



Instituto Politécnico de Tomar

**Escola Superior de Tecnologias de Tomar**

**Pedro Gonçalo Miranda Acúrcio**

**Estágio na NOVOTECNA  
Associação para o Desenvolvimento  
Tecnológico**

Relatório de Estágio

Orientado por:

Professor Adjunto Raul Monteiro  
Instituto Politécnico de Tomar

Relatório de Estágio apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica - Especialização em Controlo e Eletrónica Industrial







## RESUMO

---

Este relatório é referente ao estágio curricular de mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Controlo e Eletrónica industrial, que decorreu durante o ano letivo 2014/2015.

O âmbito do estágio consistiu no contacto com máquinas de comando numérico computadorizado (CNC), métodos e processos de fabricação digital e dinamização e divulgação do conceito FabLab, através de atividades no espaço FabLab Coimbra.

No decorrer do relatório será descrito e explicado alguns dos processos de fabricação digital mais comuns e será mostrado os equipamentos existentes e utilizados no laboratório do FabLab Coimbra. Serão descritas as atividades que foram realizadas para a dinamização e divulgação do espaço FabLab.

**Palavras-chave:** Fabricação digital; Prototipagem rápida, FabLabs; Máquinas CNC; CAD/CAM; DIY.



## ABSTRACT

---

This report is relative of a traineeship, inserted into the masters degree in Electrotechnical Engineering – Control and Industrial Electronics, which occurred in the school year 2014/2015.

This traineeship was about the contact with machines of computerized numeric command (CNC), methods and processes of digital production, dinamization and divulgation of FabLab, by some activities in the FabLab Coimbra.

Over this report, it will be described and explained the most common important processes of digital production and it will be presented the existing and used equipments in the laboratory of FabLab Coimbra. It will be described the activities which was occurred for the dinamization and divulgation of FabLab space.

**Keywords:** Digital fabrication; Rapid prototyping; FabLabs; CNC machines; CAD/CAM; DIY.



## AGRADECIMENTOS

---

Quero agradecer ao meu orientador do Intuito Politécnico de Tomar, Professor Raul Monteiro, pela ajuda dada na realização deste relatório.

Quero agradecer a todo o pessoal pertencente à NOVOTECNA pela amizade e disponibilidade que demonstraram desde início.

Quero agradecer ao FabLab Coimbra, ao diretor e meu orientador de estágio, Engenheiro José Viana, e ao Engenheiro Sérgio da Silva pelos conhecimentos e pelo apoio dado.

Quero agradecer à minha família e namorada pelo incentivo, coragem e apoio dado durante o mestrado e especialmente durante esta reta final.

Quero agradecer também a todos os colegas de Curso pela amizade, companheirismo e apoio ao longo de toda esta jornada académica.



# ÍNDICE

RESUMO .....	III
ABSTRACT .....	V
AGRADECIMENTOS .....	VII
ÍNDICE.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE TABELAS .....	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS .....	XIX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XXI
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 NOVOTECNA .....	1
1.1.1 FabLab Coimbra .....	4
1.1.2 Associação Fablabs Portugal .....	5
1.2 Fabricação Digital.....	5
1.2.1 Processos aditivos.....	6
1.2.1.1 Modelação por Extrusão de Plástico (FDM) .....	7
1.2.1.2 Sinterização Seletiva por Laser (SLS).....	8
1.2.1.3 Estereolitografia (SLA) .....	9
1.2.1.4 Impressão 3D a jato de tinta (3DP) .....	10
1.2.1.5 Fusão por Feixe de Eletrões (EBM) .....	11
1.2.1.6 Fabricação de Objetos por Camadas (LOM).....	12
1.2.2 Processos subtrativos.....	12
1.2.2.1 Fresagem CNC .....	13
1.2.2.2 Corte a laser .....	14
1.2.2.3 Corte a jato de água .....	15

2	O ESTÁGIO.....	17
2.1	Equipamentos e sua manutenção.....	17
2.1.1	Máquina de corte e gravação a laser por dióxido de carbono .....	18
2.1.1.1	Descrição do equipamento .....	18
2.1.1.2	Manutenção do equipamento .....	20
2.1.2	Máquina de corte de Vinil.....	22
2.1.2.1	Descrição do equipamento .....	22
2.1.2.2	Manutenção do equipamento .....	23
2.1.3	Fresadora CNC.....	24
2.1.3.1	Descrição dos equipamentos .....	24
2.1.3.2	Manutenção dos equipamentos .....	27
2.1.4	Impressoras 3D.....	28
2.1.4.1	Descrição dos equipamentos .....	28
2.1.4.2	Manutenção da Impressora profissional.....	30
2.1.4.3	Manutenção da Impressora de “baixo custo” .....	33
2.2	Sistema de aspiração .....	36
2.3	FlashFab .....	38
2.3.1	“Projetos” de eletrónica.....	38
2.3.1.1	LED RGB.....	38
2.3.1.2	Ventoinha comandada por temperatura.....	39
2.3.1.3	LED comandado por infravermelhos .....	40
2.4	Site da Associação FabLabs Portugal e FabLab Coimbra .....	41
2.4.1	WordPress <sup>[14]</sup> .....	43
2.5	Fabteens.....	44
2.5.1	1º FabTeen.....	44
2.5.1.1	Blink.....	44

2.5.1.2	Semáforo com passadeira .....	45
2.5.1.3	LED comandado por LDR.....	46
2.5.2	Fabteen robótica .....	46
2.5.2.1	Exemplos de exercícios .....	47
2.5.2.1.1	Ventoinha (Motor DC).....	47
2.5.2.1.2	Deteção de objeto por sensor infravermelho .....	47
2.5.2.2	Robô seguidor de linha .....	48
2.5.2.2.1	Diagrama de blocos .....	49
2.5.2.2.2	Sistemas de locomoção .....	49
2.5.2.2.3	Sensor de infravermelhos.....	51
2.5.2.2.4	Módulo de gestão de energia .....	53
2.5.2.2.5	Modulo Bluetooth .....	55
2.5.2.2.6	Módulo infravermelho .....	56
2.5.2.2.7	Estrutura do robô .....	58
2.6	Robô de demonstração.....	58
2.6.1	Diagrama de blocos .....	59
2.6.2	Sistema de locomoção .....	59
2.6.3	Alimentação do sistema.....	60
2.6.4	Sensor ultrassons .....	62
2.6.5	Estrutura do robô .....	63
2.7	Maquete romana .....	64
3	Conclusão .....	67
4	Referências bibliográficas .....	69
5	Anexos.....	71
5.1	Sistema de aspiração, pág.36.....	71
5.2	LED comandado por infravermelhos, pág.40.....	71

5.3	Blink, pág.44 .....	72
5.4	Semáforo com passadeira, pág.45 .....	72
5.5	LED comandado por LDR, pág.46.....	74
5.6	Ventoinha (Motor DC), pág.47 .....	74
5.7	Deteção de objeto por sensor infravermelho, pág.48 .....	75
5.8	Robô seguidor de linha, pág.48 .....	76
5.9	Robô de demonstração, pág.59 .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Edifício NOVOTECNA, localizado no Complexo Tecnológico de Coimbra.....	2
Figura 2 – Laboratório FabLab Coimbra.....	5
Figura 3 – Representação do processo FDM.....	7
Figura 4 – Representação do processo SLS.....	8
Figura 5 – Representação do processo SLA.....	9
Figura 6 – Representação do processo 3DP.....	10
Figura 7 – Representação do processo EBM.....	11
Figura 8 – Representação do processo LOM.....	12
Figura 9 – Representação do processo de fresagem.....	13
Figura 10 – Representação do processo de emissão de um feixe Laser.....	14
Figura 11 – Representação do processo de corte a jato de água.....	15
Figura 12 – Driver da máquina de corte e gravação laser.....	18
Figura 13 – Máquina de corte e gravação a laser.....	20
Figura 14 – Limpeza dos espelhos e lentes da máquina de corte e gravação a laser.....	21
Figura 15 – Veios da máquina de corte e gravação a laser onde é efetuada manutenção... ..	22
Figura 16 – Máquina de corte de vinil.....	23
Figura 17 – Exemplo de peças em 2,5D.....	24
Figura 18 – Fresadora CNC de grande porte.....	25
Figura 19 – Fresadora CNC de precisão.....	25
Figura 20 – <i>Driver</i> da fresadora CNC de precisão.....	26
Figura 21 – Representação do fuso da fresadora de precisão e zona de manutenção.....	27
Figura 22 – <i>Driver</i> da impressora 3D profissional.....	28
Figura 23 – <i>Driver</i> da impressora 3D de “baixo custo”.....	29
Figura 24 – Impressora 3D profissional.....	30
Figura 25 – Impressora 3D de “baixo custo”.....	30
Figura 26 – Escovas de limpeza das cabeças de extrusão da impressora 3D profissional..	31
Figura 27 – Escudo da cabeça de extrusão limpo e danificado, respetivamente.....	31
Figura 28 – Representação da manutenção de limpeza dos tubos do filamento.....	32
Figura 29 – Representação da remoção das cabeças de extrusão.....	32
Figura 30 – Painel de controlo da impressora 3D de “baixo custo”.....	33

Figura 31 – Impressora 3D de “baixo custo”, sensores de referência “zero” .....	34
Figura 32 – Sensor responsável pelo ponto de referência (em YY) da cabeça de extrusão	35
Figura 33 – Sensor responsável pelo ponto de referência (em XX) da base.....	35
Figura 34 – Botões de movimento da plataforma e cabeça de extrusão .....	36
Figura 35 – Representação do aspirador em causa .....	37
Figura 36 – Diagrama de blocos do sistema .....	37
Figura 37 – Esquemático da montagem LED RGB .....	39
Figura 38 – Esquemático da montagem da ventoinha comandada por temperatura .....	40
Figura 39 – Esquemático da montagem LED comandado por infravermelhos .....	41
Figura 40 – Aspeto final do <i>site</i> Associação FabLabs Portugal.....	42
Figura 41 – Aspeto do <i>site</i> FabLab Coimbra antes da remodelação .....	42
Figura 42 – Aspeto final do <i>site</i> FabLab Coimbra após remodelação .....	43
Figura 43 – Representação da montagem Blink.....	45
Figura 44 - Representação da montagem semáforo com passadeira.....	45
Figura 45 - Representação da montagem LED comandado por LDR.....	46
Figura 46 – Representação da montagem Ventoinha (Motor DC).....	47
Figura 47 – Representação da montagem Detecção de objeto por sensor infravermelho ....	48
Figura 48 – Robô seguidor de linha .....	48
Figura 49 – Diagrama de blocos do sistema robô seguidor de linha.....	49
Figura 50 – Módulo <i>driver Full-Bridge</i> utilizado para os motores.....	50
Figura 51 – Sensor de infravermelhos de 3 canais utilizado.....	51
Figura 52 – Esquema de um sensor infravermelhos .....	51
Figura 53 – Exemplo da deteção por reflexão.....	52
Figura 54 – Exemplo da posição do sensor IR perante a linha de percurso.....	52
Figura 55 – Conversor de tensão DC-DC <i>Buck-Boost</i> .....	53
Figura 56 – Placa de circuito impresso de gestão de energia.....	54
Figura 57 – Esquema do circuito implementado na placa de circuito impresso .....	54
Figura 58 – Interface da aplicação <i>Bluetooth</i> utilizada .....	55
Figura 59 – Módulo <i>Bluetooth</i> utilizado .....	55
Figura 60 – Esquema de ligação do módulo <i>Bluetooth</i> ao <i>Arduino</i> .....	56
Figura 61 – Esquema do circuito IR.....	57
Figura 62 – Módulo IR utilizado.....	57

Figura 63 – Estrutura do robô seguidor de linha .....	58
Figura 64 – Robô construído para demonstrações.....	59
Figura 65 – Diagrama de blocos do robô .....	59
Figura 66 – Imagem da disposição dos servomotores utilizados .....	60
Figura 67 – Representação do aspeto da placa de circuito impresso.....	61
Figura 68 – Esquema do circuito implementado na placa de circuito impresso .....	61
Figura 69 – Sensor de ultrassons utilizado .....	62
Figura 70 – Aspeto final da implementação do sensor de ultrassons .....	63
Figura 71 – Estrutura do robô.....	63
Figura 72 – Representação do aspeto final da Basílica .....	64
Figura 73 – Representação do aspeto final do Teatro .....	65
Figura 74 - Representação do aspeto final do Templo do Fórum .....	65
Figura 75 – Representação do aspeto final de um quarteirão de habitações ( <i>insulae</i> ).....	66



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Caraterísticas técnicas da máquina de corte e gravação a laser <sup>[9]</sup> .....	19
Tabela 2 – Caraterísticas técnicas da máquina de corte de vinil <sup>[10]</sup> .....	23
Tabela 3 – Caraterísticas técnicas da fresadora CNC de precisão <sup>[10]</sup> .....	27
Tabela 4 – Caraterísticas técnicas impressora 3D profissional <sup>[12]</sup> .....	29
Tabela 5 – Tabela de controlo do sentido de rotação dos motores DC .....	50



## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

2D – Duas dimensões

3DP – *Inkjet 3D Printing* (Impressão 3D a jato de tinta)

ABS – *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (Acrilonitrila butadieno estireno)

CAD – *Computer Aided Design* (Desenho assistido por computador)

CAM – *Computer Aided Manufacturing* (Fabrico assistido por computador)

CBA – *Center for Bits and Atoms* (Centro de Bits e Átomos)

CNC – *Computer Numeric Control* (Comando numérico computadorizado)

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

DPI – *Dots Per Inch* (Pontos por polegada)

EBM – *Electron Beam Melting* (Fusão por Feixe de Eletrões)

FDM – *Fused Deposition Modeling* (Modelação por extrusão de plástico)

HTML – *HyperText Markup Language* (Linguagem de Marcação de Hipertexto)

IR – *Infrared* (Infravermelho)

LASER – *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Amplificação da luz por emissão estimulada da radiação)

LDR – *Light Dependent Resistor* (Resistência dependente da luz)

MIT – *Massachusetts Institute of Technology* (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)

PCB – *Printed circuit board* (Placa de circuito impresso)

PLA – *Polylactic acid* (Poliácido láctico)

PWM – *Pulse Width Modulation* (Modulação por largura de pulso)

RGB – *Red Green Blue* (Vermelho Verde Azul)

RPM – Rotação por minuto

SLA – *Stereolithography* (Estereolitografia)

SLS – *Selective Laser Synthering* (Sinterização Seletiva por Laser)

UV – Ultravioleta

YAG – *Yttrium Aluminium Garnet* (Granada de ítrio e alumínio)



## LISTA DE SÍMBOLOS

% – Percentagem

A – Ampere

kB – QuiloByte

km/h – Quilómetros por hora

MB – MegaByte

mm/s – Milímetros por segundo

° – Graus

°C – Graus Celsius

V – Volt

W – Watt



# 1 INTRODUÇÃO

Este relatório descreve o estágio de mestrado que decorreu entre o mês de outubro de 2014 e o mês de junho de 2015, na associação NOVOTECNA.

No capítulo 1 começa-se por efetuar uma breve descrição da associação e das suas principais atividades e do seu laboratório de prototipagem rápida e fabricação digital. Por ser uma área relevante à envolvente do estágio realizado, faz-se também uma introdução à fabricação digital e descreve-se os processos básicos de prototipagem, e os seus métodos mais comuns.

No capítulo 2 descreve-se o estágio e alguns dos projetos realizados, quer no FabLab Coimbra quer na Associação FabLabs Portugal. As funções desempenhadas no FabLab Coimbra foram de cariz técnico enquanto que as funções desempenhadas na Associação FabLabs Portugal foram de natureza burocrática.

Finalmente, no capítulo 3 indicam-se as conclusões.

## 1.1 NOVOTECNA

A NOVOTECNA – Associação para o Desenvolvimento Tecnológico é uma associação sem fins lucrativos, constituída em 1989 pela maioria das Associações Empresariais da Região Centro, tendo como objetivo principal dar resposta à procura de investigação e inovação tecnológica, bem como formação de base tecnológica. Localizada no Complexo Tecnológico de Coimbra, Loreto, a NOVOTECNA está à disposição de todos os atores de inovação, profissionais e académicos, com especial enfoque na Região Centro. As necessidades de quadros técnicos intermédios para a indústria, levaram à criação de uma Escola Tecnológica, com o objetivo de continuar a formar e lançar para o mercado de trabalho centenas de jovens e adultos em áreas de especialização técnica e tecnológica de nível intermédio com uma procura crescente no mercado empresarial. A Escola Tecnológica foi uma iniciativa da NOVOTECNA, entidade gestora da mesma, iniciando as atividades letivas em Outubro de 1991, sendo acreditada como entidade formadora desde 1998.



Figura 1 – Edifício NOVOTECNA, localizado no Complexo Tecnológico de Coimbra

Dentro dos seus serviços a NOVOTECNA disponibiliza espaços devidamente infraestruturados, disponibilidade para utilizar equipamentos e os laboratórios disponíveis para o desenvolvimento de negócios.

Faz parte dos serviços um laboratório de prototipagem rápida e de fabricação digital, denominado FabLab Coimbra. Este disponibiliza o recurso a equipamentos para elaboração de protótipos e trabalhos, potenciando a dinamização a recursos tecnológicos.

O conceito FabLab (abreviação de *fabrication laboratory* ou como muitas vezes é chamado *fabulous laboratory*) surgiu no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), especificamente no laboratório interdisciplinar chamado *Center for Bits and Atoms* (CBA). Este conceito tem vindo a ser muito adotado por todo o mundo devido às suas funcionalidades.

Um FabLab é um centro de prototipagem rápida e de fabricação digital de objetos físicos. Neste momento já existem mais de quinhentos espalhados pelo mundo e estão todos ligados entre si pela rede global de FabLabs. <sup>[1]</sup>

O FabLab destina-se a empreendedores que querem passar mais rapidamente da fase do conceito à fase do protótipo, aos *designers*, aos artistas, aos estudantes que desejam experimentar e enriquecer os seus conhecimentos práticos em CAD/CAM e eletrónica; mas também aos *makers* (pessoas que criam os mais diversos objetos e projetos com as “suas próprias mãos”) e *hackers* (pessoas que fazem modificações em máquinas ou objetos) do século XXI, pessoas que querem implementar os seus projetos pessoais por elas próprias.

Os centros FabLab integram um conjunto de máquinas por comando numérico de nível profissional, porém de baixo custo. São exemplos, a máquina de corte a laser, a máquina de corte de vinil e a fresadora de precisão. Há também componentes eletrónicos,

bem como ferramentas de programação associadas a microcontroladores abertos, de baixo custo e eficientes. Outros equipamentos mais avançados como impressoras 3D e digitalizadoras 3D, podem igualmente equipar um FabLab.

A característica principal dos centros FabLab é defenderem o uso de *softwares* de licença *open-source* e também o movimento “*do it yourself*” (DIY). Dentro da rede existe colaboração, interdisciplinaridade e partilha de conhecimentos, entre laboratórios. A popularidade dos FabLabs deve-se a esta facilidade de partilha.

Normalmente os FabLabs podem ter pilares estratégicos ou pontos de interesse diferentes entre eles. Ou seja, existem FabLabs que estão mais inclinados para a nanotecnologia, existem outros virados para próteses de baixo custo entre outras aplicações.

Apesar destas diferenças todos os espaços FabLab da rede global são regulados segundo os princípios e regras do FabCharter, como se explica em seguida.

## **FabCharter** <sup>[1]</sup>

O FabCharter é uma carta de princípios e regras de funcionamento comum dos espaços FabLab e é dirigida a todos os utilizadores do espaço; têm as seguintes características:

<b>Missão</b>	Os Fablabs pertencem a uma rede global de laboratórios, oferecendo as condições ideais para fomentar o espírito de inovação e criatividade, ao disponibilizar o acesso a ferramentas para fabricação digital.
<b>Acesso</b>	O Fablab pode ser utilizado para criar praticamente qualquer coisa (desde que não haja intenção de ferir alguém), cada um deve aprender fazendo por si, partilhando o mesmo espaço com outros projetos e outros utilizadores.
<b>Aprendizagem</b>	O processo de aprendizagem no Fablab baseia-se na realização de projetos e na troca de experiências; neste contexto de partilha cada um deve contribuir com documentação e tutoriais.
<b>Responsabilidade</b>	As pessoas são responsáveis por: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Segurança:</b> saber trabalhar sem colocar em risco pessoas ou equipamentos;</li><li>▪ <b>Limpeza:</b> deixar o laboratório mais limpo do que estava;</li><li>▪ <b>Operações:</b> cooperar com operações de manutenção e de reparação, reportando qualquer necessidade detetada a nível de ferramentas, consumíveis e incidentes.</li></ul>

**Confidencialidade** Os projetos e processos desenvolvidos nos Fablabs deverão ser disponibilizados à comunidade acautelando-se, sempre que desejado, a proteção da sua propriedade intelectual.

