para onde se vão enviar os pacotes UDP

com as mensagens OSC. Por omissão o endereço a ser usado será o da própria máquina (127.0.0.1) e a porta será a 12000, contudo estas características podem ser mudadas pelo utilizador ao alterar as seguintes instruções,

```
oscP5 = new OscP5(this,12000);  
myRemoteLocation = new NetAddress("127.0.0.1",12000);
```

É necessário importar as bibliotecas *oscP5.** e *netP5.** para criar e ler mensagens OSC e para enviar e receber pacotes UDP respectivamente, e criar o objecto da classe *OscP5*, *oscP5*.

void draw()

É a outra função base dos programas em *Processing*, e bastante semelhante à função *loop* dos programas Arduino. Esta função vai executar continuamente as linhas de código contidas no seu interior até que o programa seja parado, e nunca deve ser chamada por outra função visto que já corre automaticamente no programa.

A partir das instruções presentes nesta função vai ser criada a janela de apresentação visual como a da Figura 3.11, onde é possível ao utilizador fazer uma rápida leitura do estado dos diferentes sensores, em vez de estar a consultar as mensagens na consola do *Processing*.

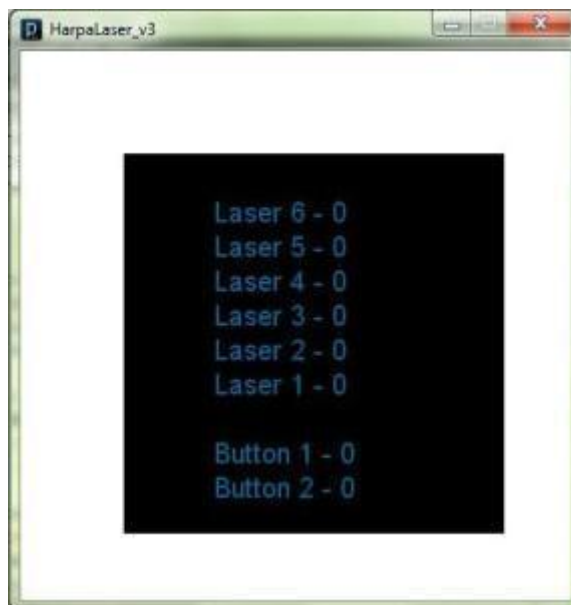


Figura 3.11 – Janela desenhada pela função *void draw*

void serialEvent(Serial myPort)

A partir desta função são recebidos, processados e guardados os bytes enviados pela placa Arduino e recebidos via porta série.

O primeiro passo a ser executado nesta função é ver se algum dado foi enviado pela placa Arduino e está disponível na porta série, sendo que isso é feito através da função, da biblioteca *Serial*, *myPort.available()*. Se houver algum dado disponível ele vai ser lido, guardado e impresso na consola com a ajuda da função, também da biblioteca *Serial*, *myPort.read()*.

Ao serem recebidos os valores pela porta série estes vão sendo processados e guardados nas respectivas variáveis de modo a depois poderem ser usados na construção das mensagens OSC, este processo está ilustrado pelo esquema da Figura 3.12,

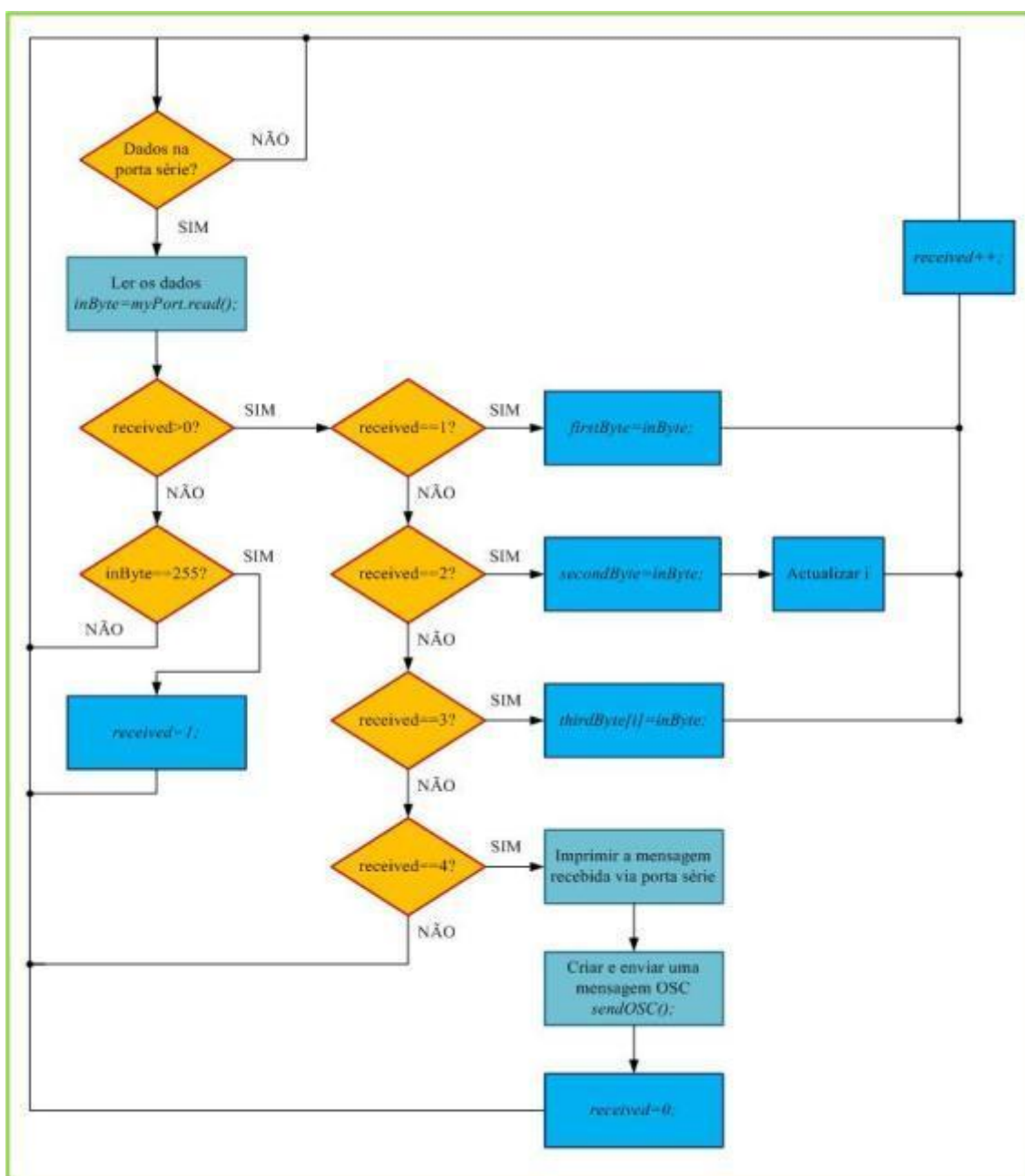


Figura 3.12 – Fluxograma da função *serialEvent* no Arduino

No esquema constata-se que quando existe informação na porta série o primeiro passo a ser executado é verificar se o primeiro byte recebido corresponde ao *check byte* 255. Se assim for, quer dizer que estamos a receber uma mensagem da placa Arduino e é lido o segundo byte guardando-o como o primeiro byte de informação na variável *firstByte*. Após esse byte receber-se o segundo e terceiro bytes de informação que são guardados nas variáveis *secondByte* e *thirdByte[i]* respectivamente.