**Negócio** Podem ser criadas atividades comerciais a partir do Fablab mas não devem conflitar com o livre acesso deste. Essas atividades devem crescer para além do Fablab e é expectável que os inventores e rede de Fablabs que contribuíram para o seu sucesso beneficiem com isso.

## **História do FabLab** <sup>[2]</sup>

O conceito FabLab surgiu no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), especificamente no laboratório interdisciplinar chamado *Center for Bits and Atoms* (CBA). Neil Gershenfeld, professor e diretor do CBA, foi o criador e impulsionador dos FabLabs. Os seus campos de pesquisa são bastante interdisciplinares, da física à computação quântica passando pela nanotecnologia e a fabricação pessoal.

Tudo nasceu de um curso lecionado pelo Professor Neil Gershenfeld, intitulado “Como fazer quase tudo” (“*How to Make Almost Anything*”), onde os alunos faziam exatamente isso. Criado no início dos anos 2000, este curso permitiu aos estudantes dominar a utilização de diferentes máquinas de comando numérico, que posteriormente conduziu ao desenvolvimento do primeiro FabLab. Inicialmente este módulo era reservado para os estudantes do campus, mas agora encontra-se *online* e serve de base para o curso “*FAB Academy*”, lecionado *online* pelo próprio Neil Gershenfeld e coordenado por diferentes laboratórios da rede.

### **1.1.1 FabLab Coimbra**

Inserido na NOVOTECNA, o FabLab Coimbra, Figura 2, é um laboratório de prototipagem rápida e de fabricação digital. O FabLab Coimbra foi criado em 2011, após alguns membros da NOVOTECNA terem assistido a uma apresentação sobre o conceito FabLab, pelo próprio Neil Gershenfeld, e acharem que seria uma mais-valia para a associação, assim como para a região centro.

O FabLab Coimbra tem como pilares estratégicos a Inovação, a Saúde e a Tecnologia, privilegiando o empreendedorismo. Os recursos e competências estão focados na investigação, e no apoio à realização de projetos, como protótipos e produtos finais. Estes

recursos estão disponíveis tanto para particulares como para empresas. Colabora com diversas empresas e escolas em áreas como arquitetura, engenharia, tecnologias da saúde, artesanato, *design*, entre outros.



Figura 2 – Laboratório FabLab Coimbra

### **1.1.2 Associação Fablabs Portugal**

A Associação FabLabs Portugal – Associação Portuguesa de Laboratórios de Fabricação Digital – é uma associação de direito privado, sem fins lucrativos. Foi criada em Outubro de 2010 pela YDREAMS. Esta associação esteve parada, devido ao facto de o conceito FabLab não estar tão difundido como atualmente. Em 2014 a associação mudou a sua localização para as instalações da NOVOTECNA, onde esta tomou posse da presidência, de modo a fazer ressurgir esta associação.

A Associação FabLabs Portugal tem como objetivo principal promover o conceito FabLab em Portugal e dedica-se, principalmente, a sustentar o interesse social e económico acreditando poder contribuir para a capacitação tecnológica de Portugal, uma vez que num FabLab qualquer cidadão tem acesso a uma rede de conhecimento e tecnologia de escala mundial seguindo uma lógica de *open source*.

## **1.2 Fabricação Digital**

Durante o decorrer do estágio, umas das áreas relevantes à envolvente do estágio realizado, foi na produção de modelos físicos com recurso à fabricação digital. Faz-se de seguida uma introdução à fabricação digital e os processos básicos de prototipagem.

A Fabricação Digital designa um conjunto de tecnologias utilizadas para fabricar objetos físicos diretamente a partir de modelos digitais, isto é, fabricação assistida por

computador (CAM – *computer aided manufacturing*). Hoje em dia existe uma grande variedade de máquinas adequadas para converter ficheiros digitais em objetos reais, que podem ser tocados, sentidos e experimentados. A Fabricação Digital pode também ser denominada de Prototipagem Rápida por permitir a possibilidade de testar, ou materializar, uma ideia de um produto em pouco tempo. A Fabricação digital já existe há muito, o primeiro caso conhecido remonta a 1952, onde se utilizava esta tecnologia para produzir peças complexas de aviões. Hoje esta tecnologia está mais acessível que à 10 anos atrás e custam 10 vezes menos, facilitando o seu acesso hoje em dia. <sup>[3]</sup>

Devido à aptidão de criar protótipos rapidamente, a fabricação digital passou a ser uma ferramenta recorrente para projetistas e *designers*, utilizando assim os protótipos para testes de mercado, ou como modelos explicativos. Além de que o protótipo pode permitir testes prévios como túnel de vento ou análise dos pontos de concentração de tensão numa peça.

A fabricação digital tem algumas vantagens entre elas as instruções de fabricação estarem guardadas num ficheiro de computador, podendo ser distribuídas sem perderem qualidade e até mesmo alteradas a qualquer momento.

É possível evitar gastos de transporte e armazenamento de projeto, como se trata de um ficheiro digital pode ser enviado via correio eletrónico para ser produzido noutra local. Como não existe na fabricação digital não existe a necessidade de moldes ou outras formas dispendiosas, torna-se fácil testar várias alterações de *design*. Estima-se que as economias de tempo e de custos proporcionada pela aplicação destas técnicas de prototipagem sejam na ordem de 70%. <sup>[4]</sup>

Existem dois processos básicos de prototipagem rápida: <sup>[5]</sup>

- Processo aditivo
- Processo subtrativo

### 1.2.1 **Processos aditivos**

Os processos aditivos permitem uma enorme liberdade na criação de formas, podendo realizar formas tridimensionais complexas. Utilizando esta tecnologia pode-se criar objetos e mecanismos totalmente funcionais. Dentro dos processos aditivos existem várias técnicas, que se descrevem em seguida.

### 1.2.1.1 Modelação por Extrusão de Plástico (FDM)

Esta técnica consiste na deposição de um material termoplástico em sucessivas camadas sobrepostas. Colocando várias camadas finas de plástico, uma forma tridimensional vai sendo gradualmente construída. Uma máquina básica que use esta técnica apenas necessita de uma cabeça de extrusão (também conhecido como extrusora) e de um sistema de posicionamento da mesma. Existem modelos profissionais onde é possível adicionar uma base de trabalho aquecida, reduzindo a distorção da peça quando o plástico arrefece na plataforma. Pode-se combinar várias extrusoras para aplicar vários materiais ou cores numa só construção, possibilitando o uso de um material de suporte. Normalmente estas máquinas aceitam como material uma bobine de plástico (ABS, Policarbonato, polipropileno e PLA). Mostra-se na Figura 3 um exemplo do processo FDM.

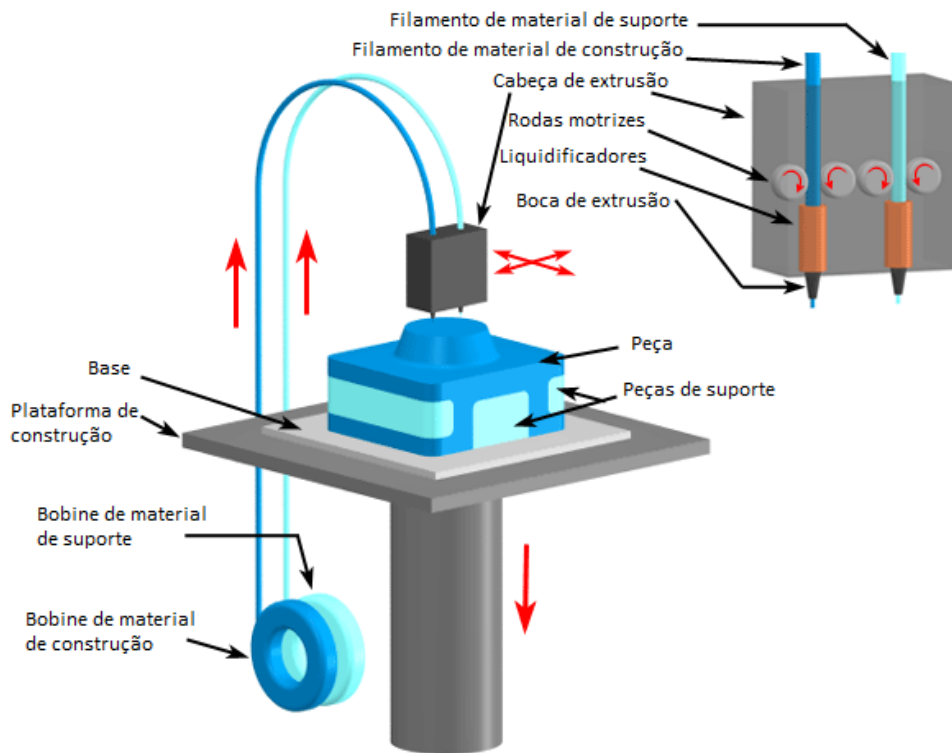


Figura 3 – Representação do processo FDM

### 1.2.1.2 Sinterização Seletiva por Laser (SLS)

SLS é outro processo de impressão 3D, que tem a vantagem de se poder utilizar variadíssimos materiais, realizando formas muito complexas e até partes suspensas sem suporte. Basicamente, o processo SLS consiste em fazer incidir um laser num pó de material próprio para esta finalidade e assim fundir as moléculas do mesmo umas com as outras. De seguida é aplicada uma nova camada de pó e repete-se o processo camada a camada. As zonas onde a luz laser incide solidificam, as zonas onde o laser não incidiu continuam em pó que pode servir como suporte, sendo removido facilmente.

Os materiais que podem ser utilizados são muito variados passando por plásticos, metais, ligas, borrachas e até cerâmicas. Produtos feitos com recurso ao processo SLS podem ter uma densidade muito elevada e um comportamento mecânico muito semelhante a peças produzidas por injeção.

O processo por SLS é mais complexo que o processo por FDM, e as respetivas máquinas mais caras. No entanto os resultados aproximam-se do acabamento e *performance* de uma peça produzida industrialmente. Mostra-se na Figura 4 um exemplo do processo SLS.

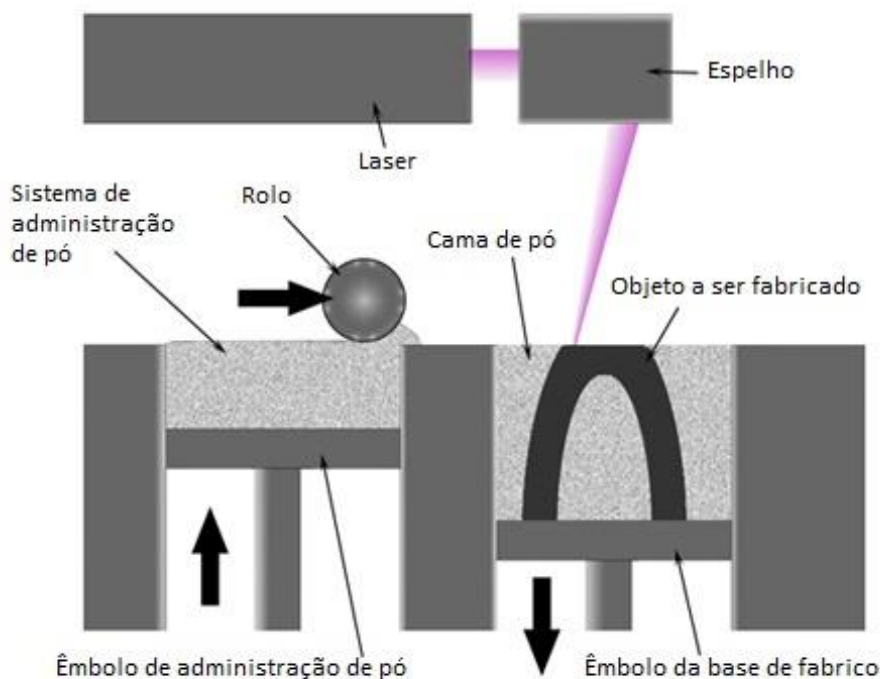


Figura 4 – Representação do processo SLS

### 1.2.1.3 Estereolitografia (SLA)

Esse processo é semelhante ao anterior (SLS), pois também utiliza um laser para solidificar o material. Só que neste caso o material em questão é uma resina líquida, que solidifica quando exposta a um laser de ultravioleta (UV). Como no processo SLS, a estereolitografia cria a forma camada a camada, o que também pode ter boas propriedades mecânicas. Após o modelo ser retirado da máquina, este sofre uma pós cura que lhe vai conferir a máxima resistência. No entanto, como só pode ser utilizado um tipo de material, a resina sensível a UV, através deste processo não é possível ter uma variedade de resultados, como o método anterior. Mostra-se na Figura 5 um exemplo do processo SLA.

Este processo é mais caro que os anteriores, mas como o acabamento final é mais preciso esta técnica é muito requisitada para a produção de moldes, onde o acabamento final do positivo é muito importante.

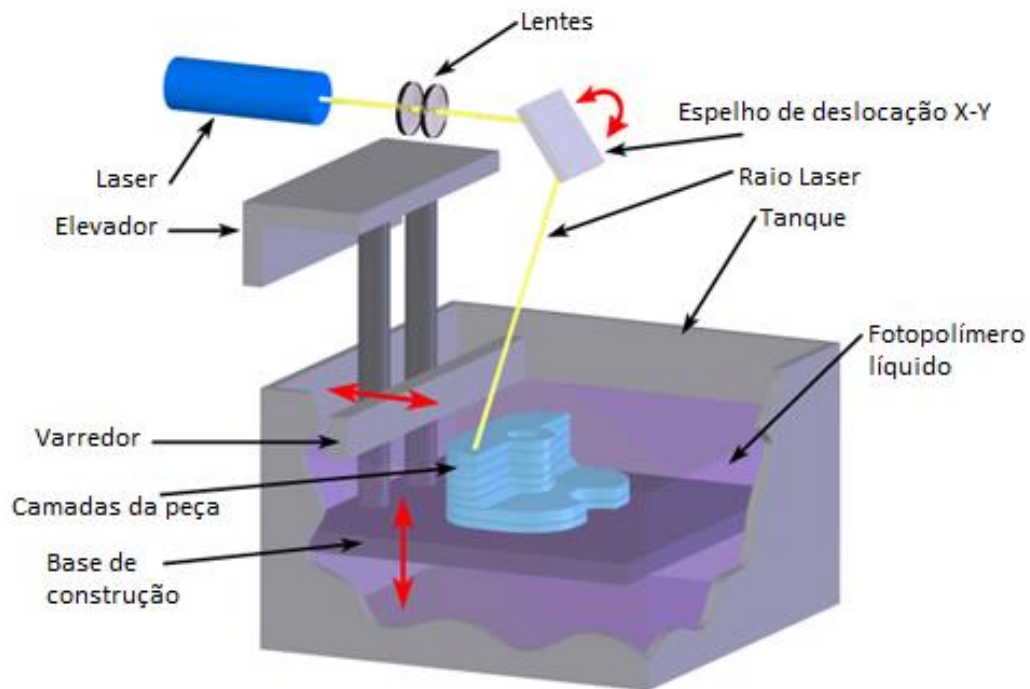


Figura 5 – Representação do processo SLA

### 1.2.1.4 Impressão 3D a jato de tinta (3DP)

Neste processo, assim como nos processos SLS e SLA, o material (tinta) é depositado camada a camada, sendo intervalado por camadas de cola, que permite manter tudo unido. Possibilita produzir modelos totalmente funcionais, a cores e com seções suspensas e sem suporte. Nas máquinas mais antigas o acabamento era ligeiramente poroso, mas com os aperfeiçoamentos mais modernos, hoje existem máquinas com acabamentos muito bons, sendo utilizadas em joalheria.

Como permite usar diversas cores, conseguem-se fazer réplicas para testes de mercado, modelos explicativos do funcionamento ou aparência de algo. Em contrapartida não têm propriedades mecânicas muito favoráveis. Mostra-se na Figura 6 um exemplo do processo 3DP.

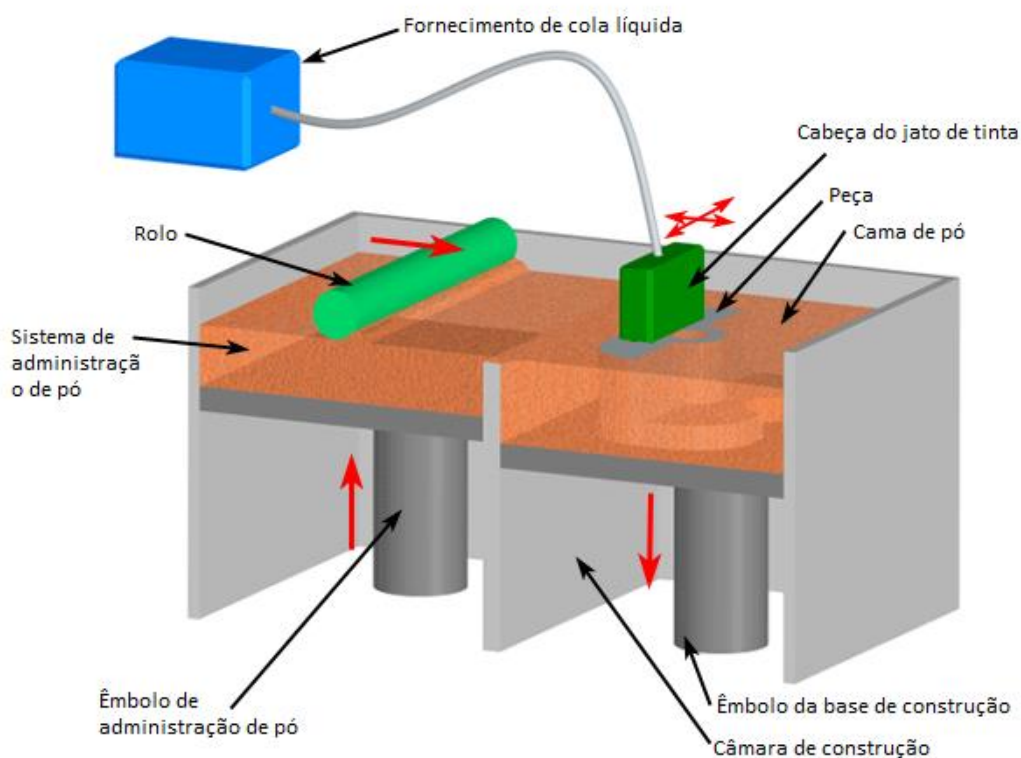


Figura 6 – Representação do processo 3DP

### 1.2.1.5 Fusão por Feixe de Eletrões (EBM)

Este processo permite a impressão 3D em metal. É utilizado metal em pó que posteriormente é fundido numa plataforma de construção, através de um feixe de eletrões. O processo é idêntico aos anteriores, é construído camada a camada, o feixe de eletrões incide no pó de material e assim funde as moléculas do mesmo, seguidamente é redistribuído uma nova camada de pó repetindo o procedimento até a peça estar construída.

A plataforma de construção está em vácuo e aquece até uma temperatura que varia entre os 700 e os 1000 °C para fundir o metal na forma 3D. Mostra-se na Figura 7 um exemplo do processo EBM. Este é um dos processos mais avançados de impressão 3D em metal.

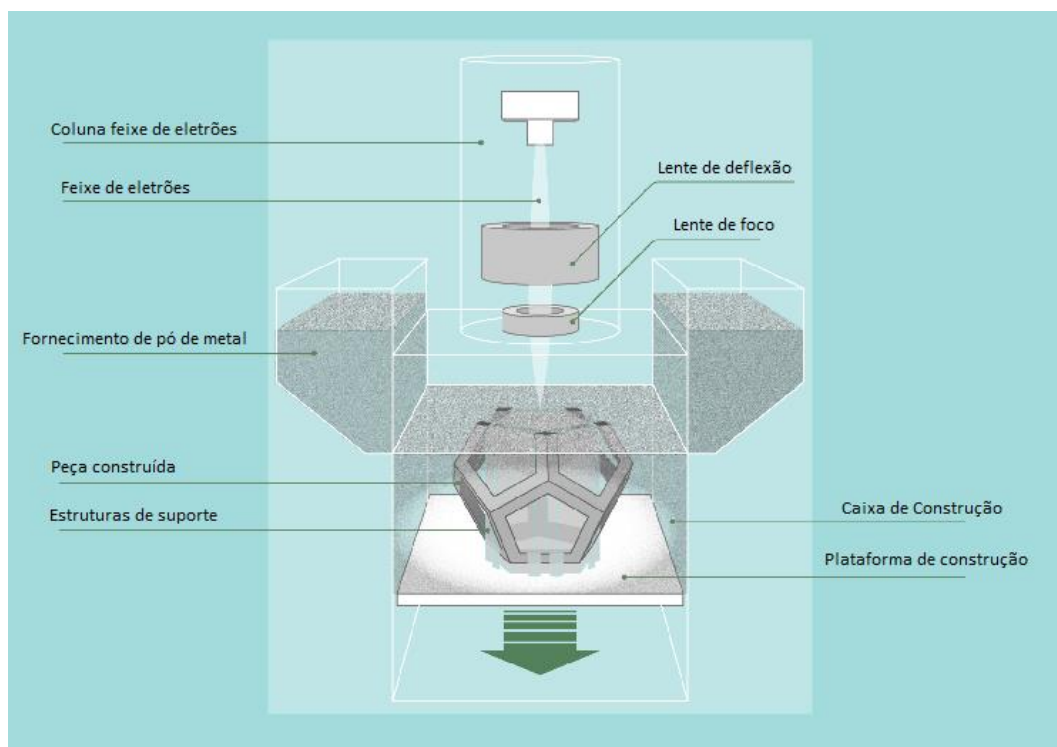


Figura 7 – Representação do processo EBM

### 1.2.1.6 Fabricação de Objetos por Camadas (LOM)

Este processo é o único dentro dos processos aditivos que não se inclui como impressão 3D. Este processo utiliza um combinado de processo aditivo e subtrativo.

Consiste em colar sucessivamente folhas (ou rolo) de papel, cartão, acetato, madeiras ou outros materiais, folhas estas em que são cortados os contornos da peça em fabrico. Posteriormente prensadas camada a camada com um rolo aquecido.

Existem *softwares* que reproduzem esta técnica não sendo necessário uma máquina própria para esta finalidade. Dentro do *software* “abre-se” o modelo 3D e define-se os parâmetros pretendidos (como espessura do material utilizado, resolução pretendida, o número de camadas, entre outros). Mostra-se na Figura 8 um exemplo do processo LOM.

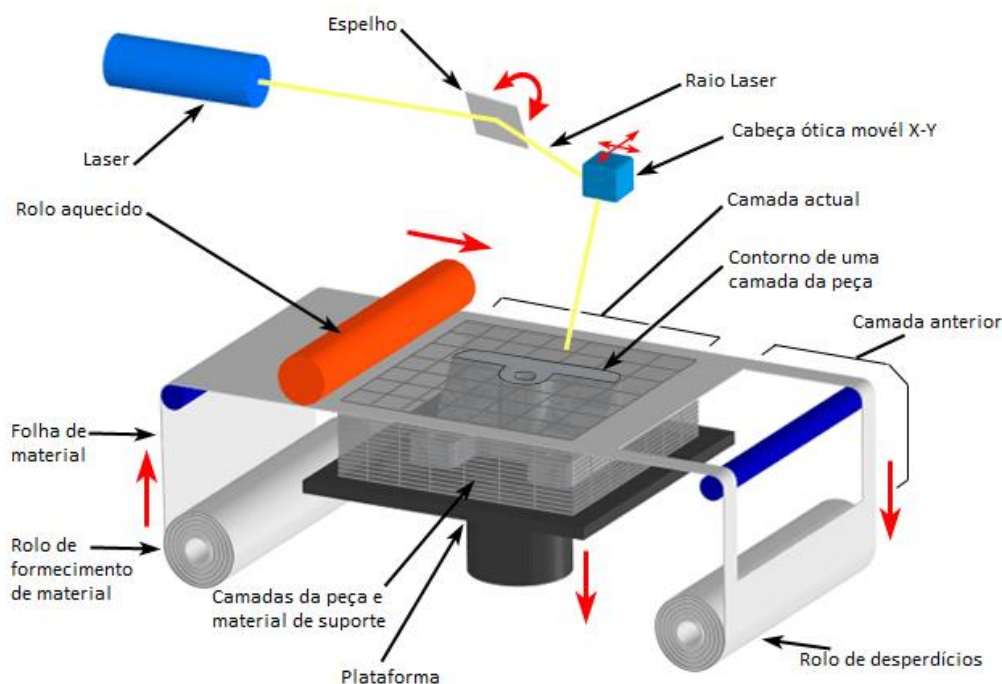


Figura 8 – Representação do processo LOM

### 1.2.2 Processos subtrativos

Os processos subtrativos consistem, como o nome indica, em extrair matéria-prima através de fresas, facas, laser ou plasmas, em mesas de trabalho com equipamentos deslizantes ou braços robóticos executando essas operações. Dentro deste processo, as

tecnologias utilizadas podem variar em função do tipo de material e da escala de trabalho adotada. Em seguida descrevem-se alguns processos subtrativos.

### 1.2.2.1 Fresagem CNC

A fresagem é um processo de desbaste que gera superfícies de várias formas pela remoção progressiva de material através do avanço, relativamente lento, de uma ferramenta rotativa. O avanço e a velocidade de rotação podem variar para diferentes materiais.

A ferramenta, denominada fresa, possui várias arestas (dentes) cortantes que removem, a cada rotação, uma pequena quantidade de material. As fresas variam de formatos e de números de dentes, dependendo do seu propósito, como por exemplo, existem fresas próprias de corte, de perfuração e de acabamento. Mostra-se na Figura 9 um exemplo do processo de fresagem.

É possível criar formas tridimensionais a partir do formato de bloco. Pode trabalhar vários tipos de materiais, como por exemplo, madeiras, metais, plástico entre outros.

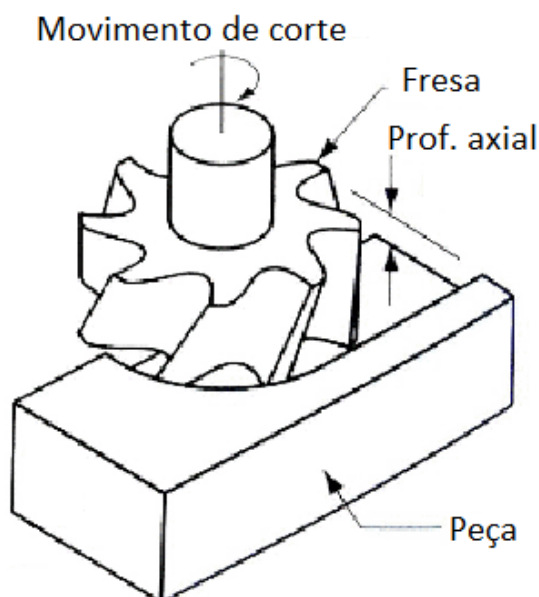


Figura 9 – Representação do processo de fresagem

### 1.2.2.2 Corte a laser

A luz laser é luz amplificada através da emissão estimulada de radiação. Existem diferentes tipos de materiais geradores de laser como por exemplo, CO<sub>2</sub> (laser a gás), fibra ótica e YAG (laser de cristais). Cada tipo de laser tem as suas próprias vantagens e desvantagens e são adequados a diferentes tipos de materiais.

Os lasers de CO<sub>2</sub> são baseados numa mistura gasosa que é estimulada eletricamente. Este tipo de laser não é adequado para trabalhar em materiais metálicos, mas sim em plásticos, madeira, papéis e têxteis. Este tipo de laser é o mais utilizado na indústria.

O laser de fibra ótica tem um diâmetro focal extremamente pequeno e tem uma intensidade até 100 vezes superior aos laser por CO<sub>2</sub> com a mesma potência. Os lasers de fibra são ideais para o uso em materiais metálicos

Os laser YAG são idênticos ao tipo de laser por fibra, ou seja são adequados para serem utilizados em materiais metálicos. Este tipo de laser tem uma vida útil mais curta que o laser por fibra. [6]

Mostra-se na Figura 10 um exemplo do processo de emissão de um feixe Laser.

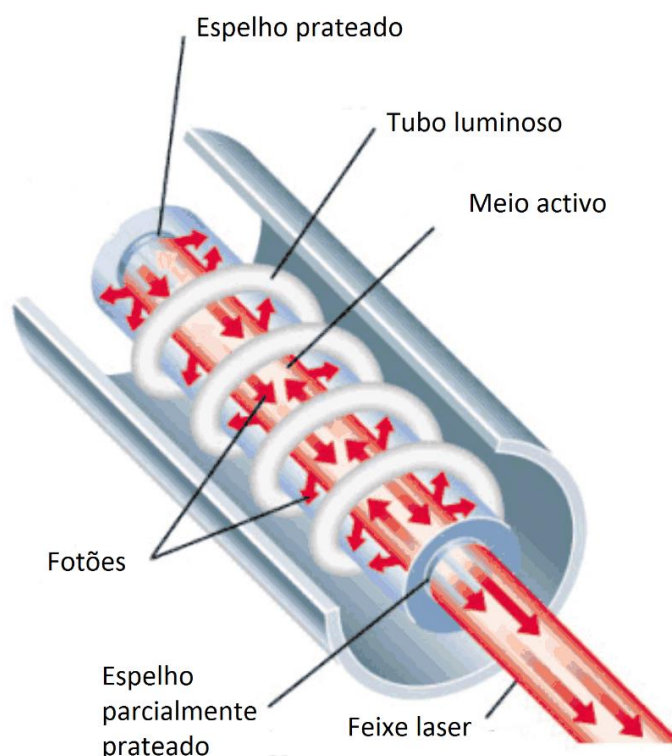


Figura 10 – Representação do processo de emissão de um feixe Laser

### 1.2.2.3 Corte a jato de água

Este tipo de máquinas são utilizadas para cortar metal, usam um jato de água a uma pressão extremamente elevada. Para cortar metal o jato de água tem que ser coeso, para isso o fluxo de água passa através de um bico estreito de diamante a uma pressão muito alta, o que mantém o jato de água coerente. Mostra-se na Figura 11 um exemplo do processo de corte a jato de água.

Ao contrário das outras máquinas alternativas para o corte de metais, as máquinas a jato de água não sobreaquecem. As máquinas a jatos de água e jatos abrasivos controlados por computador são hoje em dia utilizadas para cortar diversos tipos de materiais. Nos jatos abrasivos, é adicionada uma substancia para provocar o desgaste por atrito. A mistura água-abrasivo sai do bico a uma velocidade superior a 1400 km/h. [7]

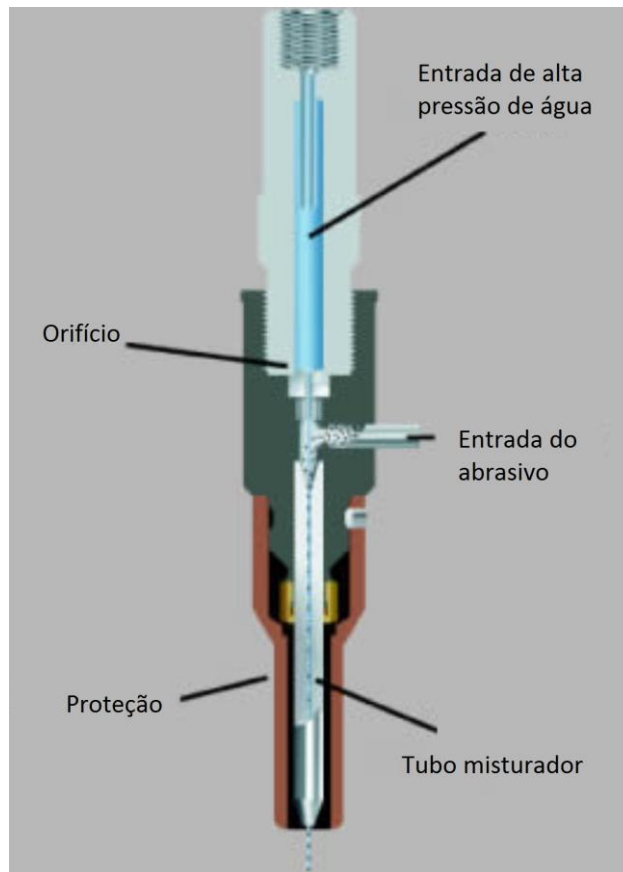


Figura 11 – Representação do processo de corte a jato de água



## 2 O ESTÁGIO

O estágio teve como início uma rápida apresentação do FabLab Coimbra e dos equipamentos existentes nas instalações, por parte do seu diretor. De modo a conhecer melhor o conceito FabLab e suas potencialidades, foi-me proposto assistir às aulas do curso “*Fab Academy*” dos anos anteriores, lecionadas pelo responsável da criação deste conceito, o Professor Neil Gershenfeld. (Estas aulas estão publicamente disponíveis na Internet, através dos sites <http://fabacademy.org/> ou <https://vimeo.com/fabacademy>.) Após esta primeira fase, de inclusão no conceito, foi-me apresentado detalhadamente os equipamentos e os serviços que prestavam.

No decorrer do estágio fui desempenhando funções tanto ao nível do FabLab Coimbra como da Associação FabLabs Portugal. As funções desempenhadas no FabLab Coimbra eram de cariz técnico: produção com recursos à fabricação digital, conhecimentos de processos de produção de fabricação digital, atendimento a clientes, projetos, testes a novos materiais ou materiais não utilizados anteriormente, entre outros. Por outro lado as funções desempenhadas na Associação FabLabs Portugal eram de natureza burocrática: passavam pela criação/atualização do *site*, fazer contactos, pesquisar potenciais associados, atualizar base de dados de contactos, entre outras.

Faz-se em seguida uma descrição pormenorizada dos trabalhos e projetos realizados no laboratório FabLab Coimbra e na Associação FabLabs Portugal.

### 2.1 Equipamentos e sua manutenção

Neste subcapítulo serão apresentados os equipamentos existentes no laboratório, assim como a manutenção efetuada a cada um. No laboratório existiam máquinas que utilizam processos subtrativos como a máquina de corte a laser ou a fresadora CNC, e outras que utilizam processos aditivos como impressoras 3D.

A manutenção de cada um dos seguintes equipamentos não carecia de pessoal especializado para a sua realização. Em todos os equipamentos era efetuada manutenção preventiva com a exceção da máquina de corte de vinil, onde não era efetuada manutenção.

Nas secções seguintes começa-se por descrever o equipamento e, depois descreve-se a manutenção que lhe foi efetuada.

## 2.1.1 Máquina de corte e gravação a laser por dióxido de carbono

### 2.1.1.1 Descrição do equipamento

O feixe de luz laser é luz amplificada através da emissão estimulada de radiação. Esta máquina possui uma ampola de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) responsável por gerar este feixe de luz utilizado no corte/gravação. O feixe de luz é obtido por excitação dos eletrões de determinados átomos, utilizando neste caso o CO<sub>2</sub> como meio ativo. O feixe de luz é refletido por vários espelhos até à lente de foco, onde é concentrada toda a energia pequeno ponto. [8]

A potência máxima do feixe é de 60W e é comandada através do *driver* da máquina, onde é indicada a percentagem de potência que se pretende utilizar para corte ou gravação (Figura 12). Existe um compromisso entre potência e velocidade: para obter uma maior potência de corte tem que se utilizar velocidades mais reduzidas. Os valores de corte/gravação variam entre diferentes materiais.

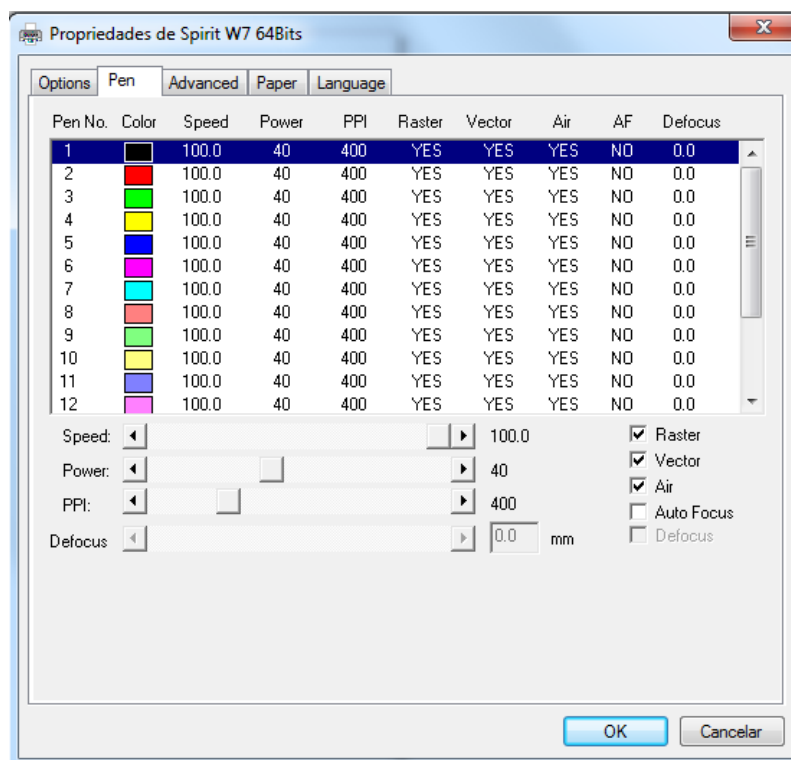


Figura 12 – Driver da máquina de corte e gravação laser

No *driver* existe uma paleta de 16 cores RGB, que se podem personalizar escolhendo diferentes valores de potência e velocidade e com isto consegue-se uma infinidade de combinações obtendo diferentes acabamentos.

Na paleta de cores pode-se utilizar todas no mesmo “trabalho”, ou simplesmente selecionar as pretendidas. Esta máquina apenas permite o corte e gravação em 2D, mas pode ser também maquinado imagens com um pequeno relevo.

Existe ainda um eixo rotativo removível, que permite a execução da gravação em objetos 3D (por exemplo copos, garrafas, entre outros).

Mostra-se na Tabela 1 as características técnicas da máquina de corte e gravação a laser.

<b>Características Técnicas</b>	
Potência	60 W
Área de trabalho	740 x 460 mm
Fonte Laser	Laser CO2 de 12 a 60 W
Sistema de arrefecimento por Ar	Temperatura ambiente de 15 a 30°C
Movimento dos eixos	Control DC servo
Velocidade máxima	1524 mm/s
Controlo de velocidade	Ajustável de 0,1 – 100%, 16 cores diferentes de velocidade
Controlo de potência	Ajustável de 0,1 – 100%, 16 cores diferentes de potência
Movimento do eixo Z	Automático
Resolução (DPI)	125, 250, 300, 380, 500, 600, 750, 1000
Memória	32 MB
Potência de consumo	700 – 880 W

Tabela 1 – Características técnicas da máquina de corte e gravação a laser <sup>[9]</sup>

Mostra-se na Figura 13 uma fotografia da máquina de corte e gravação a laser disponível no laboratório.



Figura 13 – Máquina de corte e gravação a laser

### 2.1.1.2 Manutenção do equipamento

A estratégia de manutenção praticada era manutenção preventiva e condicionada. A manutenção programada preventiva era efetuada mensalmente, enquanto a manutenção condicionada dependia do tipo de material utilizado no tipo “trabalho” a realizar, caso o material utilizado liberte muita poeira durante o corte e sejam cortes longos, era efetuada uma manutenção logo de seguida. Isto para as poeiras resultantes do trabalho não se depositarem nos espelhos, nem na lente de foco.