É importante referir que aquando da recepção do segundo byte de informação vai-se verificar o valor do *firstByte* (que é o byte *type* enviado pela placa Arduino) de modo a se saber se foi um sensor ou botão que mudaram de estado. Após essa informação e comparando o valor do *secondByte* (que é o número do sensor ou botão) é incrementada a variável *i* respectiva de modo a depois ser apresentada a informação de mudança de estado na janela gráfica do *Processing*, ilustrada na Figura 3.11.

Depois de recebidos os quatro bytes da mensagem via porta série, *check byte* mais os três bytes de informação, imprime-se essa mensagem recebida na consola e chama-se a função *sendOSC()* para criar e enviar a mensagem OSC respectiva.

void sendOSC()

A função *sendOSC* vai servir para criar as mensagens OSC usando como parâmetros de entrada as variáveis globais *firstByte*, *secondByte* e *thirdByte[i]*. Nesta função vê-se qual o valor do *firstByte* para distinguir qual o tipo de mensagem a ser enviado, podendo ser relativa aos botões, sensores de luz ou sensores de distância. Nesta função é preciso fazer a declaração da mensagem OSC a ser criada através da seguinte instrução,

```
OscMessage myMessage = new OscMessage("/laserharp/");
```

Mensagem Porta Série			Mensagem OSC
<i>firstByte</i>	<i>secondByte</i>	<i>thirdByte[i]</i>	
137	1-2	0-1	<i>/laserharp/button/secondByte thirdByte[i]</i>
144	1-6	0-1	<i>/laserharp/laser/secondByte thirdByte[i]</i>
176	1-6	0-127	<i>/laserharp/distance/secondByte thirdByte[i]</i>

Tabela 3.7 – Tabela da relação entre mensagens série e OSC

A partir da Tabela 3.7 podemos relacionar as mensagens OSC que são criadas a partir das mensagens recebidas pela porta série. Por exemplo caso recebamos uma mensagem da placa Arduino via porta série com a informação que o botão 2 passou de um estado *off* para *on* então a seguinte mensagem OSC será enviada:

```
/laserharp/button/2 1
```

A partir do esquema da Figura 3.13 consegue-se ter uma ideia mais clara do funcionamento desta função,

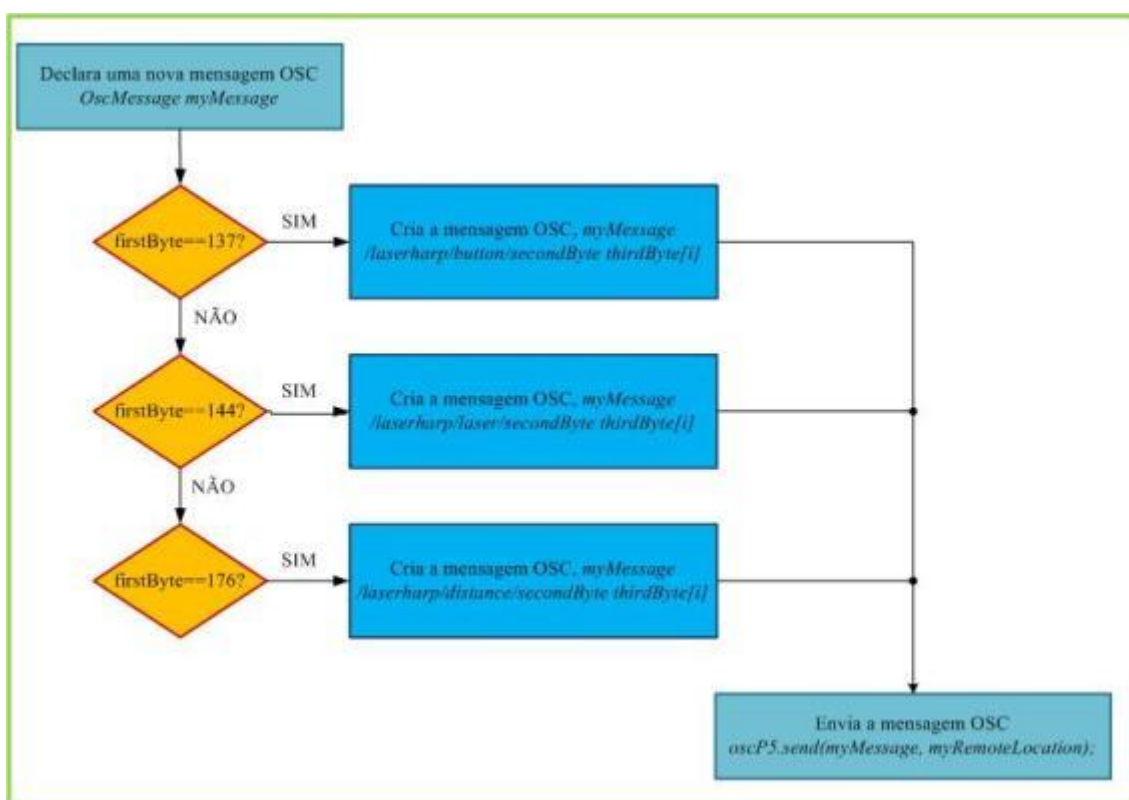


Figura 3.13 – Fluxograma da função sendOSC

void oscEvent(OscMessage theOscMessage)

Esta função foi criada apenas para verificar o conteúdo das mensagens OSC enviadas, de modo a confirmar que os valores enviados coincidem com os recebidos pela porta série. Nesta função recebe-se e lê-se as mensagens OSC quando são enviadas para o endereço da própria máquina (127.0.0.1) e imprime-se essa informação na consola do *Processing*.

3.4 – Estrutura do protótipo

Após terem sido testados os diferentes componentes e respectivos circuitos, projectou-se uma estrutura para um protótipo a partir do qual se conseguiria de um modo fácil e funcional controlar os diferentes actuadores.

A estrutura projectada e construída pode ser dividida em duas partes, a base e o suporte vertical, e pode ser visualizada na Figura 3.14. A base é uma caixa em madeira onde assentam os lasers, os botões e os sensores de distância, e que têm no seu interior a placa Arduino e os circuitos dos diferentes componentes. O suporte vertical é composto por três tubos de plástico (PVC) por onde passam os fios dos sensores de luz e em que no tubo superior estão os sensores de luz alinhados com os lasers.