A manutenção desta máquina tratava a limpeza dos espelhos, da lente de foco, para não existir posteriores perdas na potência de corte ou gravação.

Mostra-se na Figura 14 a limpeza efetuada aos espelhos.

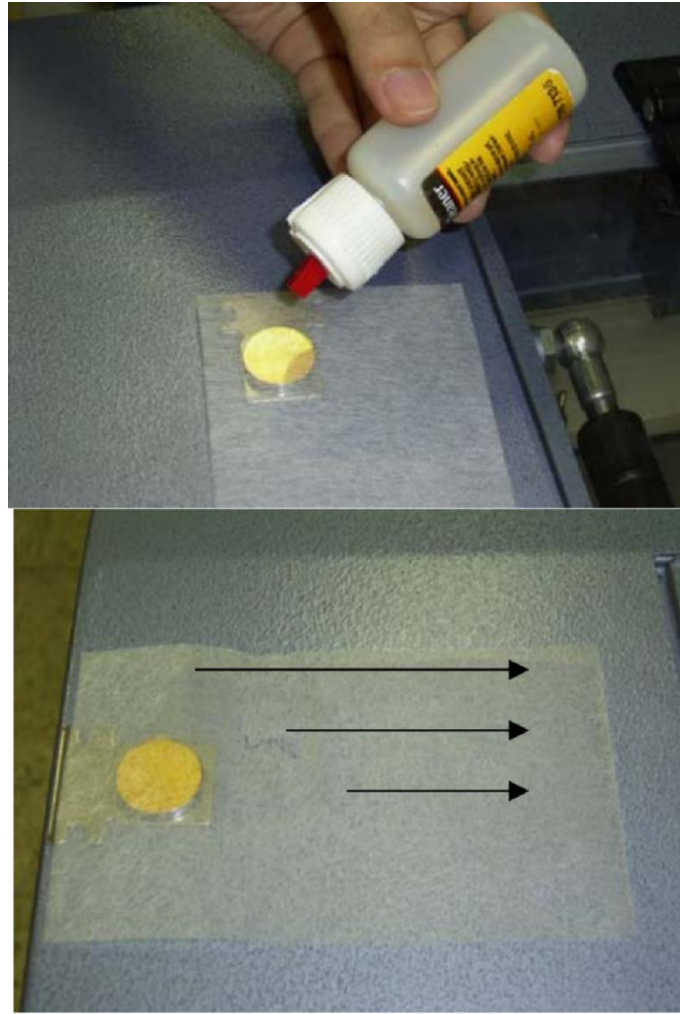


Figura 14 – Limpeza dos espelhos e lentes da máquina de corte e gravação a laser

Fazia-se ainda a limpeza dos veios, de modo a evitar a acumulação de poeiras causadas pelo corte de materiais, que poderia alterar a precisão de corte da máquina. Mostra-se na Figura 15 alguns veios onde era efetuada a manutenção. Também era feita a limpeza da grelha de trabalho para não marcar ou sujar posteriores trabalhos.

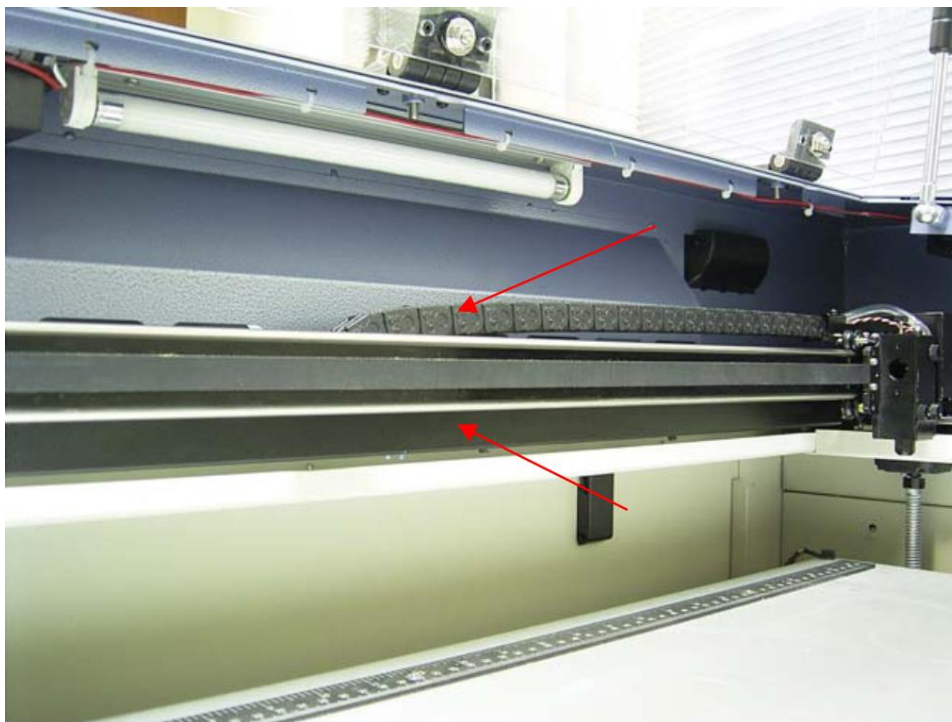


Figura 15 – Veios da máquina de corte e gravação a laser onde é efetuada manutenção

## 2.1.2 Máquina de corte de Vinil

### 2.1.2.1 Descrição do equipamento

Esta máquina permite desenhar ou recortar, como a ferramenta em uso é amovível pode-se alternar entre a faca de corte ou uma caneta de desenho.

Quando utilizada a faca de corte existe a necessidade de alterar a “força da lâmina”, diretamente na máquina, para diferentes espessuras dos materiais. O *driver* deste equipamento ignora qualquer preenchimento do desenho, só lê linhas. O mesmo acontece quando utilizada a caneta de desenho.

Quando utilizada a caneta de desenho também é necessário alterar “força da lâmina”, para não perfurar o material em causa.

Mostra-se na Tabela 2 as características técnicas da máquina de corte de vinil e na Figura 16 uma fotografia da máquina disponível no laboratório.

Características Técnicas	
Método de condução	Servo motor de controlo digital
Área máxima de corte	584 x 24998 mm
Velocidade de corte	10 a 500 mm/s
Força da lâmina	30 a 250 g.f
Resolução mecânica	0,0125 mm/passo
Resolução do <i>software</i>	0,025 mm/passo
Memória	800 KB
Potência de consumo	~30 W

Tabela 2 – Características técnicas da máquina de corte de vinil <sup>[10]</sup>

Figura 16 – Máquina de corte de vinil

### 2.1.2.2 Manutenção do equipamento

Não era executada nenhuma manutenção a esta máquina, apenas a substituição de consumíveis, como lâminas e canetas.

### 2.1.3 Fresadora CNC

#### 2.1.3.1 Descrição dos equipamentos

No início estas máquinas exclusivamente mecânicas, eram comandadas por um operador através de volantes e manípulos. Mas com o advento da informática e evolução da eletrónica, e a conseqüente automatização dos equipamentos, surgiram as máquinas CNC que utiliza números em forma de coordenadas, gerido por um computador, que posiciona a ferramenta em qualquer posição. <sup>[11]</sup>

A fresadora é uma máquina de desbaste, que tem fresas como ferramentas. Estas fresas através do seu movimento rotativo e do deslocamento em determinados planos é utilizada para cortar, desbastar, entalhar ou mesmo perfurar diversos materiais.

As fresas devem ser trocadas consoante o material em que vai ser utilizada e sua função. Existem fresas para diversos materiais como, metais, madeiras, plásticos, e dentro dos materiais com diversas funcionalidades como, corte, desbaste, perfuração e acabamento.

Esta máquina permite trabalhos em 2D e 2,5D. O 2,5D é uma representação simplificada do 3D, ou seja, existe profundidade no plano 2D criando assim um efeito 3D por meio de relevo/profundidade. Mostra-se na Figura 17 exemplos de trabalhos em 2,5D.



Figura 17 – Exemplo de peças em 2,5D

No laboratório existiam duas fresadoras, uma de precisão e pequeno porte (área de trabalho de 203 x 152 mm), outra de grande porte (área de trabalho de 2000 x 1000 mm), desenvolvida pelos técnicos do laboratório FabLab Coimbra. A de grande porte não se encontrava disponível devido a problemas mecânicos.

Mostram-se nas Figuras 18 e 19 a fresadora de grande porte e a de pequeno porte de precisão, respetivamente.

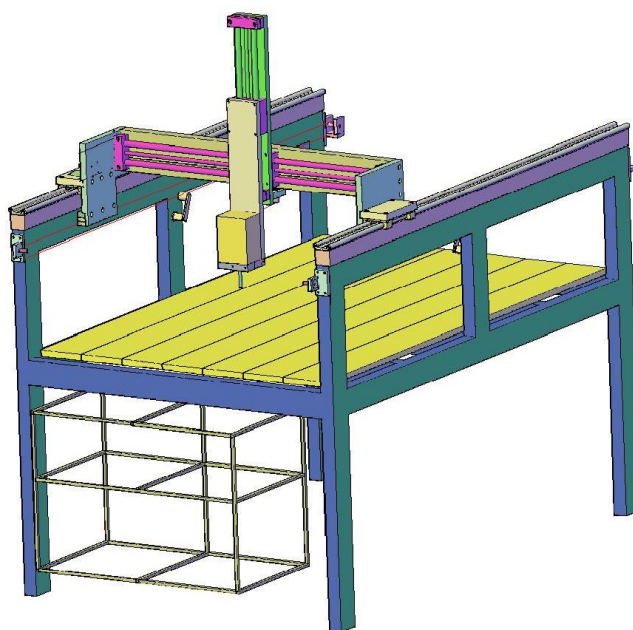


Figura 18 – Fresadora CNC de grande porte

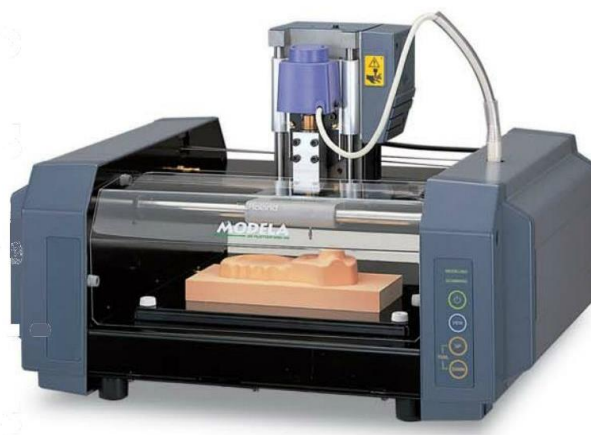


Figura 19 – Fresadora CNC de precisão

O *driver* da fresadora de precisão é semelhante ao da máquina de corte a laser, existe também uma paleta de cores RGB em que se pode seleccionar os parâmetros de trabalho, como a velocidade de deslocação e de corte, velocidade de perfuração, deslocamento do fuso no eixo Z, deslocamento do eixo por passos e preenchimento.

Mostra-se na Figura 20 o *driver* da fresadora CNC de precisão.

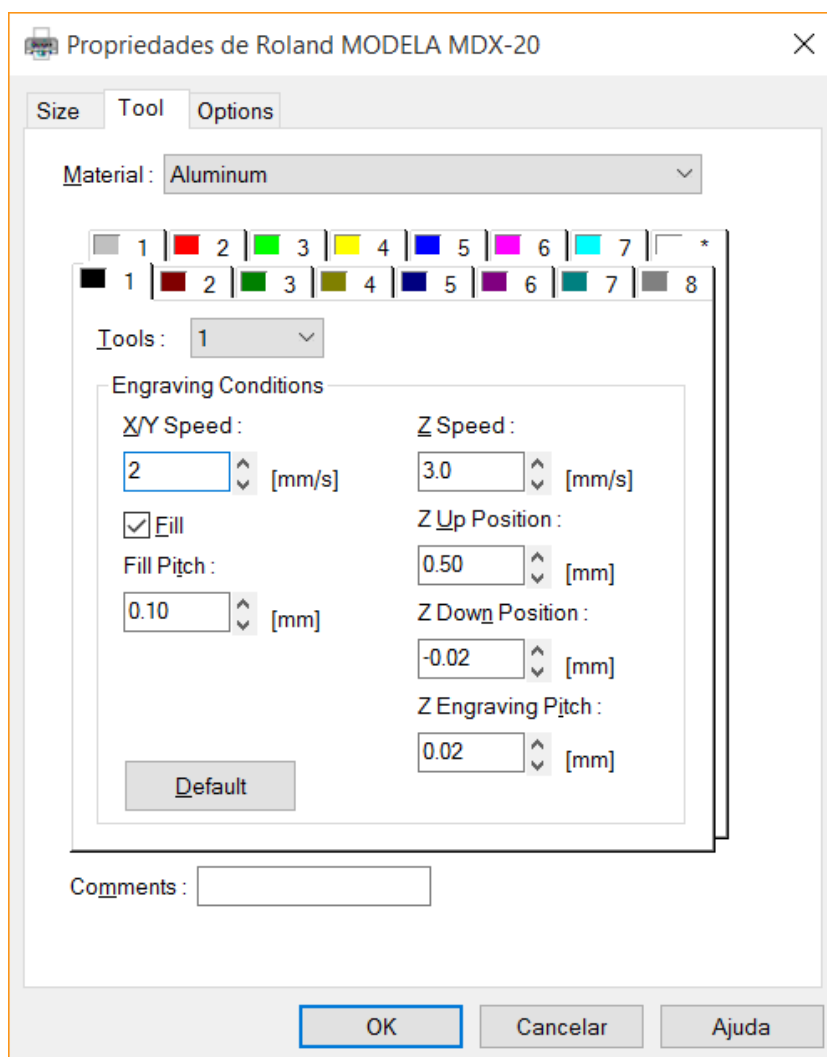


Figura 20 – *Driver* da fresadora CNC de precisão

Mostra-se na Tabela 3 as características técnicas da fresadora de precisão.

Características Técnicas – Fresadora de precisão	
Área de trabalho	203 x 152 mm
Peso máximo de carga	1000 g
Potência do motor do fuso	10 W
Velocidade de rotação	6500 RPM
Resolução mecânica	0,00625 mm/ passo
Resolução do <i>software</i>	0,025 mm/ passo
Velocidade máxima	15 mm/s

Tabela 3 – Características técnicas da fresadora CNC de precisão <sup>[10]</sup>

### 2.1.3.2 Manutenção dos equipamentos

A manutenção a este equipamento era executada a cada 3 meses. Eram limpos os veios dos eixos, não se efetuando a lubrificação dos mesmos, devido aos patins terem um material que era auto lubrificante, excluindo qualquer lubrificação nos veios. Também era feita a manutenção do *spindle* (fuso), onde era feita a limpeza de poeiras provenientes dos cortes de materiais e neste caso também a sua lubrificação (figura 21). A manutenção apenas era efetuada na fresadora de precisão, devido à fresadora de grande porte não se encontrar em funcionamento como já referido.



Figura 21 – Representação do fuso da fresadora de precisão e zona de manutenção

## 2.1.4 Impressoras 3D

### 2.1.4.1 Descrição dos equipamentos

Este equipamento é o único que utiliza um processo aditivo de entre os anteriormente descritos.

Como já apresentado previamente, existem diversos processos de impressão 3D. Existiam duas impressoras no laboratório que utilizam a técnica FDM, uma impressora profissional com duas cabeças de extrusão sendo uma para material e outra para material de suporte, outra de “baixo custo” desenvolvida pelos técnicos do laboratório FabLab Coimbra.

Quando uma peça é impressa na impressora profissional, após impressão concluída, esta tem de ir a um banho alcalino, onde o material de suporte se dissolve. O tempo que a peça fica mergulhada no banho depende de peça para peça. Enquanto a impressora de baixo custo só tem uma cabeça de extrusão, tem algumas limitações na materialização de certas peças.

O *driver* da impressora profissional permite escolher a espessura das camadas e a densidade de preenchimento das peças, como mostra a figura 22.

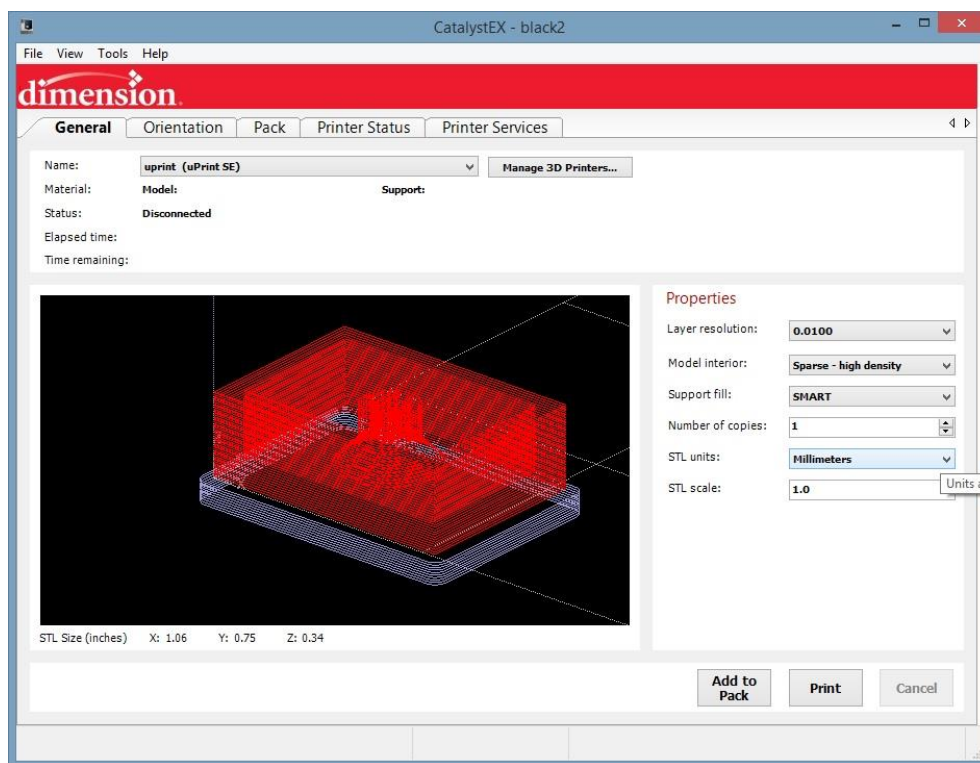


Figura 22 – *Driver* da impressora 3D profissional

Já o *driver* da impressora de “baixo custo”, permite alterações de outros parâmetros, além dos anteriores mencionados como por exemplo, o tipo de preenchimento, o tipo de “fatiamento” da peça, entre outros. Mostra-se na Figura 23 o *driver* da impressora de “baixo custo”.

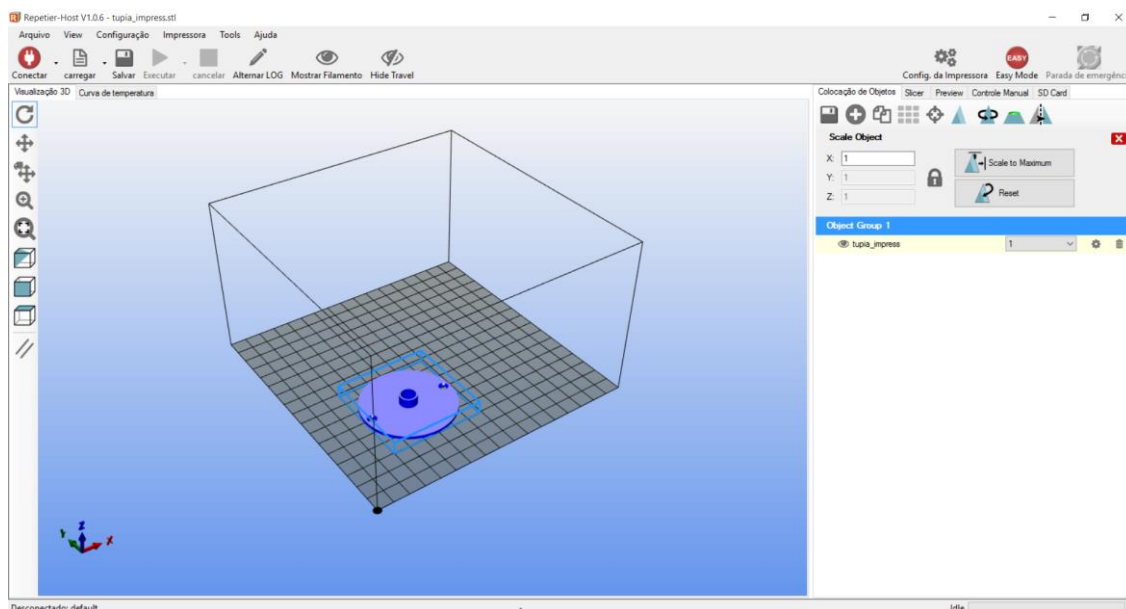


Figura 23 – *Driver* da impressora 3D de “baixo custo”

Mostra-se na Tabela 4 as características técnicas da impressora 3D profissional.

<b>Características Técnicas – Impressora Profissional</b>	
Área de trabalho	203 x 203 x 152 mm
Espessura de camada	0,254 ou 0,330 mm

Tabela 4 – Características técnicas impressora 3D profissional <sup>[12]</sup>

Mostram-se nas Figura 24 e 25 a impressora 3D profissional e a impressora 3D de “baixo custo” disponíveis no laboratório.



Figura 24 – Impressora 3D profissional

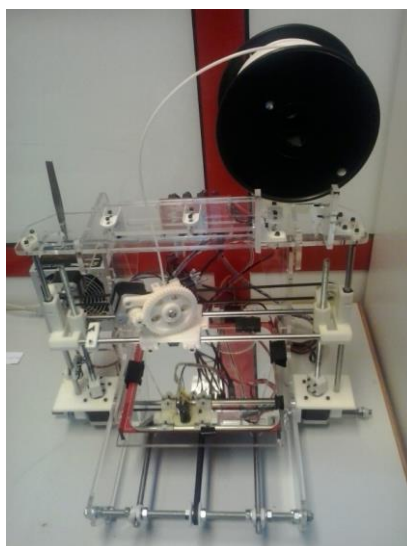


Figura 25 – Impressora 3D de “baixo custo”

#### **2.1.4.2 Manutenção da Impressora profissional**

Na impressora profissional eram executados dois tipos de manutenção preventiva, uma a cada 500 horas de trabalho e outra a cada 2000 horas de trabalho. As escovas de limpeza das cabeças de extrusão eram retiradas, como mostra a figura 26, para verificar se existiam alguns resíduos de ABS entre as escovas e eventualmente a sua limpeza.

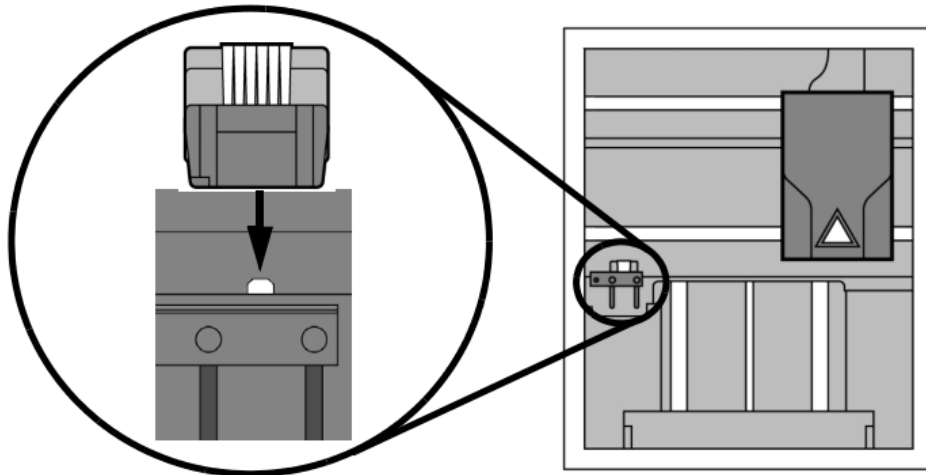


Figura 26 – Escovas de limpeza das cabeças de extrusão da impressora 3D profissional

Os escudos das cabeças de extrusão eram retirados, para verificar o seu estado de conservação e/ou se existiam resíduos de ABS colados. Caso estes se encontrassem em mau estado eram substituídos por escudos novos, caso contrário eram limpos e reutilizados.

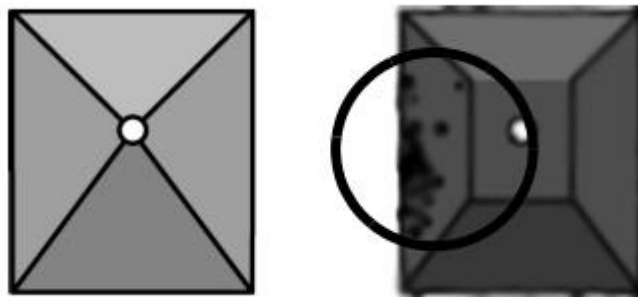


Figura 27 – Escudo da cabeça de extrusão limpo e danificado, respetivamente

Os tubos do filamento também eram limpos, de modo a retirar qualquer resíduo que pudesse conter, como se mostra a figura seguinte.

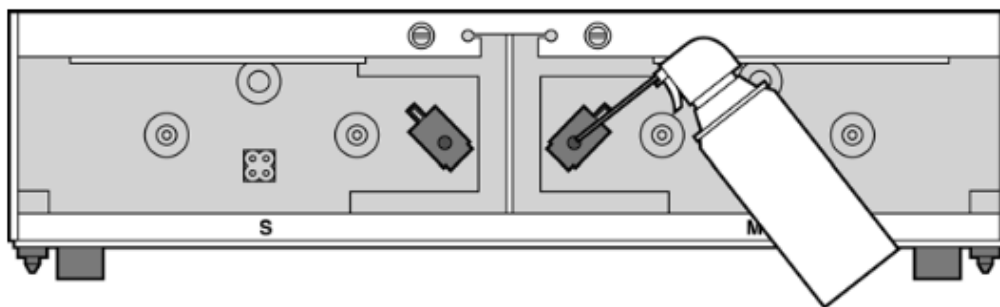


Figura 28 – Representação da manutenção de limpeza dos tubos do filamento

Na manutenção das 2000 horas, eram retiradas as cabeças de extrusão, para se efetuar a sua limpeza e retirar resíduos de anteriores impressões. Apesar de a impressora fazer sempre uma limpeza antes de qualquer impressão, ou seja, quando as extrusoras se encontram à temperatura de fusão do ABS, estas expõem uma pequena quantidade de ABS para limpar resíduos que possam ter ficado retidos de anteriores impressões. Mostra na Figura 29 a remoção das cabeças de extrusão.

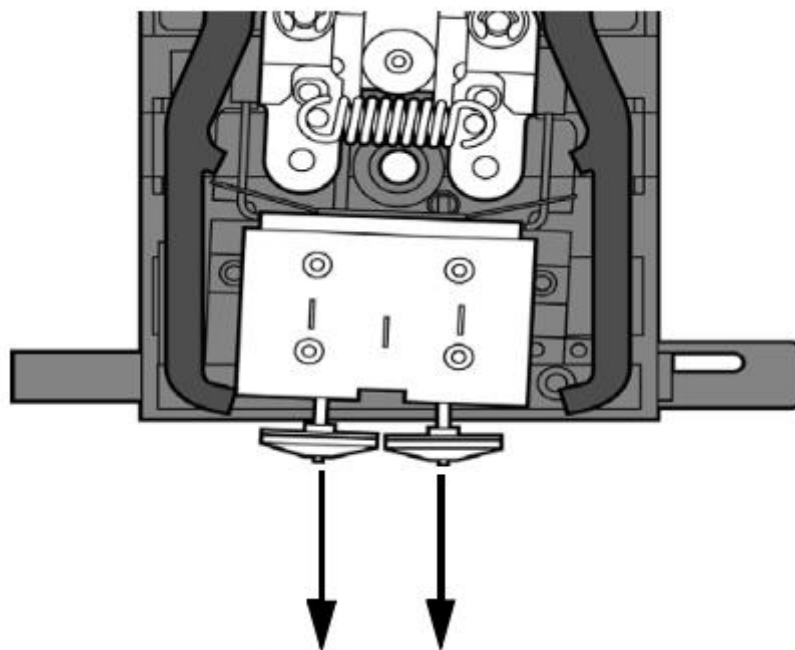


Figura 29 – Representação da remoção das cabeças de extrusão

### 2.1.4.3 Manutenção da Impressora de “baixo custo”

Esta impressora, como já foi referido anteriormente, foi construída e desenhada por anteriores técnicos do laboratório FabLab Coimbra. Por isso, não dispõe de toda uma tecnologia e componentes que a impressora profissional tem, existindo assim diferenças no tipo de manutenção efetuada.

A cabeça de extrusão era retirada para limpeza de resíduos de ABS que pudessem existir. Apesar de, como na impressora profissional, se fazer uma limpeza antes de qualquer impressão, neste caso manualmente através do *driver*. Ou seja, quando a cabeça de extrusão atinge os 220°C (valor definido pelo utilizador), através do *driver* “manda-se” expelir uma pequena quantidade de ABS para limpar resíduos que possam ter ficado retidos de anteriores impressões. Mostra-se na Figura 30 o painel de controlo da impressora 3D de “baixo custo”, com os comandos identificados.

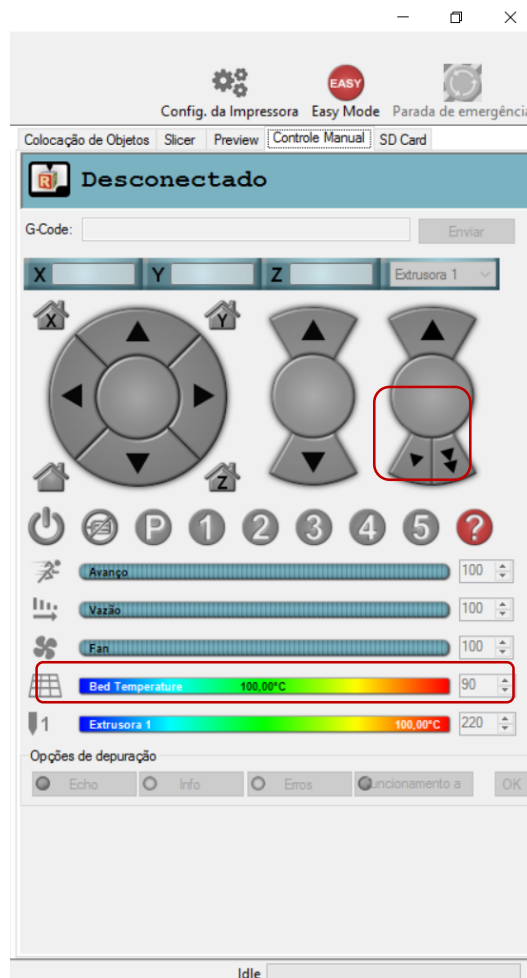


Figura 30 – Painel de controlo da impressora 3D de “baixo custo”

Outro ponto importante na manutenção deste equipamento era a calibração da referência “zero” da cabeça de extrusão, que tinha de ser periodicamente ajustada. Isto acontecia devido ao posicionamento dos sensores responsáveis pela posição do “zero”. Eram utilizados sensores de fim de curso como sinalizadores dos pontos de referência, sensores estes que estavam implementados numa peça amarrada aos veios dos eixos. Sendo o funcionamento destes sensores por contacto, existia sempre uma pequena deslocação da peça onde estava situado o sensor alterando assim o ponto de referência, o que poderia causar algumas deficiências em posteriores impressões. Assim as peças onde estavam os sensores tinham de ser regularmente ajustadas.

Mostra-se na Figura 31 o posicionamento dos sensores em questão.

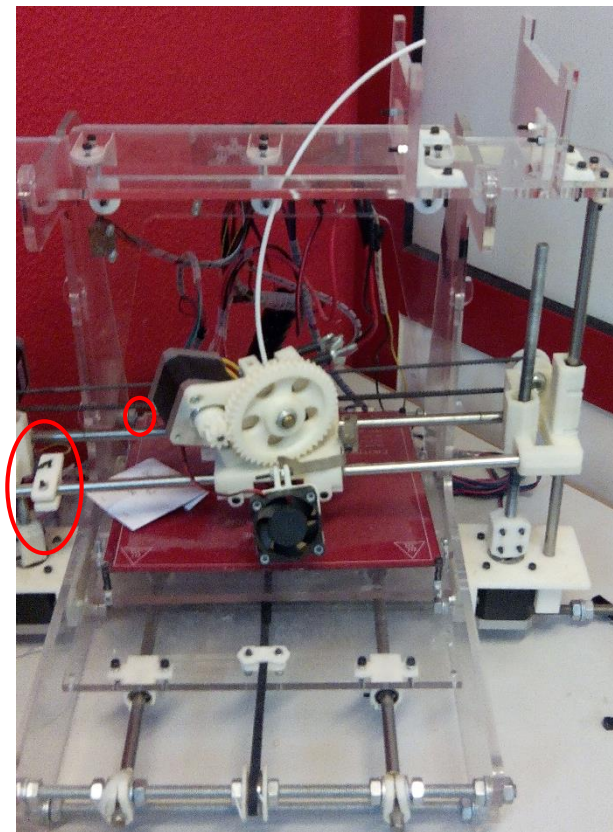


Figura 31 – Impressora 3D de “baixo custo”, sensores de referência “zero”

Mostram-se nas Figura 32 e 33 um *zoom* dos sensores assinalados na Figura 31.

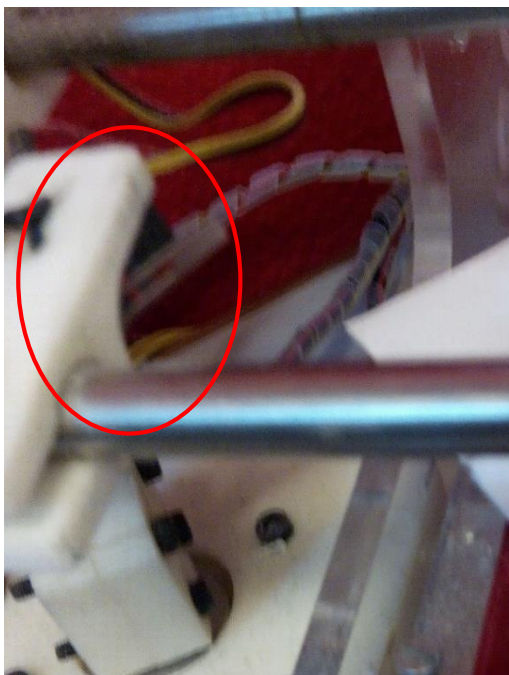


Figura 32 – Sensor responsável pelo ponto de referência (em YY) da cabeça de extrusão

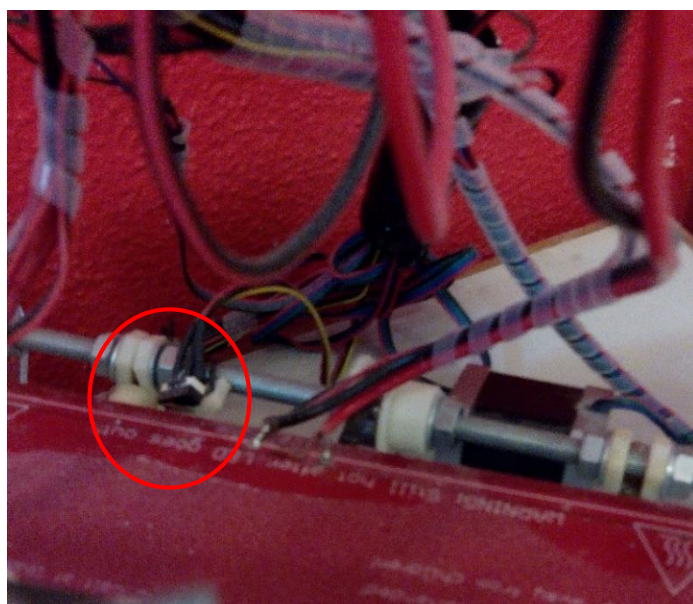


Figura 33 – Sensor responsável pelo ponto de referência (em XX) da base

Para fazer o ajuste da posição dos sensores tinha-se que recorrer ao painel de controlo da impressora, onde se pode comandar a posição da plataforma base e da cabeça de extrusão. Mostra-se na Figura 34 o painel de controlo da impressora 3D de “baixo custo”, com os comandos responsáveis pela locomoção da plataforma e cabeça de extrusão.



Figura 34 – Botões de movimento da plataforma e cabeça de extrusão

Através do painel de controlo posiciona-se a plataforma base no seu ponto de origem, desloca-se a peça do sensor até entrar em contacto com a base e aperta-se. O mesmo processo é executado para os sensores (YY e ZZ) da cabeça de extrusão.

## 2.2 Sistema de aspiração

Quis-se desenvolver um sistema de aspiração para as máquinas fresadoras para poder aspirar os resíduos e o pó, mantendo a peça a trabalhar “limpa”, evitando eventuais problemas de precisão.

Ponderou-se então utilizar um aspirador existente no laboratório como sistema de aspiração (Figura 35). Este aspirador possuía três motores, que podiam ser ligados individualmente, a par ou os três em simultâneo. No entanto existia a informação que os motores não deveriam trabalhar mais do que 15min continuamente, sendo necessário intercalar o funcionamento dos motores. De maneira a confirmar esta informação, consultou-se manuais de utilização do aspirador e fichas técnicas dos motores, mas não existia

informação que confirmasse nem desmentisse. Contactámos a marca para averiguar a veracidade da informação, que por sua vez contactou o fabricante dos motores.



Figura 35 – Representação do aspirador em causa

Enquanto se esperava por uma resposta, pensou-se num sistema que poderia intercalar o funcionamento dos motores do aspirador sem recurso a mão humana. O sistema usaria três relés para acionar os motores, comandados por um *Arduino*. Na figura seguinte mostra-se o diagrama de blocos do sistema idealizado.

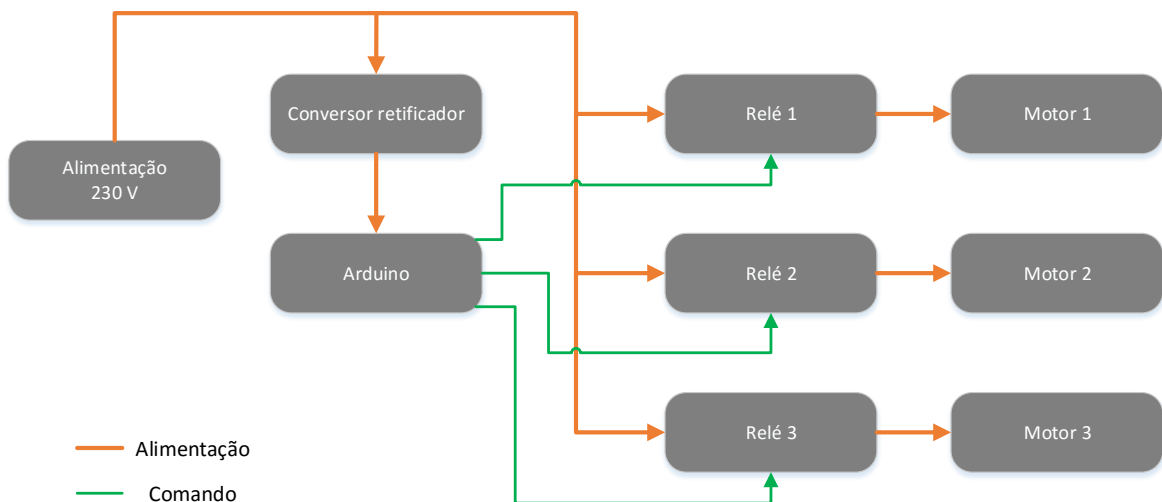


Figura 36 – Diagrama de blocos do sistema

Como conversor retificador seria utilizado um carregador de telemóvel, que alimentaria o *Arduino*.

Neste caso, para não utilizar um *Arduino* original, baseamo-nos nos esquemas disponibilizados no *site* do *Arduino*, utilizando apenas as portas que nos seriam úteis, de modo a diminuir o tamanho da placa. O microcontrolador era programado com recurso à placa *Arduino* original e posteriormente aplicado na placa desenvolvida. O algoritmo desenvolvido encontra-se no anexo 5.1.