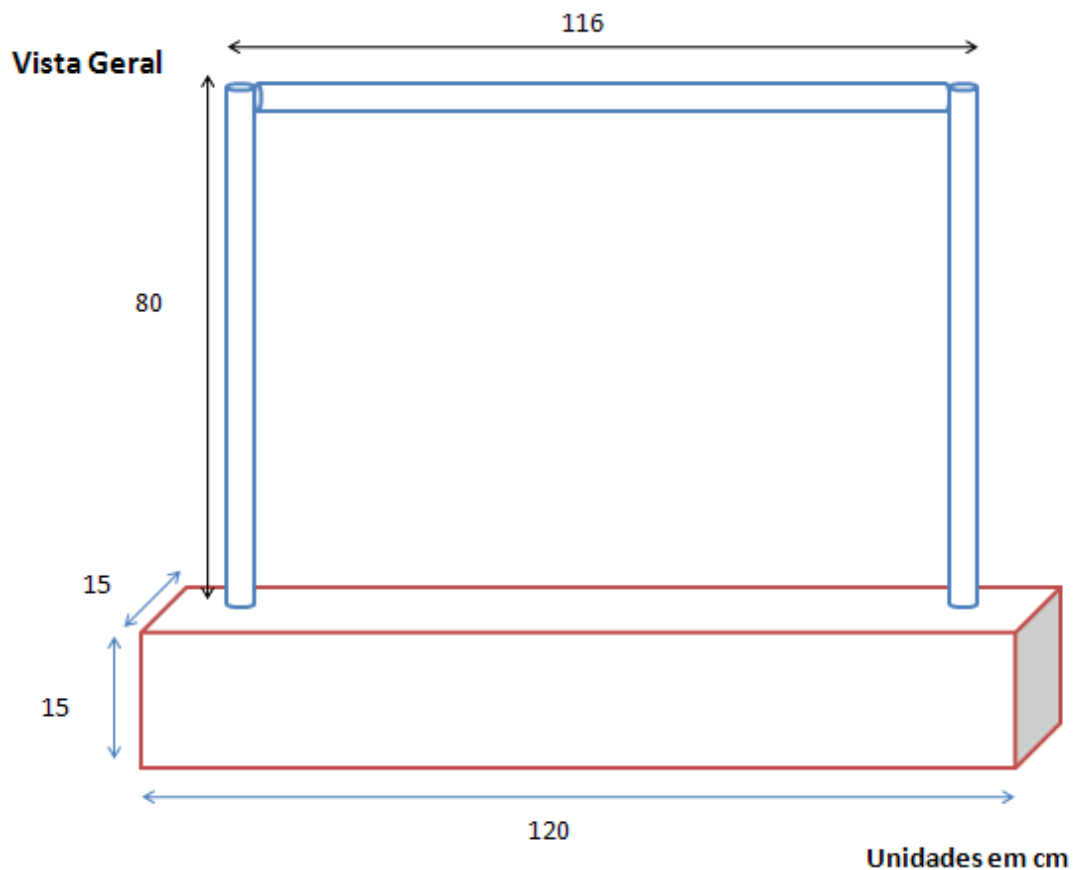


Figura 3.14 – Estrutura projectada para o protótipo

3.4.1 – A base

A base da estrutura foi feita em forma de caixa a partir de seis placas de madeira com as dimensões do esquema da Figura 3.15:

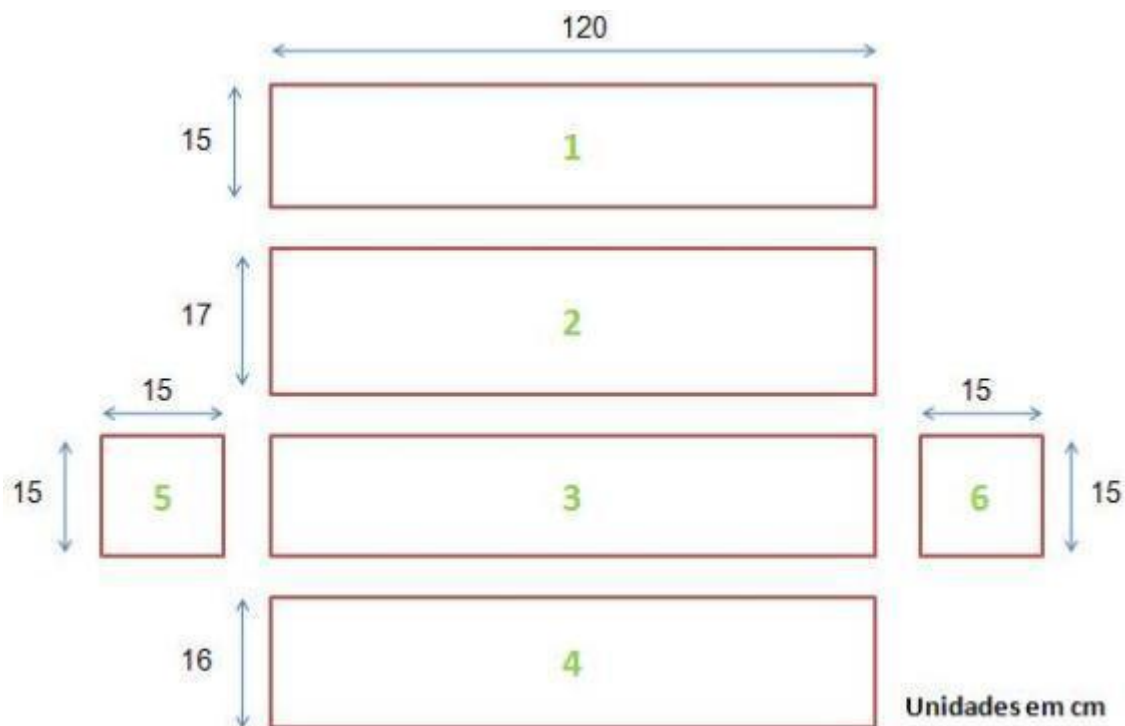


Figura 3.15 – Projecção da base do protótipo

Entre as placas 3 e 4 colocou-se uma dobradiça de modo a se conseguir aceder aos circuitos internos e à placa Arduino em caso de necessidade. Todas as placas têm uma espessura de 1cm e a construção da caixa conseguiu-se com o auxílio de tachas e cola branca, esta última usada com o intuito de dar maior robustez à estrutura. A placa 1 é a que fica no topo da caixa e onde estão assentes os lasers, botões e sensores de distância, e por isso mesmo foi preciso fazer alguns furos conforme o seguinte esquema,



Figura 3.16 – Esquema da parte superior da base do protótipo

No esquema da Figura 3.16, os círculos cinzentos representam os lasers, as caixas de 3 cm de comprimento são os sensores de distância. Os círculos de 2 cm de diâmetro nas pontas da caixa são os furos por onde passam os tubos de plástico que fazem parte da estrutura que suporta os sensores de luz.

3.4.2 – O suporte vertical

A última parte a ser construída foi o suporte vertical que foi feito a partir de três tubos PVC unidos a partir de duas junções também em PVC. No tubo superior estão os sensores de luz alinhados com os lasers, e de modo a diminuir as interferências da luz natural fixaram-se pequenos cilindros metálicos em redor dos sensores de luz. As dimensões do suporte vertical estão ilustradas no esquema da Figura 3.17.