Este projeto acabou por não ser concluído, devido à confirmação do fabricante dos motores de que estes não tinham limitações de tempo de trabalho.

## **2.3 FlashFab**

O *FlashFab* – Oficina de Fabricação Digital de curta duração, foi criado pelo FabLab Coimbra e trata-se de uma jornada de dinamização da Fabricação Digital. Pretendia-se com esta iniciativa divulgar o conceito FabLab, divulgar o espaço, os equipamentos e as suas potencialidades e os serviços. O grupo participante na iniciativa era composto por pessoal formado em diversas áreas, empresários da região e desempregados.

Inicialmente foi feita uma apresentação ao grupo do conceito FabLab e a sua origem, os FabLabs pelo mundo e a sua integração na rede global. De seguida foram apresentados os equipamentos um a um, demonstrando o seu funcionamento e potencialidades, esclarecendo todas as dúvidas que surgiam. Por último, demonstrou-se alguns pequenos exemplos de “projetos” de eletrónica.

### **2.3.1 “Projetos” de eletrónica**

Como referido anteriormente, foram feitos uns pequenos exemplos de “projetos” de eletrónica, para demonstração, que se descrevem em seguida.

#### **2.3.1.1 LED RGB**

O LED RGB tem quatro terminais, um comum e três para cada cor, vermelho, verde e azul. Pretendia-se mudar a cor do LED, para isso utilizou-se três potenciómetros, um para cada terminal de cor. Assim ao variar o valor de cada potenciómetro a intensidade da cor vai

---

aumentando, ao variar os valores de todos os potenciômetros pode-se criar um a enorme variedade de cores.

Para a alimentação do circuito utilizamos uma pilha de 9V, e a partir deste valor de tensão calculamos o valor das resistências a utilizar. Pela Lei de Ohm:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Sabendo que a corrente máxima do LED é de cerca de 30 mA e que o LED tem uma queda de tensão de cerca de 1,8V, a resistência a utilizar seria de 240Ω. Devido a não existir este valor no armazém optou-se por utilizar o valor seguinte disponível, uma resistência de 330Ω. <sup>[13]</sup>

Mostra-se na Figura 37 o esquema da montagem.

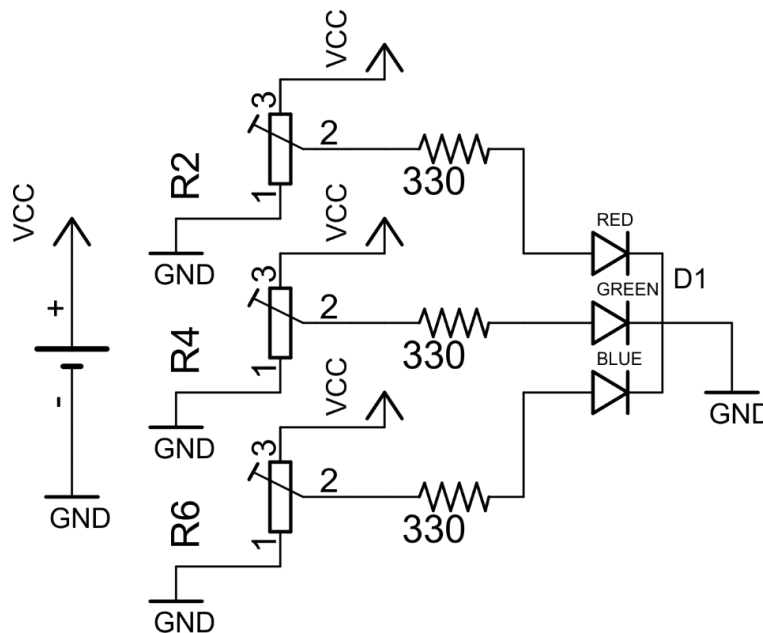


Figura 37 – Esquemático da montagem LED RGB

### 2.3.1.2 Ventoinha comandada por temperatura

Utilizou-se um microcontrolador *Arduino* para fazer a leitura do sensor de temperatura (LM35) e acionar a ventoinha (motor DC).



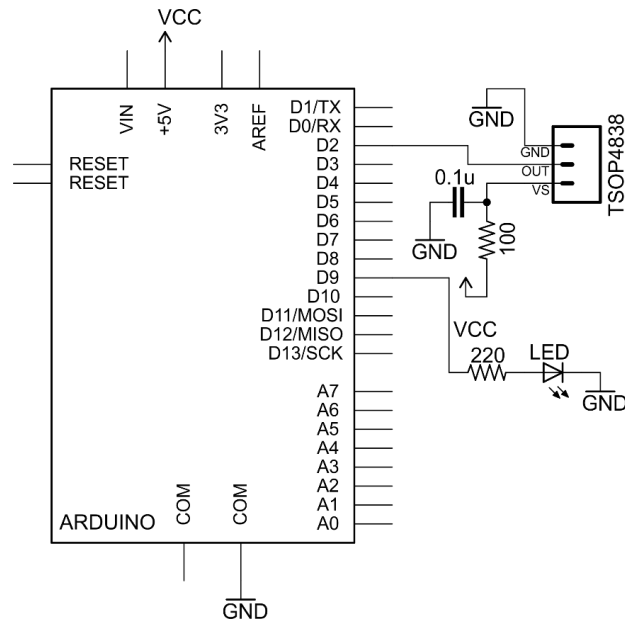


Figura 39 – Esquemático da montagem LED comandado por infravermelhos

## 2.4 Site da Associação FabLabs Portugal e FabLab Coimbra

A Associação FabLabs Portugal (AFP) existe desde de Outubro de 2010, presidida pela YDREAMS até 21 de Novembro de 2014, data em que a NOVOTECNA/FabLab Coimbra toma posse da presidência. A associação é como se estivesse a nascer já que até à data não tinha demonstrado trabalho.

Começou-se por criar uma identidade gráfica, logotipo, folha timbrada, entre outros e posteriormente a criação de um *site* para a entidade. Fizeram-se pesquisas por *sites* nacionais e internacionais de outras associações dentro e fora do género, por forma a ter noções e conceitos de organização e apresentação de conteúdos e informações. Também foram feitas pesquisas para reunir conteúdos e informações alusivas ao *site*. Mostra-se na Figura 40 o aspeto final do *site*.

Sem noções mínimas de linguagem HTML, fez-se algumas pesquisas sobre o mesmo, onde se acabou por descobrir um sistema de gestão e de criação de conteúdos *web*, o *WordPress*, que acabou por facilitar a construção do *site*.



Figura 40 – Aspeto final do *site* Associação FabLabs Portugal

Após a construção do *site* para a Associação FabLabs Portugal, foi pedido para renovar e remodelar os conteúdos do *site* do FabLab Coimbra. Mostra-se na Figura 41 o aspeto inicial do *site* FabLab Coimbra.



Figura 41 – Aspeto do *site* FabLab Coimbra antes da remodelação

Pretendia-se com esta renovação tornar este *site* mais fácil do ponto de vista do utilizador, mais interativo e mais dinâmico. Procedeu-se a uma recolha de conteúdos do *site* anterior e, posteriormente, a uma filtragem dos mesmos.

Pretendia-se inserir algumas funcionalidades extras que o anterior *site* não tinha, de entre elas constam a inscrição em *workshops*, marcação de trabalhos e/ou visitas e um calendário onde seria possível visualizar as horas já com marcações e/ou equipamentos reservados. Optou-se por construir o *site* de novo desde o “zero”, sendo assim mais fácil introduzir as novas funcionalidades.

Para a criação e construção deste novo *site* utilizou-se o *WordPress*, sistema de gestão e criação de conteúdo para *web*. Optou-se por esta escolha devido a ter-se utilizado no passado adquirindo alguma experiência no uso desta ferramenta e consequentemente por ser fácil de utilizar. Mostra-se na Figura 42 o aspeto final do *site* FabLab Coimbra.



Figura 42 – Aspeto final do *site* FabLab Coimbra após remodelação

#### 2.4.1 WordPress [14]

O WordPress é um aplicativo de sistema de gestão e criação de conteúdo para *web*, escrito em PHP com banco de dados MySQL, virado principalmente para a criação de *blogs* e *sites*.

Apareceu em 2003 como sucessor do “*b2/cafelog*”, teve um rápido crescimento devido ao seu tipo de licença, *open source* (código aberto) e a sua facilidade de uso e de gestão de conteúdos.

## 2.5 Fabteens

### 2.5.1 1º FabTeen

O FabLab Coimbra pretendia alargar a comunidade que utiliza a fabricação digital como recurso, queria expandir para além de estudantes universitários e de empresas. Decidiu-se criar mais uma iniciativa do género do *FlashFab*, mas desta vez orientado para jovens com idades compreendidas entre os 10 e os 15 anos. Seria um *workshop* com a duração de dois dias, onde seriam tratadas diferentes áreas utilizadas no FabLab, desenho 2D e 3D, otimizado para processos de maquinação disponíveis no laboratório e eletrónica com recurso à plataforma *Arduino*. Cada dia tinha uma área de abordagem diferente: no primeiro dia foi o *workshop* de desenho 2D e 3D, e no dia seguinte o *workshop* de eletrónica.

Dentro do desenho 2D e 3D, mostrou-se alguns *softwares* de desenho de licença *open source*, o “Inkscape” no caso do 2D e o “FreeCad” no caso do 3D. A área de ação do *workshop* passou por agrupar e desagrupar objetos, alinhar e distribuir objetos, utilizar uma imagem e explicar como é possível otimiza-la e adapta-la para a finalidade de maquinação.

Na parte da eletrónica, utilizou-se a plataforma de *Arduino* devido à sua facilidade de utilização e dinâmica. Explicou-se e demonstrou-se alguns componentes eletrónicos básicos (LEDs, resistências, *breadboard*, botões, etc.) e explicou-se algumas potencialidades e finalidades do *Arduino*, assim como conceitos básicos para a sua introdução. Para isto utilizou-se alguns exemplos simples e dinâmicos que os jovens pudessem reproduzir com o nosso auxílio. Indica-se em seguida alguns dos exemplos utilizados no *workshop*.

#### 2.5.1.1 Blink

Este é um exemplo de iniciação disponibilizado no próprio *software* do *Arduino*. O algoritmo encontra-se no anexo 5.3. Este exercício liga e desliga o LED com intervalos de tempo definidos pelo utilizador. A partir deste exemplo pediu-se para fazer uma sequência

com mais LEDs, que concretizaram com sucesso. Mostra-se na Figura 43 a representação da montagem.

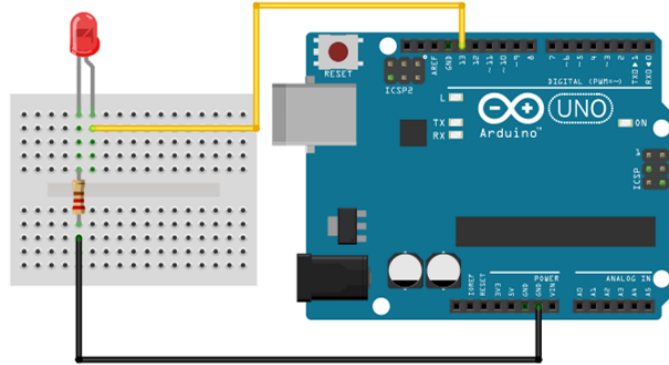


Figura 43 – Representação da montagem Blink

### 2.5.1.2 Semáforo com passadeira

Dando continuação ao exemplo anterior, passou-se para um modelo de um semáforo de uma passadeira.

O LED verde do semáforo e o LED vermelho da passadeira estão sempre ligados até o botão ser acionado, o que resultará na sequência de LEDs equivalente à dos semáforos (amarelo seguido de vermelho), enquanto o LED vermelho do semáforo está ligado o LED verde da passadeira estará também por tempo definido. Posteriormente volta ao início com o LED verde do semáforo e o LED vermelho da passadeira ligados, e repete-se o procedimento. Mostra-se na Figura 44 a representação da montagem. O algoritmo desenvolvido encontra-se no anexo 5.4.

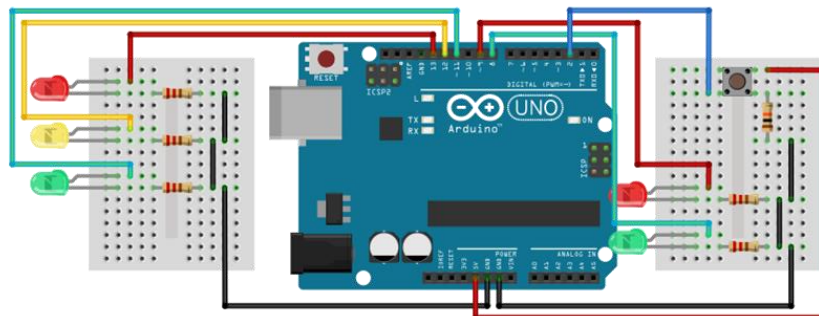


Figura 44 - Representação da montagem semáforo com passadeira

### 2.5.1.3 LED comandado por LDR

Um LDR é um dispositivo semicondutor de dois terminais, cuja resistência varia com a intensidade de luz incidente. Apresenta valores mais elevados de resistência em ambientes escuros e em ambientes claros a sua resistência diminui.

Neste exemplo pretendia-se criar um circuito de iluminação inteligente, que acendia um LED quando a luz ambiente fosse baixa. Utilizou-se um LDR como sensor de luminosidade, a leitura da tensão foi feita através de um *Arduino*. Por tentativa e erro chegando a um valor limite, a partir do qual acendia o LED. Mostra-se na Figura 45 a representação da montagem. O algoritmo desenvolvido encontra-se no anexo 5.5.

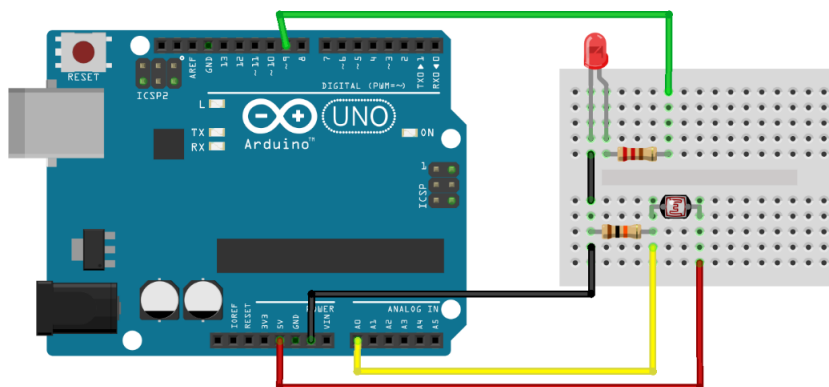


Figura 45 - Representação da montagem LED comandado por LDR

### 2.5.2 Fabteen robótica

Depois de ser avaliada a primeira iniciativa do FabTeen e o *feedback* que se obteve, concluiu-se que foi a área de eletrônica que fez mais sucesso entre os mais novos. Por isso pretendeu-se realizar outra iniciativa dentro do género, com jovens dos 10 aos 15 anos de idade, mas apenas com conceitos de eletrônica.

Para se diferenciar da iniciativa antecedente e de modo a ser dinâmico, optou-se por criar uma pequena competição entre os inscritos, além dos pequenos exercícios de iniciação. Foi desenvolvido um robô seguidor de linha, que todos poderiam “programar”, para competirem entre eles, tentando fazer o menor tempo possível num percurso desenhado por todos os inscritos. Esta sessão contou com duas tardes de duração, sendo a primeira tarde dedicada a pequenos exercícios de iniciação, para os inscritos que não estiveram na primeira edição. Onde se fez exercícios correspondentes ao funcionamento do robô, tais como

velocidade e sentido de rotação de motores DC e deteção por sensores infravermelhos. Para a segunda tarde reservou-se a montagem do robô (estrutura e módulos) e a competição entre os inscritos.

### 2.5.2.1 Exemplos de exercícios

#### 2.5.2.1.1 *Ventoinha (Motor DC)*

Neste exercício pretende-se comandar a velocidade de rotação do motor DC e alterar o seu sentido de rotação. Mais uma vez recorreu-se à plataforma de *Arduino* como auxiliar. Para o comando da velocidade de rotação utilizou-se um potenciómetro e para a troca de sentido de rotação utilizou-se dois botões. O *Arduino* deteta quando um botão é pressionado e lê o valor de tensão no potenciómetro que corresponde à velocidade de rotação do motor. Caso o outro botão seja pressionado o motor altera o seu sentido de rotação, continuando a rodar à mesma velocidade que anteriormente. Mostra-se na Figura 46 a representação da montagem. O algoritmo desenvolvido encontra-se no anexo 5.6.

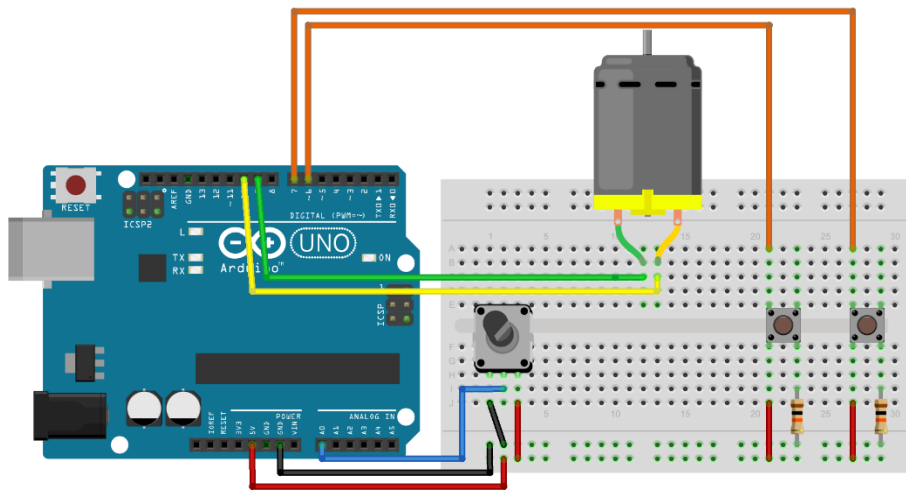


Figura 46 – Representação da montagem Ventoinha (Motor DC)

#### 2.5.2.1.2 *Deteção de objeto por sensor infravermelho*

Pretende-se detetar um objeto por meio de um sensor infravermelho, o sensor consiste num LED emissor de luz infravermelha e um recetor. O LED está sempre ativo emitindo um feixe de luz infravermelha, e quando é refletida por um objeto é imediatamente



### 2.5.2.2.1 Diagrama de blocos

Inicialmente começou-se por “esboçar” o sistema de funcionamento do robô seguidor de linha. Apresenta-se de seguida o diagrama de blocos correspondente ao sistema do robô.

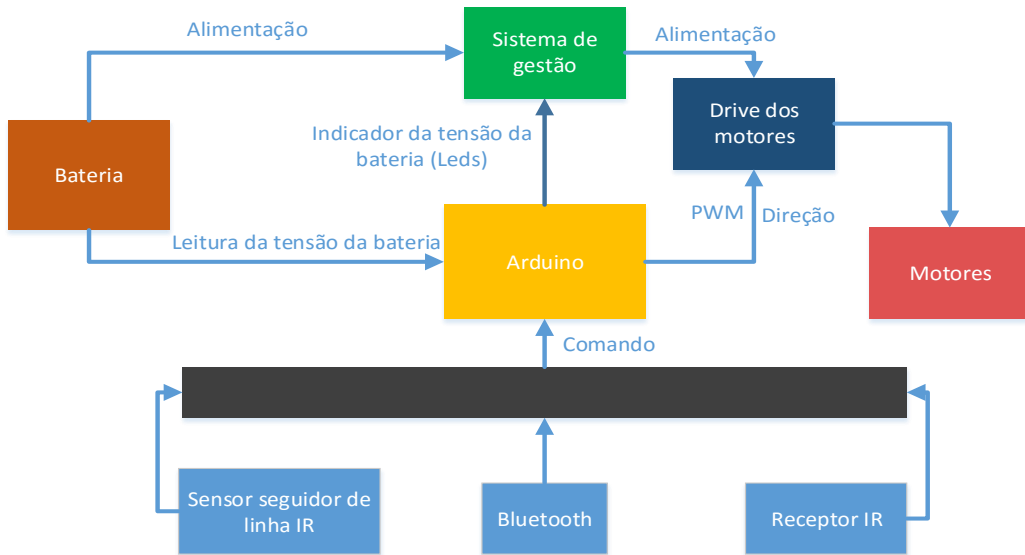


Figura 49 – Diagrama de blocos do sistema robô seguidor de linha

### 2.5.2.2.2 Sistemas de locomoção

Utilizou-se um módulo de *driver full-bridge* com o circuito integrado L298n para os motores, com o qual se pode controlar o sentido de rotação do motor assim como a sua velocidade de rotação utilizando os pinos de comando existentes.