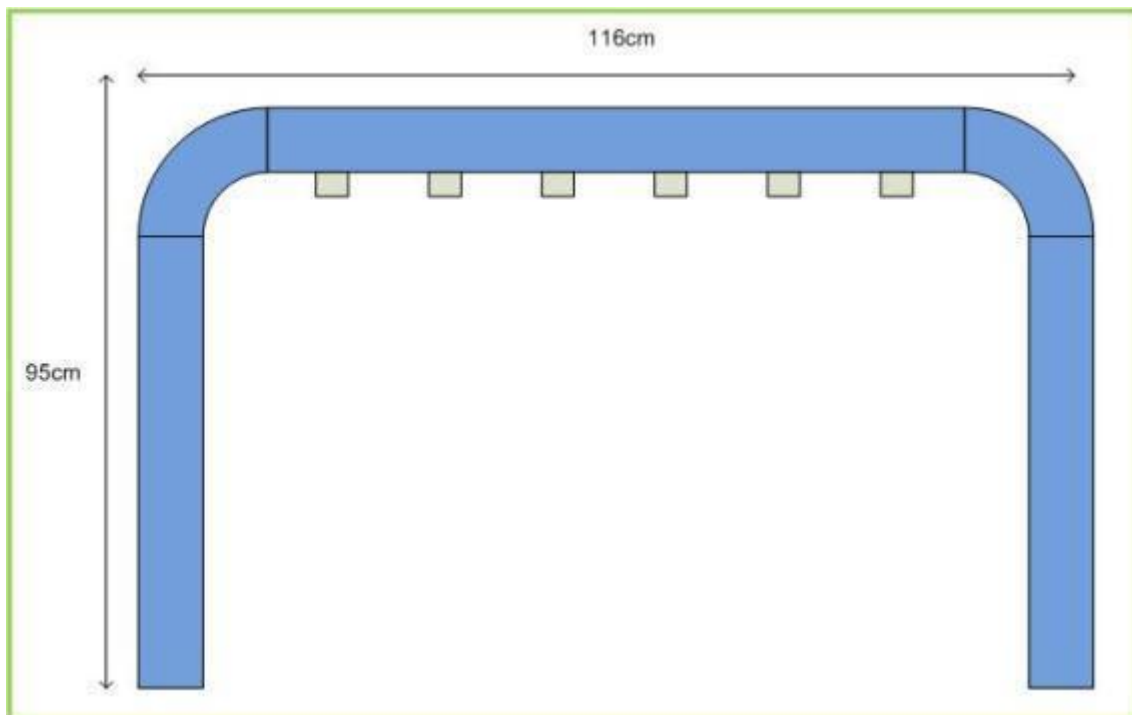


Figura 3.17 – Dimensões do suporte vertical

3.5 – Resumo

O protótipo construído é composto por seis módulos lasers vermelhos direccionados para seis sensores de luz do tipo LDR, e em que a cada laser é acompanhado por um sensor de distância de infravermelhos Sharp Gp2d12. Foram acrescentados ainda dois interruptores que podem ajudar a fornecer ao utilizador um controlo ainda maior sobre a Harpa Laser. Tanto os sensores de luz como os interruptores foram ligados a pinos digitais da placa Arduíno, já os sensores de distância estão ligados a pinos digitais. Em anexo encontra-se um esquema geral das ligações e circuitos destes componentes.

A partir da placa Arduíno e do *software* a correr no seu microprocessador é possível saber qual o estado de cada componente e se houve alguma alteração e enviar essa informação para o exterior através da porta série. Os dados enviados via porta série são recebidos e processados pelo *software* a correr no *Processing* o que permite criar as mensagens OSC e difundi-las em pacotes UDP.

A estrutura montada permite que a Harpa Laser se assuma como um controlador que pode ser utilizado por qualquer pessoa de uma forma prática e funcional.

Capítulo 4 – Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e a forma como foi desenvolvido o protótipo de modo a que cumprisse todos os requisitos inicialmente planeados. Também são referidas as aplicações adicionadas ao projecto e que incrementam as funcionalidades do mesmo.

"Uma única demonstração impressiona-me mais do que cinquenta factos."

Denis Diderot

O principal resultado do projecto será obviamente o facto de se ter conseguido construir e implementar um protótipo da Harpa Laser totalmente funcional, contudo a esse protótipo foram-se acrescentando novas aplicações que permitiram acrescentar mais funcionalidades ao projecto inicialmente idealizado e conseqüentemente torná-lo mais completo.

O desenvolvimento do protótipo da Harpa Laser pode ser dividido em três versões em que a cada uma corresponde uma data, 6 de Maio, 10 de Maio e 8 de Junho, as últimas duas datas foram dias em que ocorreram apresentações do projecto ao público.

4.1 – Versão 1

A 6 de Maio estava implementada uma primeira versão do protótipo, como pode ser verificado na Figura 4.1.



Figura 4.1 – Harpa Laser no dia 6 de Maio

Nesta versão a estrutura já estava totalmente construída, e a Harpa Laser já enviava mensagens OSC com o estado dos diferentes componentes, faltando apenas fazer a integração com software que recebesse essas mensagens OSC e convertesse-as em sons. Também estava previsto pintar o protótipo de modo a melhorar a apresentação e design do mesmo.

4.2 – Versão 2

No dia 10 de Maio, dia em que estava previsto fazer uma apresentação na Universidade Católica do Porto, tinha-se uma versão melhorada do protótipo mostrada na Figura 4.2.



Figura 4.2 – Harpa Laser no dia 10 de Maio

Nesta versão a pintura da Harpa Laser foi completada e foi feita a integração com o *Puredata*, um software com a potencialidade de sintetizar som a partir das mensagens OSC enviadas. A programação em *Puredata* foi dividida em dois momentos, a síntese de som e a recepção das mensagens OSC, sendo a última parte está ilustrada na Figura 4.3.

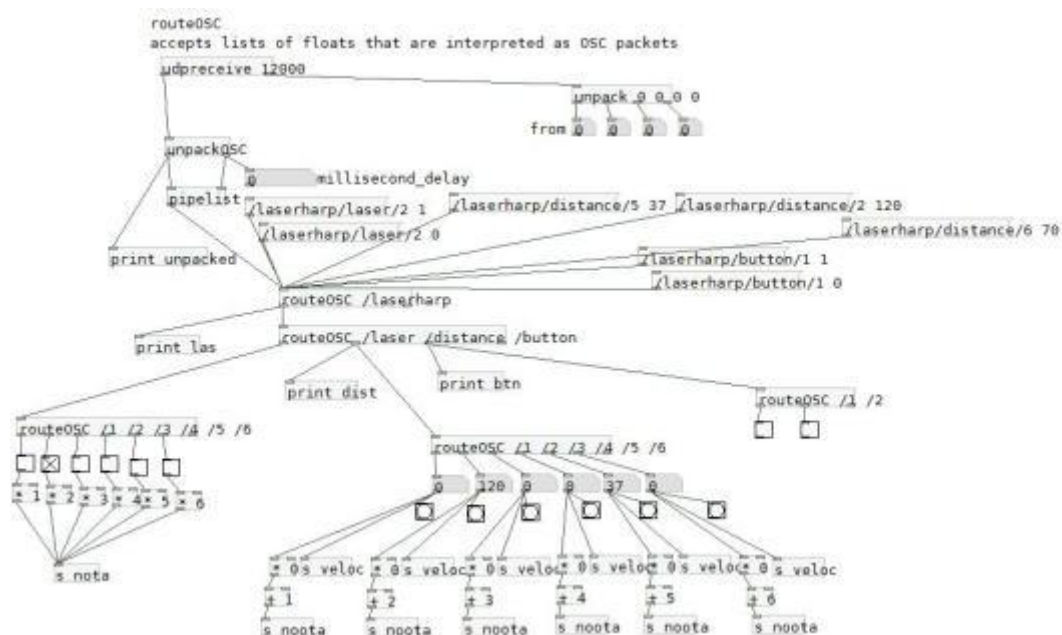


Figura 4.3 – Parte I do programa em *Puredata*

A programação em *Puredata* faz-se de uma forma inovadora como se pode constatar na Figura 4.3 o que faz com que inicialmente seja um pouco difícil de compreender e usar. Nesta parte I do programa os pacotes UDP enviados pelo *Processing* são recebidos, e a porta 12000 foi seleccionada uma vez que tinha sido escolhida no programa a correr no *Processing*. Depois de recebidos os pacotes as mensagens OSC são lidas através da ajuda da função *routeOSC* já implementada em *Puredata*, e os diferentes parâmetros vão ser guardados em diferentes variáveis dependendo do conteúdo das mensagens (interruptores, laser, distância).