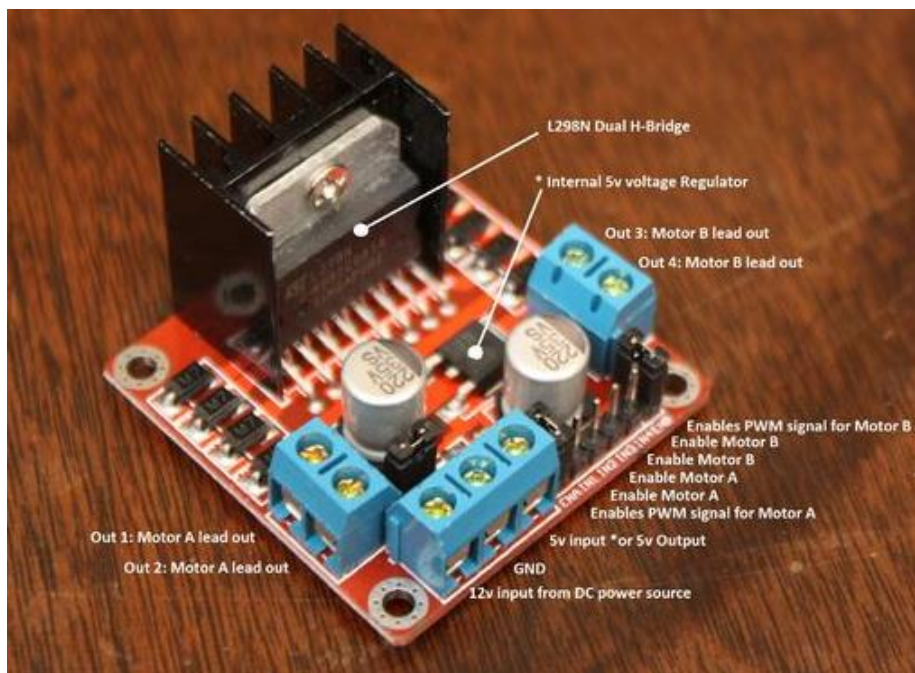


Figura 50 – Módulo *driver Full-Bridge* utilizado para os motores

Este módulo é alimentado a 12V e tem uma saída de 5V que pode ser utilizada para alimentar o *Arduino*. Os pinos “*enables motor A*” e “*enables motor B*” servem para definir o sentido de rotação do motor A ou B respetivamente. O motor só roda se os valores de tensão de ambos os pinos “*enables motor*” forem diferentes, ou seja, 0V (LOW) num e 5V (HIGH) noutra, como se pode ver pela tabela seguinte. Caso ambos os valores de tensão sejam iguais (HIGH ou LOW) o motor não roda.

Inputs		Function
$V_{en} = H$	$C = H ; D = L$	Forward
	$C = L ; D = H$	Reverse
	$C = D$	Fast Motor Stop
$V_{en} = L$	$C = X ; D = X$	Free Running Motor Stop

L = Low                      H = High                      X = Don't care

Tabela 5 – Tabela de controlo do sentido de rotação dos motores DC

Os pinos “*enable PWM signal for motor A*” ou “*enable PWM signal for motor B*” correspondem à velocidade de rotação do motor e têm de estar ligados a portas do *Arduino* que permitam utilizar PWM, já que este é o responsável pela velocidade de rotação.

### 2.5.2.2.3 Sensor de infravermelhos

Para se fazer o rastreamento da linha do percurso utilizou-se um módulo de detecção por reflexão de sensores infravermelhos (IR) de três canais, que se mostra na figura seguinte.



Figura 51 – Sensor de infravermelhos de 3 canais utilizado

Cada canal do módulo é composto por um LED emissor de luz infravermelha e por um foto-transistor, como representado na figura seguinte.

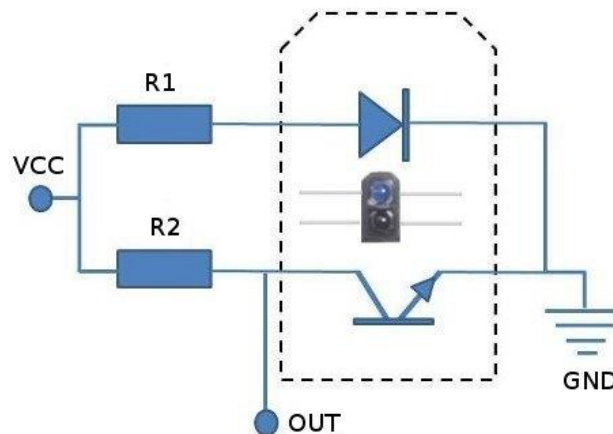


Figura 52 – Esquema de um sensor infravermelhos

O feixe de luz é projetado continuamente pelo LED IR, que é refletido caso encontre algum obstáculo no seu caminho e detetado pelo foto-transístor, como mostra a Figura 53. Quanto mais próximo o obstáculo estiver do conjunto emissor-recetor, maior será a intensidade do sinal recebido.

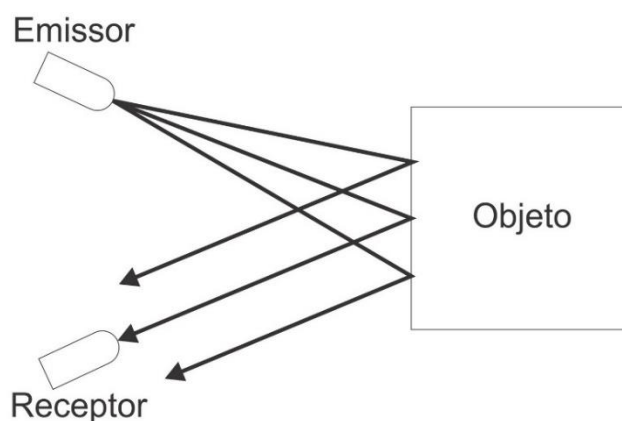


Figura 53 – Exemplo da detecção por reflexão

Foram feitos testes no chão onde pretendíamos construir o percurso, para identificar se o chão refletia ou não o feixe de luz IR. Como o chão refletia o feixe de luz teríamos que utilizar algo que absorvesse o feixe. Optou-se por utilizar fita isoladora preta para delinear os percursos, pois por ser de cor preta absorve o feixe de luz IR.

Como o módulo empregado possuía três canais, utilizou-se o canal do meio sobre a fita delimitadora do percurso e os dois canais restantes estariam fora da linha, cada um do seu lado, como se pode ver na seguinte figura.



Figura 54 – Exemplo da posição do sensor IR perante a linha de percurso

#### 2.5.2.2.4 Módulo de gestão de energia

Para alimentação do robô utilizou-se uma bateria de polímeros de lítio (Li-Po) de três células (11,1V) e uma capacidade de 800mAh. De acordo com a informação disponibilizada pelo fabricante da bateria esta não deve ter um a tensão inferior a 9V (3V por cada célula), nem superior a 12,6V (4,2V por cada célula).

Para alimentar o *driver* dos motores era necessário uma tensão de 12V, pelo que se recorreu a um conversor de tensão DC-DC de topologia *buck-boost*, de entrada variável e saída fixa, para diminuir a tensão da bateria quando for superior a 12V e para a elevar quando for inferior. Mostra-se na Figura 55 o conversor de tensão utilizado.



Figura 55 – Conversor de tensão DC-DC *Buck-Boost*

Para contornar a questão da tensão ser inferior a 9V utilizou-se o *Arduino* como voltímetro, fazendo leituras regulares da tensão da bateria. Como o *Arduino* lê valores de tensão dos 0V a 5V, recorreu-se a um divisor de tensão para calcular as resistências, de acordo com a seguinte expressão:

$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

Com  $V_{OUT} = 5V$

Com  $V_{IN} = 12,6V$

Com  $R_1 = 10k\Omega$

Obteve-se um  $R_2$  normalizado de 6,8k $\Omega$ .

De modo a ser fácil identificar a tensão da bateria, utilizou-se uma sequência de três LEDs (verde, amarelo e vermelho) que indicava intervalos de valores da tensão. O LED verde indica que a tensão é superior a 10,5V, o LED amarelo indica que a tensão está entre 9,5 e 10,5V e o LED vermelho é inferior a 9,5V. Caso a tensão chegue aos 9,2V o robô para. Mostra-se na Figura 56 a placa de circuito impresso e na Figura 57 o esquema do circuito.



Figura 56 – Placa de circuito impresso de gestão de energia

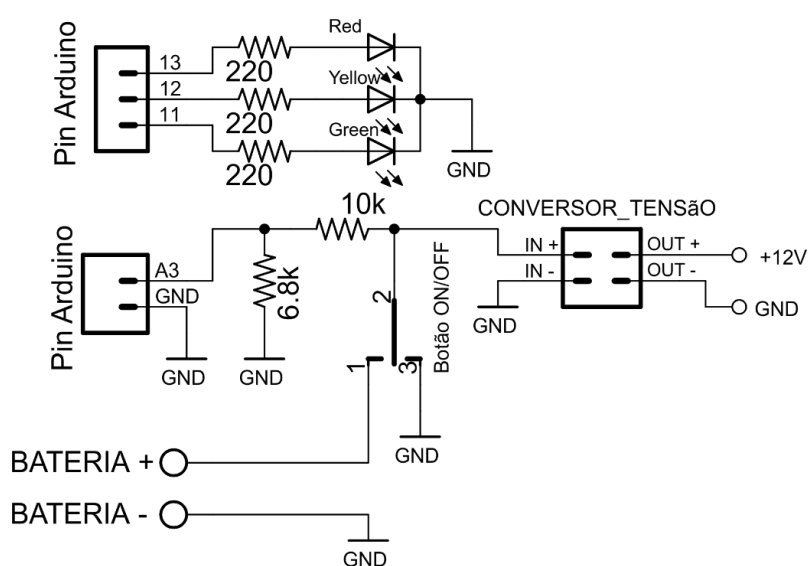


Figura 57 – Esquema do circuito implementado na placa de circuito impresso

### 2.5.2.2.5 Módulo Bluetooth

Optou-se por adicionar uns módulos extras para comando do robô, neste caso em vez de ser um robô seguidor de linha, passou a ser um robô comandado por *Bluetooth*.

Utilizou-se o telemóvel como comando *Bluetooth*, por meio de uma aplicação já existente para esta finalidade, chamada “*I RACER*”.

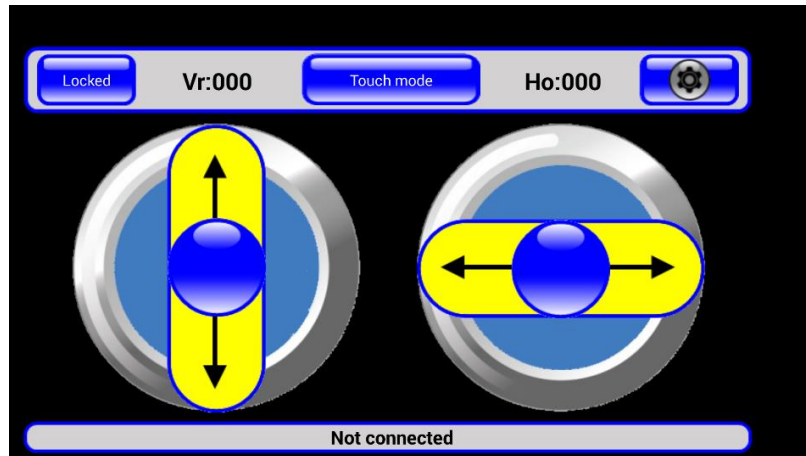


Figura 58 – Interface da aplicação *Bluetooth* utilizada

Começou-se por testar a aplicação e ver a sua resposta perante a interação. Para isso utilizou-se um módulo *Bluetooth* ligado ao *Arduino*, de modo a ser possível visualizar a resposta emitida pela aplicação. Mostra-se na Figura 59 o módulo *Bluetooth* utilizado e na Figura 60 o esquema de ligação ao *Arduino*.



Figura 59 – Módulo *Bluetooth* utilizado

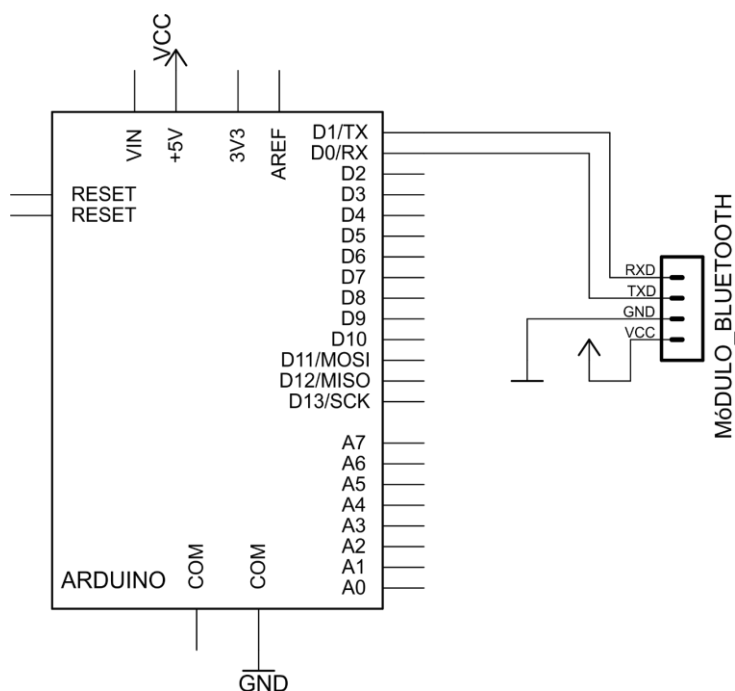


Figura 60 – Esquema de ligação do módulo *Bluetooth* ao *Arduino*

Através da função *serial monitor* do *Arduino* pode-se visualizar os valores de resposta da interação com a aplicação. Com estes valores pode-se “programar” o que o robô faz quando os recebe.

Uma vez que os valores de resposta de interação podem variar de aplicação para aplicação, é conveniente testar sempre os valores de resposta quando é utilizada uma aplicação diferente.

#### 2.5.2.2.6 Módulo infravermelho

Outro módulo extra que se implementou foi o comando por infravermelhos. O módulo utilizado foi desenvolvido no FabLab. Optou-se por desenvolver este módulo devido à sua simplicidade e para evitar ter componentes “soltos”. O esquemático do circuito foi retirado do *datasheet* do recetor IR<sup>[15]</sup>. Mostra-se nas Figuras 61 e 62 o esquema do circuito e o módulo IR, respetivamente.

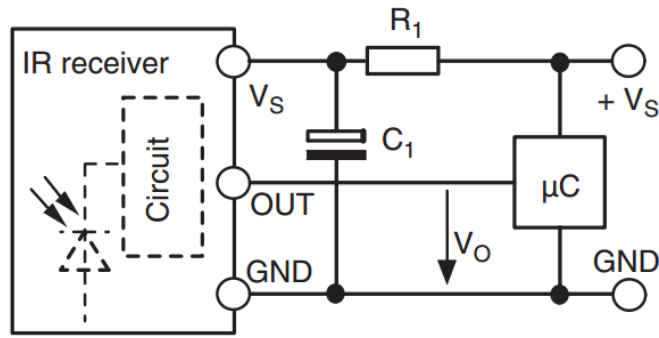


Figura 61 – Esquema do circuito IR

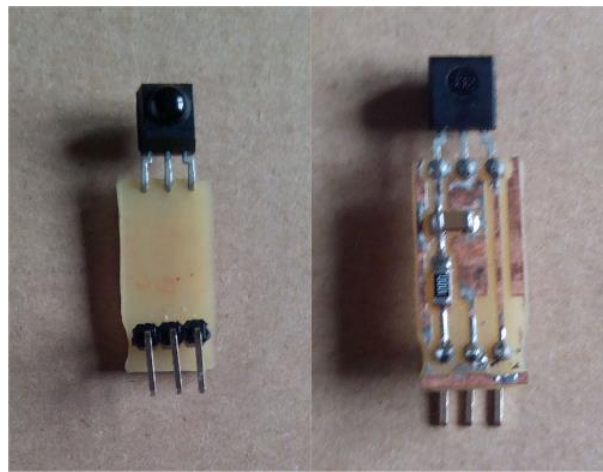


Figura 62 – Módulo IR utilizado

O funcionamento deste módulo é parecido com o do módulo por *Bluetooth*. Após pressionar o botão do comando de infravermelhos este envia o código correspondente. Utilizando a função *serial monitor* do *Arduino* pode-se identificar este código e posteriormente utiliza-se no programa do robô para comandar as funções de movimento.

Esta opção de comando por IR acabou por ser retirada do robô devido a problemas de resposta por parte do mesmo. Pensa-se que isto acontece por causa da posição do recetor IR ir variando conforme a deslocação do robô.

### 2.5.2.2.7 Estrutura do robô

Por se ter facilidade de acesso a máquinas de corte, optou-se por criar o nosso próprio *layout* da estrutura do robô, mostrado na figura seguinte.

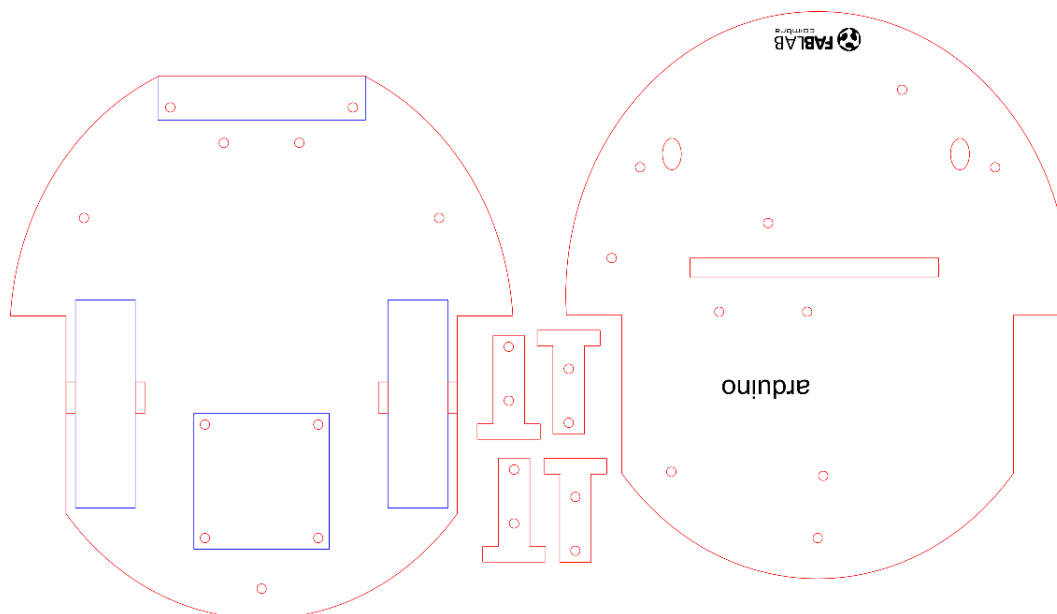


Figura 63 – Estrutura do robô seguidor de linha

## 2.6 Robô de demonstração

Como o robô desenvolvido para o FabTeen fez sucesso, pretendeu-se construir um pequeno robô para demonstração das potencialidades do conjunto de máquinas disponíveis pelo FabLab. Robô este que iria para um a feira de empresas em Moçambique, assim como outros produtos. O prazo de construção deste robô foi muito reduzido (1 dia) devido ao prazo da viagem,

Optou-se por fazer um robô diferente do já utilizado anteriormente, com recurso à plataforma *Arduino* desenvolveu-se então um robô que aparentaria uma forma de aranha. Acrescentou-se um módulo de ultrassons, para detetar obstáculos e se desviar para um dos lados evitando colisões. Mostra-se na Figura 64 o robô construído. O algoritmo desenvolvido encontra-se no anexo 5.9.