A síntese do som é feita depois de se receber as mensagens e saber quais os parâmetros de entrada, ou seja quais os lasers que estão activos e a que distância. A cada laser fez-se corresponder um acorde de cordas de oito notas, e a distância muda a velocidade a que estes são tocados. Na Figura 4.4 está uma parte do programa em *Puredata* que faz essa síntese sonora, contudo existem mais partes que não estão ilustradas. Ao receber-se uma mensagem OSC de um laser interrompido a variável “nota” é activada e consequentemente vai ligar a “função” “strummer” que vai escolher entre oito acordes previamente definidos, ou seja a cada nota vai corresponder um acorde diferente. A distância a que ocorre a intercepção do laser vai interferir com a velocidade a que o acorde é tocado. Depois de seleccionado o acorde este vai ser enviado para um filtro e vai ser feita a síntese sonora.

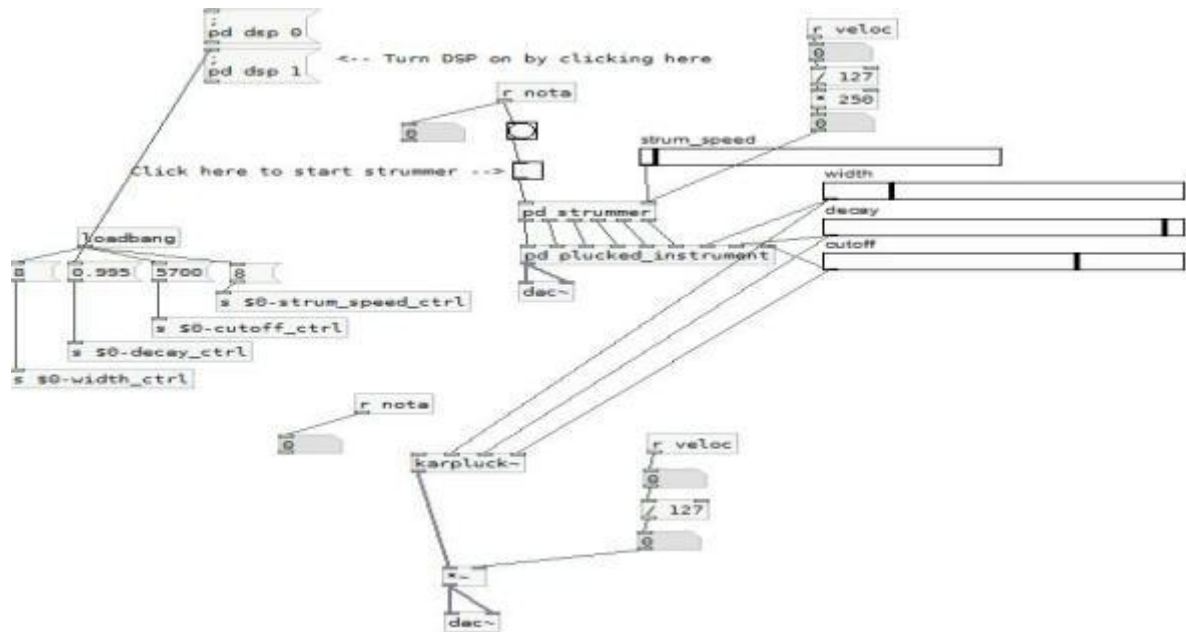


Figura 4.4 – Parte II do programa em *Puredata*

A apresentação do projecto foi extremamente positiva para o projecto visto que o público pôde interagir com a Harpa Laser e houve a possibilidade de recolher *feedback* sobre as suas opiniões e impressões relativamente ao projecto. Na generalidade as críticas obtidas foram bastante positivas como se pode observar na Figura 4.5, onde a classificação está distribuída numa escala de 1 a 5.

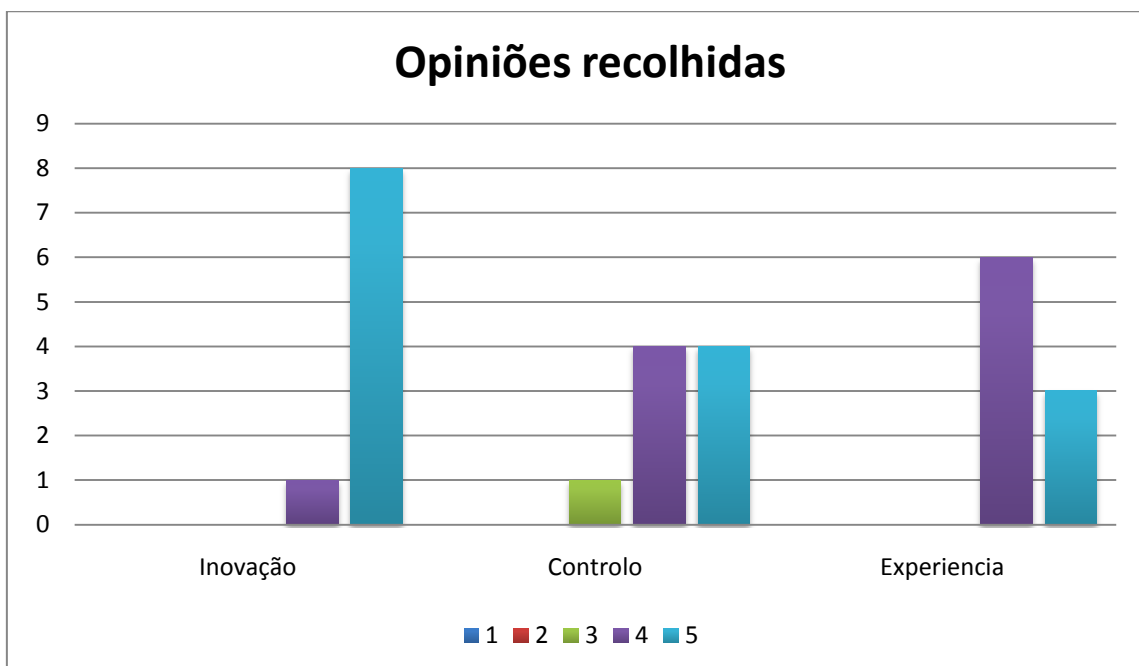


Figura 4.5 – Distribuição das classificações recolhidas relativamente à Harpa Laser

Para além do feedback mais quantitativo também se recolheram algumas sugestões da audiência com o objectivo de melhorar a Harpa Laser e o seu funcionamento. As sugestões que se revelaram mais pertinentes estavam relacionadas com a possibilidade de juntar ao projecto uma aplicação que permitisse obter uma visualização da interacção do utilizador com os diferentes componentes.

4.3 – Versão 3

A 8 de Junho fez-se uma demonstração na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A versão apresentada neste evento era em tudo semelhante à da apresentação posterior, mudando só no facto de se ter feito um refinamento das mensagens OSC a serem enviadas e de se ter juntado uma animação em *Processing*. Esta última adição ao projecto veio de encontro com o que tinha sido sugerido no evento anterior.

A animação criada consiste em figuras geométricas que mudam de cor consoante os lasers que estiverem activos e em que a velocidade dos seus movimentos está relacionada com a distância obtida pelos sensores de distância dos lasers activos.

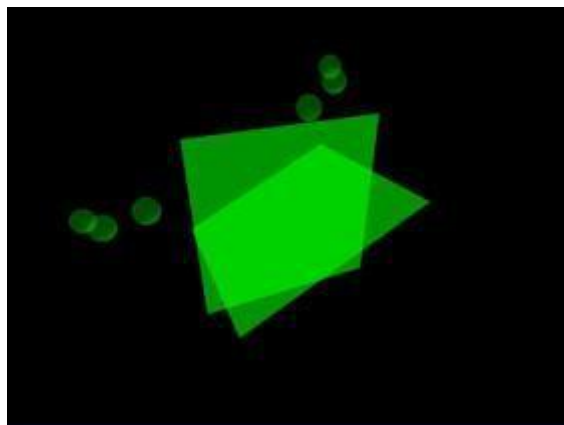


Figura 4.6 – Animação em *Processing*

4.4 – Resumo

Uma vez feita a escolha dos componentes, idealizados os circuitos, projectada a estrutura e por fim montado o protótipo só faltava fazer a ligação a alguma ferramenta que permitisse a síntese sonora. Devido ao facto de se ter escolhido o protocolo OSC obteve-se uma grande liberdade na escolha dessa ferramenta (MAX/MSP, *Puredata*) de síntese, acabando-se por seleccionar *Puredata* devido à facilidade com que se consegue sintetizar som.

Tendo uma Harpa Laser totalmente funcional só faltava fazer demonstrações ao público de modo a se conseguir recolher as suas impressões e receber sugestões que permitissem melhorar o projecto. Foram feitas duas demonstrações: uma na Universidade Católica do Porto e uma na Faculdade de Engenharia do Porto.

A partir dessas demonstrações foi possível constatar com agrado o entusiasmo com que o público recebeu o projecto, para além de também ter-se conseguido recolher algumas sugestões como a inclusão de animações visuais que permitiram tornar a Harpa Laser num projecto mais completo.

Capítulo 5 – Conclusão

Neste capítulo estão as proposições finais que foram alcançadas ao longo do trabalho realizado neste projecto. As asserções descritas neste capítulo são o culminar da consideração de evidências, argumentos e premissas expostas ao longo deste relatório.

"A recompensa de uma coisa bem feita é tê-la feito."

Ralph Waldo Emerson

5.1 - Discussão

Ao longo do projecto Harpa Laser foi necessário tomar várias decisões e fazer diferentes escolhas de modo a se conseguir um protótipo funcional que fosse de encontro com os requisitos propostos inicialmente.

No desenvolvimento do projecto da Harpa Laser foi preciso ultrapassar vários obstáculos e cumprir diversas etapas. O trabalho realizado ao longo do projecto pode ser dividido nos seguintes momentos,

1. Escolha do tipo de Harpa Laser a implementar;
2. Escolha dos diferentes componentes e fornecedores;
3. Implementação, testes e integração dos diferentes componentes;
4. Desenvolvimento de software;
5. Construção de um protótipo e integração com aplicações de síntese sonora ou animações visuais;
6. Apresentações do projecto ao público;
7. Refinação e melhorias finais ao projecto.

Em cada um destes momentos foi preciso tomar decisões relativamente a diferentes possíveis opções, sendo que ao longo desta dissertação tentou-se transmitir quais as opções disponíveis, quais as mais fiáveis para o projecto e qual o caminho percorrido e o porquê da escolha desse rumo.

A Harpa Laser construída é do tipo *Framed*, e é composta por seis lasers direccionados para seis sensores de luz, e com um sensor de distância distribuído por cada laser. Para além destes componentes também se introduziram dois interruptores que podem ser usados em versões futuras, de modo a permitir um maior controlo aos utilizadores. Cada sensor de luz ou interruptor está conectado à placa Arduino por um pino digital, e cada sensor de distância por um pino analógico, o que permite ao *software* a correr no micro controlador da placa saber qual o estado de cada componente e enviar essa informação via porta série. A informação enviada pela porta série é recebida e processada pelo *software* a correr no *Processing* de modo a serem criadas e enviadas mensagens OSC.

A introdução das mensagens OSC em vez de MIDI permitiu obter uma maior liberdade de acção uma vez que se pode ligar a Harpa Laser a aplicações muito mais diversificadas, e que não se resumem apenas a aspectos musicais.

Depois de completado o protótipo foi feita a integração com software em *Puredata*, com o fim de receber e processar as mensagens OSC e a partir da informação do estado dos controladores fazer a síntese sonora.

Para além dessa integração para síntese sonora, também se incorporou uma animação em *Processing* com o intuito de transmitir de uma forma mais visual a interacção do utilizador com os diferentes actuadores da Harpa Laser.

O resultado final do projecto Harpa Laser é um protótipo totalmente funcional que envia mensagens OSC sobre o estado dos diferentes dispositivos. É a partir dessas mensagens que há total liberdade para os utilizadores de integrarem diferentes tipos de aplicações ao projecto.

Todos os objectivos previstos foram atingidos e consequentemente pode-se dizer que o resultado final correspondeu às expectativas inicialmente criadas.

5.2 - Melhorias Futuras

É possível fazer algumas melhorias à Harpa Laser, tornando-a ainda mais versátil e completa. Actualmente as duas opções que se apresentam como adições viáveis são:

- Projecto *Hiduino* – é um projecto em desenvolvimento pela equipa Arduíno para criar um *firmware* (conjunto de instruções operacionais programadas directamente no *hardware*) que implemente comunicação directa USB-MIDI. Já foram feitos alguns testes com projectos em que se conseguiu implementar esta comunicação contudo, foi necessário fazer grandes alterações ao *hardware* e *software* da placa Arduíno nesses testes. Como tal ainda é preciso esperar por uma versão mais completa que permita uma fácil integração com a placa Arduíno propriamente dita. Quando essa versão for disponibilizada, a adaptação para comunicação OSC será bastante intuitiva o que permitirá evitar usar o *Processing* como uma plataforma que recebe mensagens via porta série e cria e envia mensagens OSC, fazendo-se essa comunicação automaticamente por USB.
- Aplicação interactiva – pode-se acrescentar uma aplicação interactiva do tipo *guitar hero* ao projecto. Este é um videojogo muito popular em que se pode tocar músicas através de diferentes controladores em forma de guitarra ou bateria. Seria bastante interessante tentar a integração da Harpa Laser com um jogo deste género uma vez que tornaria o projecto extremamente interactivo e com grande impacto visual.

5.3 - Considerações Finais

Este projecto permitiu não só colocar em prática e desenvolver diversos conhecimentos recebidos ao longo do curso, como aprender novos conceitos e procedimentos. Esta aprendizagem prática e aplicação de conhecimentos directa assume grande importância uma vez que se consegue reter muita mais informação e experiência ao colocar em funcionamento os fundamentos teóricos aprendidos em projectos práticos, é uma aprendizagem do tipo “*Learning by doing*”.

O desenvolvimento da Harpa Laser foi um desafio onde o ultrapassar de dificuldades e obstáculos culminou num resultado prático funcional e de acordo com o inicialmente previsto. É natural que haja espaço de manobra para maiores desenvolvimentos no projecto, uma vez que as

tecnologias estão em constante evolução tal como a mente humana. É por essa razão que esta dissertação não deve ser encarada como um ponto de chegada do projecto mas sim como um ponto de partida, em que os preparativos já foram feitos. Existem muitas possibilidades que podem ser exploradas, e portas que podem ser abertas já que a Harpa Laser foi criada de forma a permitir grande liberdade aos seus utilizadores e consequentemente incentivar a inovação e criatividade de quem vier a seguir.

*"Há pessoas que vêem as coisas como elas são e que perguntam a si mesmas:
"Porquê?" e há pessoas que sonham as coisas como elas jamais foram e que
perguntam a si mesmas: "Por que não?"."*

George Bernard Shaw

Referências

- [1] NATTIEZ, JEAN-JACQUES, "MUSIC AND DISCOURSE: TOWARD A SEMIOLOGY OF MUSIC", CAROLYN ABBATE, TRANSLATOR, 1990 PRINCETON UNIVERSITY PRESS.
- [2] "NOVA ENCICLOPÉDIA LAROUSSE", 1983, SELECÇÕES DO READER'S DIGEST, PÁGINA 1406.
- [3] CAMPBELL, MURRAY; GREATED, CLIVE A.; MYERS, ARNOLD, "MUSICAL INSTRUMENTS: HISTORY, TECHNOLOGY, AND PERFORMANCE OF INSTRUMENTS OF WESTERN MUSIC", OXFORD UNIVERSITY PRESS.
- [4] HARPA LASER. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/LASER_HARP](http://www.en.wikipedia.org/wiki/LASER_HARP).
- [5] HOBBLEY, STEPHEN. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.STEPHENHOBBLEY.COM/BLOG/LASER-HARP-2009/THE-LASER-HARP-PAGES](http://www.stephenhobley.com/blog/laser-harp-2009/the-laser-harp-pages)
- [6] JARRE, JEAN MICHAEL. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.AEROJARRE.BLOGSPOT.COM/](http://www.aerobarre.blogspot.com/)
- [7] WESCHLER, MATTHEW. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.SCIENCE.HOWSTUFFWORKS.COM/LASER](http://www.science.howstuffworks.com/laser)
- [8] LEGISLAÇÃO SOBRE LASER. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.NET4TRUTHUSA.COM/_AWESOMELASERS/21CFR1040.HTM](http://www.net4truthusa.com/_AWESOMELASERS/21CFR1040.HTM)
- [9] APLICAÇÕES DE DIFERENTES CLASSES DE LASER. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.NET4TRUTHUSA.COM/_AWESOMELASERS/LASERCLASSCHART.HTM](http://www.net4truthusa.com/_AWESOMELASERS/LASERCLASSCHART.HTM)
- [10] ARENAS, ANNA GRACIELA, "A SENSOR-BASED INTERACTIVE DIGITAL INSTALATION SYSTEM FOR VIRTUAL PAINTING USING MAX/MSP/JITTER" TESE DE MESTRADO EM CIÊNCIA DA UNIVERSIDADE A&M DO TEXAS
- [11] BLUESOLEIL. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.BLUESOLEIL.COM](http://www.bluesoleil.com)
- [12] "PROJECTO NATAL". DISPONÍVEL EM [HTTP://BLOG.SEATTLEPI.COM/DIGITALJOYSTICK/ARCHIVES/169993.ASP](http://blog.seattlepi.com/digitaljoystick/archives/169993.asp)
- [13] EYETOY PLAYSTATION. DISPONÍVEL EM [HTTP://PT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/EYETOY](http://pt.wikipedia.org/wiki/EyeToy)
- [14] PLACAS ARDUÍNO. DISPONÍVEL EM [HTTP://ARDUINO.CC/EN/MAIN/HARDWARE](http://arduino.cc/en/Main/Hardware)

- [15] CUARTIELLES, DAVID (2010-02-17). "ÖPPNADE HÅRDVARAN OCH SKAPADE ARDUINO". METRO TEKNIK: 10. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.FLICKR.COM/PHOTOS/DCUARTIELLES/4381919054/SIZES/L/](http://www.flickr.com/photos/dcuartielles/4381919054/sizes/l/)
- [16] FICHA TÉCNICA DA PLACA MC-NOVE COM O MICROPROCESSADOR ATMEGA328. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.FARNELL.COM/DATASHEETS/625785.PDF](http://www.farnell.com/datasheets/625785.pdf)
- [17] ROSS, DAVE. DISPONÍVEL EM [HTTP://ENTERTAINMENT.HOWSTUFFWORKS.COM/MIDI.HTM/PRINTABLE](http://entertainment.howstuffworks.com/midi.htm/printable)
- [18] ARBONÉS, JAVIER E MILRUD, PABLO – "A HARMONIA É NUMÉRICA", 2011, RBA COLECCIONABLES
- [19] PHILLIPS, DAVE, "OSC", NOV 12, 2008, LINUX JOURNAL. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.LINUXJOURNAL.COM/CONTENT/INTRODUCTION-OSC>](http://www.linuxjournal.com/content/introduction-osc)
- [20] PROCESSING. DISPONÍVEL EM [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/PROCESSING PROGRAMMING LANGUAGE](http://en.wikipedia.org/wiki/Processing_programming_language)
- [21] PROCESSING WEBSITE. DISPONÍVEL EM [HTTP://PROCESSING.ORG](http://processing.org)
- [22] KILPATRICK, ANDREW. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.ANDREWKILPATRICK.ORG/?P=LASER_HARP](http://www.andrewkilpatrick.org/?p=LASER_HARP)
- [23] HOBLEY, STEPHEN. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.STEPHENHOBLEY.COM/BLOG/LASER-HARP-2009](http://www.stephenhobley.com/blog/laser-harp-2009)
- [24] HASSAN, LEILA – "VISUAL FRETS FOR A FREE-GESTURE MUSICAL INTERFACE", MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE THESIS AT THE MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, JUNE 2001. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.MEDIA.MIT.EDU/RESENV/PUBS/THESES/LEILA-THESIS.PDF](http://www.media.mit.edu/resenv/pubs/theses/leila-thesis.pdf)
- [25] FABIO, MICHAEL A. – "THE CHANDELIER: AN EXPLORATION IN ROBOTICS MUSICAL INSTRUMENT DESIGN", MASTER OF SCIENCE THESIS AT THE MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, JUNE 2007. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.DSPACE.MIT.EDU/BITSTREAM/HANDLE/1721.1/39342/173610628.PDF](http://www.dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/39342/173610628.pdf)
- [26] VALENCIA, JAVIER "READ Gp2D12 RANGE SENSOR", 2008. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.ACRONAME.COM/ROBOTICS/INFO/ARTICLES/IRLINEAR/IRLINEAR.HTML](http://www.acroname.com/robotics/info/articles/irlinear/irlinear.html)
- [27] FOLHA DE CARACTERÍSTICAS DO SENSOR Gp2D12. DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.SHARPSMA.COM/WEBFM_SEND/1203](http://www.sharpsma.com/webfm_send/1203)

Anexos

Esta secção engloba informação, fotos e esquemas pertinentes à compreensão do trabalho realizado ao longo do projecto.

Harpa Laser em fase de desenvolvimentos



Apresentação da Harpa Laser na Universidade Católica do Porto



Apresentação da Harpa Laser na Universidade Católica do Porto



Apresentação da Harpa Laser na Universidade Católica do Porto



Esquema geral da ligação dos circuitos

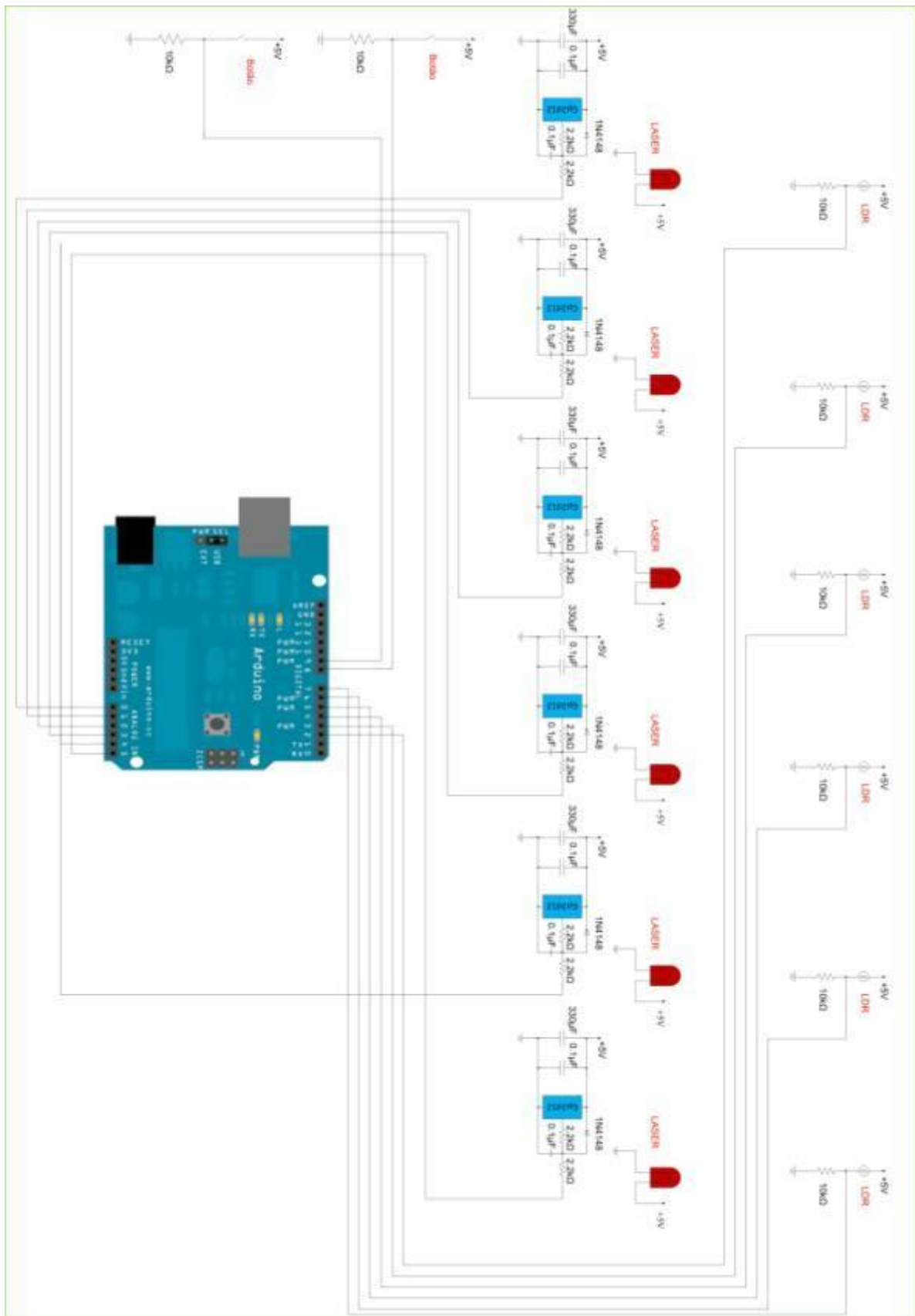
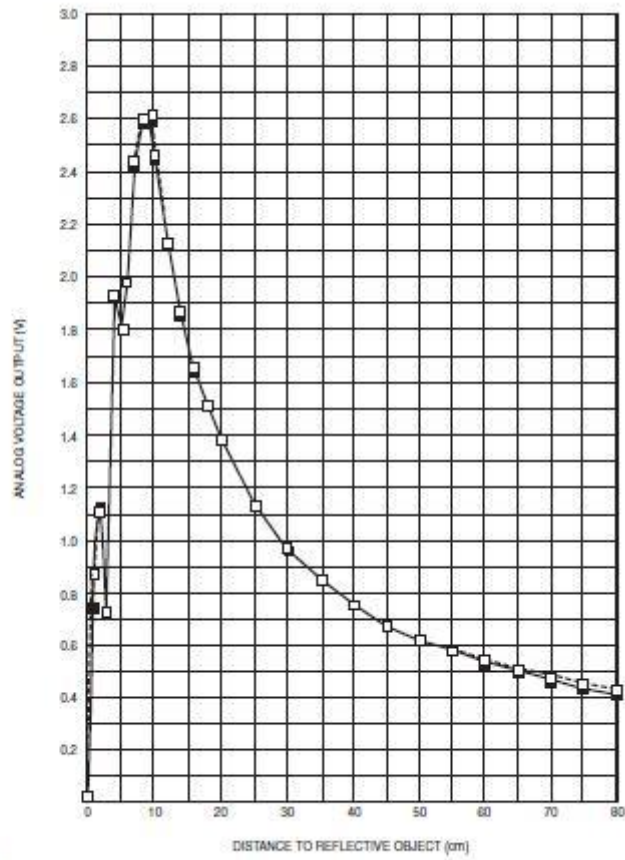


Gráfico da folha de características do sensor Sharp Gp2d12

Tensão/Distância



NOTES:
—■— White paper (Reflectance ratio 90%)
—□— Gray paper (Reflectance ratio 18%)

Gráfico da folha de características do sensor Sharp Gp2d12

Tensão de saída por inverso da Distância