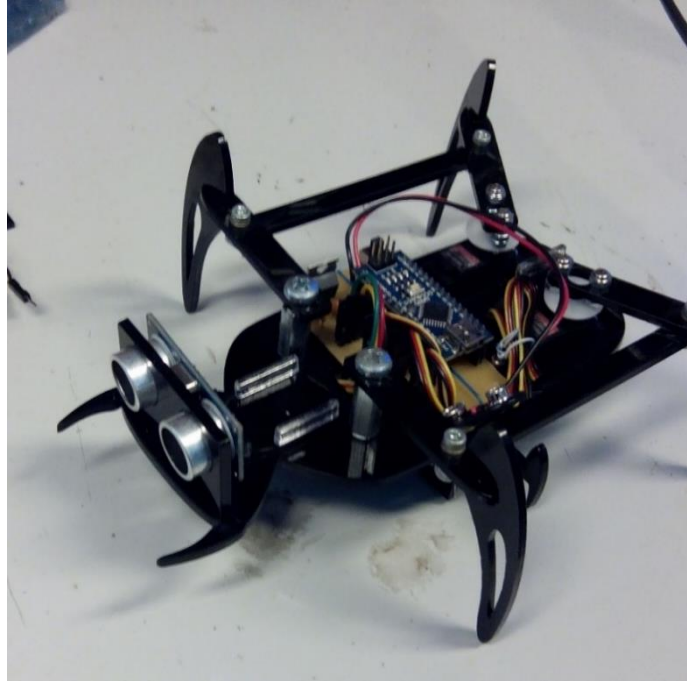


Figura 64 – Robô construído para demonstrações

### 2.6.1 Diagrama de blocos

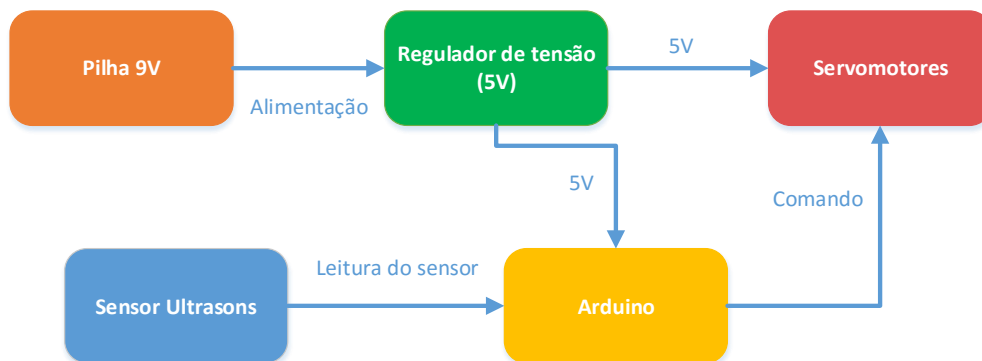


Figura 65 – Diagrama de blocos do robô

### 2.6.2 Sistema de locomoção

De modo a tentar encurtar o espaço e utilizando o menor número de motores, em vez de se utilizar um servo para cada “pata”, optou-se por utilizar para o sistema de locomoção 3 servomotores, como se pode ver na seguinte figura.

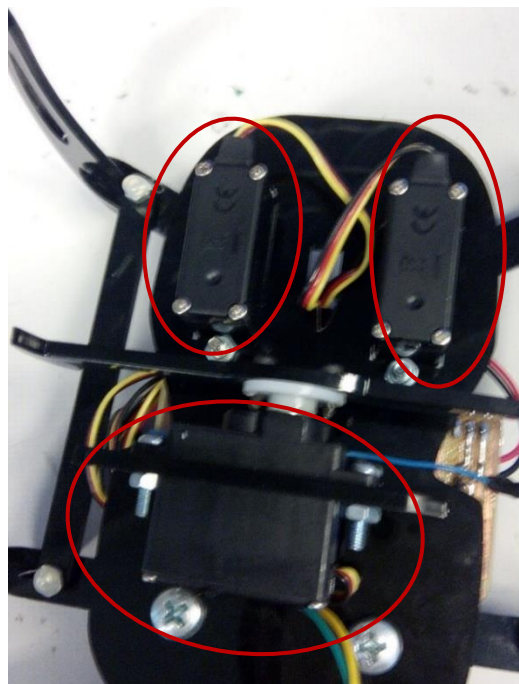


Figura 66 – Imagem da disposição dos servomotores utilizados

Assim dois dos servomotores são responsáveis pelo deslocamento das “patas” laterais, sendo o terceiro responsável por um eixo que cruza o robô. Este eixo permite que as “patas” se movimentem, ou seja, este eixo alterna entre ambos os lados, erguendo o lado em que há movimento, evitando que as “patas” se arrastem pelo chão.

### 2.6.3 Alimentação do sistema

Como fonte de energia para o robô, utilizou-se uma pilha comum de 9V. Mas como os servomotores só operavam com tensões entre os 4,8V e os 6V utilizou-se um regulador de tensão de 5V para reduzir a tensão da pilha, já que a alimentar os motores a 6V apenas aumentaria o binário e a velocidade de rotação, o que não haveria necessidade neste caso. Com a utilização de um regulador de tensão de 5V pode-se alimentar o *Arduino* através da pilha.

Desenvolveu-se uma placa de circuito impresso, onde seria ligada a fonte de energia (pilha) que alimentaria os servomotores, o *Arduino* e o sensor de ultrassons. De modo a simplificar as ligações, esta placa de circuito impresso continha *socket* para o *Arduino*, como para a ligação dos servomotores e a ligação com o sensor de ultrassons, como mostra a figura seguinte.

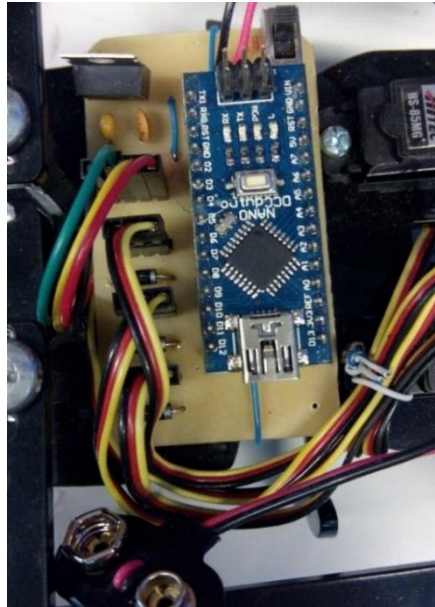


Figura 67 – Representação do aspeto da placa de circuito impresso

Mostra-se na Figura 68 o esquema do circuito implementado na placa de circuito impresso referida anteriormente.

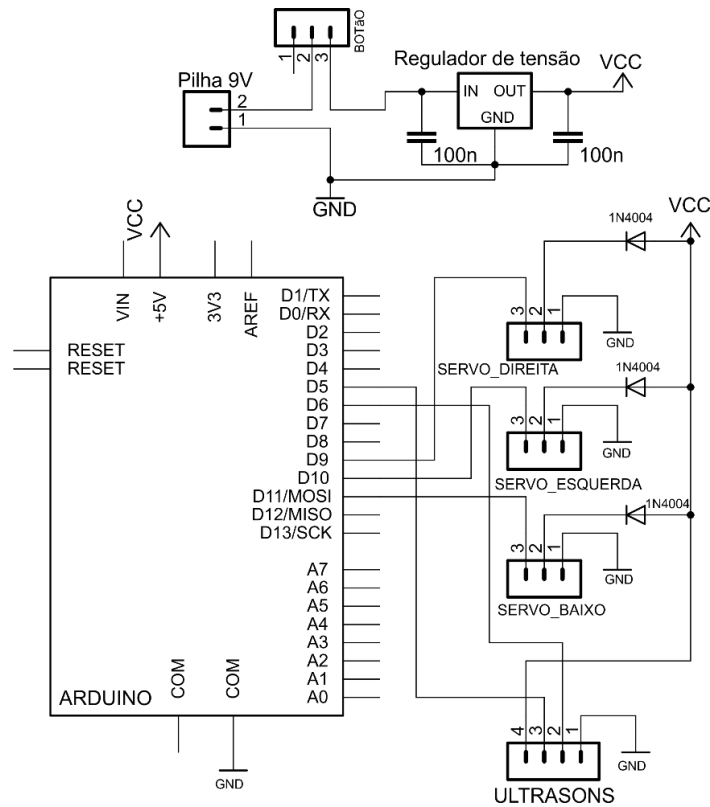


Figura 68 – Esquema do circuito implementado na placa de circuito impresso

## 2.6.4 Sensor ultrassons

Como sensor de deteção de obstáculos utilizou-se um sensor de ultrassons. O sensor ultrassónico é formado por um emissor e um recetor. O seu princípio de funcionamento baseia-se na emissão de ondas sonoras de alta frequência (superiores às frequências audíveis) e na medição do tempo que o eco produzido leva para voltar até ao recetor.

Através da seguinte equação pode-se calcular a distância.

$$Distância = \frac{velocidade \times tempo}{2} \quad (4)$$

Na equação anterior, o termo “*velocidade*” é a velocidade do meio em que a onda se propaga, que neste caso é o ar (340 m/s).

Mostra-se na Figura 69 e 70 o sensor de ultrassons utilizado e o seu aspeto após a implementação.



Figura 69 – Sensor de ultrassons utilizado

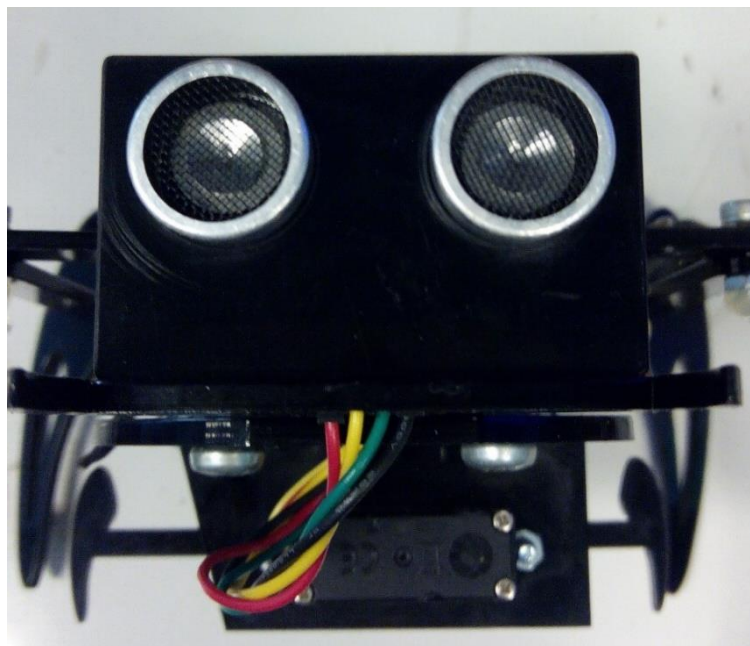


Figura 70 – Aspeto final da implementação do sensor de ultrassons

### 2.6.5 Estrutura do robô

Por se ter facilidade de acesso a máquinas de corte, optou-se por criar o nosso próprio *layout* da estrutura do robô, mostrado na figura seguinte.

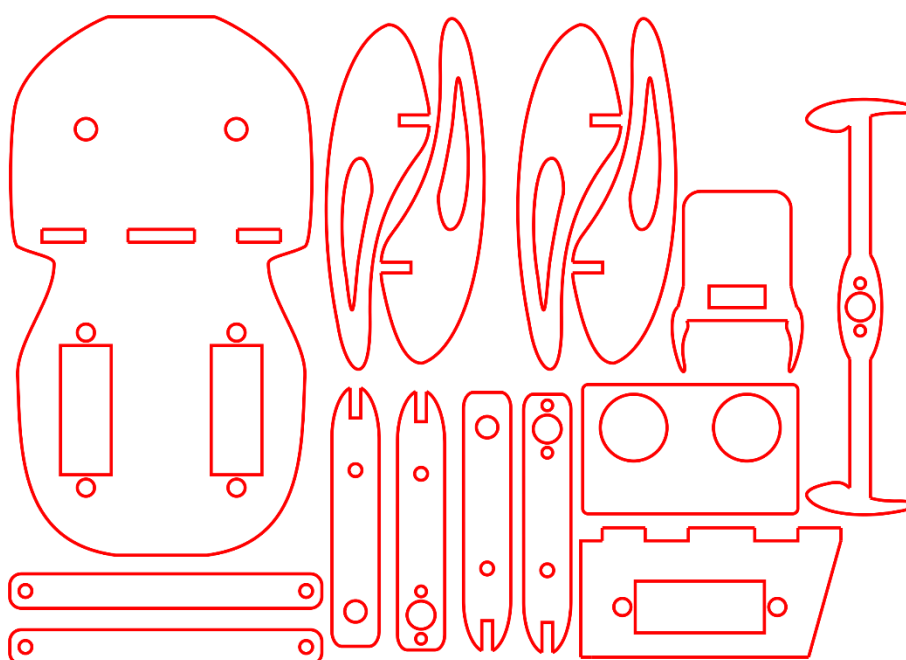


Figura 71 – Estrutura do robô

## 2.7 Maquete romana

O Museu Monográfico de Conimbriga tinha a intenção de reproduzir, através da impressão 3D, uma réplica de uma cidade ideal romana. Após algumas reuniões com os representantes do Museu ficou definido que o FabLab Coimbra se responsabilizaria pela produção e impressão dos desenhos em 3D da cidade. Apenas com alguns conhecimentos básicos de desenho 3D, foi-me proposto este desafio de conceber a maquete 3D.

Inicialmente apenas pretendiam a construção das silhuetas dos edifícios, sem pormenores. De modo a ser coerente entre os desenhos dos edifícios e facilitar o desenho optei por fazer os edifícios de forma modular, facilitando assim a sua conceção.

Mas após algumas reuniões com o conselho científico do Museu, já pretendiam um nível de detalhe superior ao solicitado inicialmente. Tive então que estudar as estruturas dos edifícios de algumas cidades romanas que me foram referenciadas, como, por exemplo, a cidade romana de Timgad entre outras.

Nas Figuras 71 a 74 apresento algumas imagens das maquetes 3D por mim desenvolvidas. Estas maquetes seriam futuramente impressas em 3D para reproduzir a réplica da cidade romana requerida. A finalidade desta maquete seria para exposição no Museu, onde os principais monumentos da cidade seriam identificados por uma luz, quando carregado o botão correspondente ao monumento. Serviria também para que as pessoas invisuais, através do tato, pudessem ter uma perspetiva de uma cidade romana.

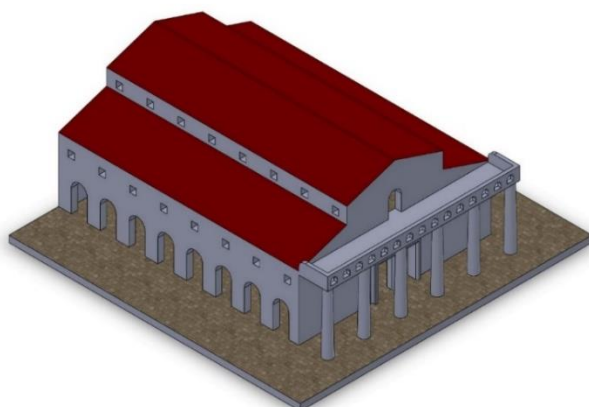


Figura 72 – Representação do aspeto final da Basílica

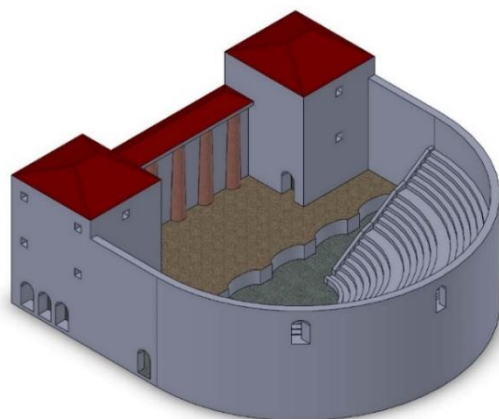


Figura 73 – Representação do aspeto final do Teatro

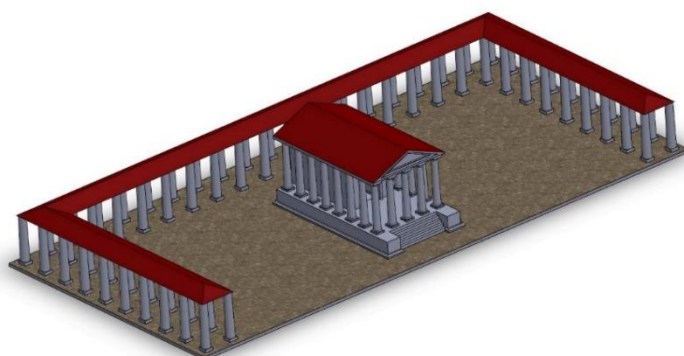


Figura 74 - Representação do aspeto final do Templo do Fórum

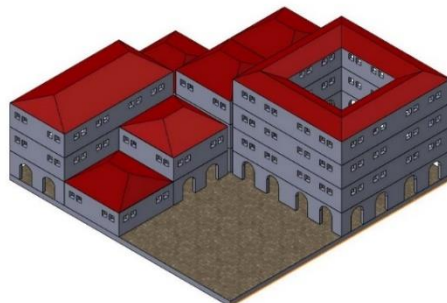


Figura 75 – Representação do aspeto final de um quarteirão de habitações (*insulae*)

### 3 CONCLUSÃO

O estágio foi concluído com sucesso. Durante os nove meses em que decorreu, foram concretizadas as atividades propostas pelo diretor do FabLab Coimbra, desde *Workshops*, orçamentação de projetos, atendimento a clientes, testes com materiais distintos, etc..

Foi uma experiência positiva e enriquecedora, pois foi todo um mundo novo, uma vez que nunca tinha tido contacto com esta área (Fabricação Digital), nem com este tipo de equipamentos e desconhecia o seu estado da arte e de desenvolvimento. Durante o estágio o engenheiro técnico presente no laboratório foi-me explicando como operar com os equipamentos e também toda a manutenção a efetuar, necessária ao seu bom funcionamento. Tive a possibilidade de explorar os equipamentos existentes no laboratório e descobrir algumas das suas potencialidades.

Apesar de ter feito outras atividades diferentes do que estava à espera, achei-as bastante interessantes em termos de experiência pessoal, já que adquiri conhecimentos com tecnologias e *softwares* que possivelmente nunca iria ter contacto, explorando assim novas áreas.



## 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <https://www.fablabs.io/labs>
- [2] <http://pt.slideshare.net/slidesharefing/fab-labs-overview>
- [3] <http://machinist.org/cnc-computer-numerical-control/the-invention-of-cnc-machining/>
- [4] <http://www.gorni.eng.br/protrap.html>
- [5] <https://novarchi.wordpress.com/2015/03/05/tipos-de-fabricacao-digital-adicao-subtracao-e-moldagem/>
- [6] <http://www.troteclaser.com/pt-BR-PT/Servicos/FAQs/Pages/tipos-de-laser.aspx>
- [7] <http://sandro-manutencao.blogspot.pt/2014/09/>
- [8] <http://www.infoescola.com/optica/laser/>
- [9] <http://www.portlaser.com/>
- [10] <http://www.rolanddg.com.br/produtos>
- [11] <http://marceloandriolo.blogspot.pt/>
- [12] <http://www.stratasys.com/3d-printers/>
- [13] <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/733-como-funcionam-os-leds-art096>
- [14] <https://pt.wordpress.org/>
- [15] <http://www.vishay.com/docs/82489/tsop322.pdf>



## 5 ANEXOS

Algoritmos dos projetos de *Arduino* utilizados nos *workshops* anteriormente referidos.

### 5.1 Sistema de aspiração, pág.36

```
int motor1 = 11;
int motor2 = 12;
int motor3 = 13;

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(motor1, OUTPUT);
  pinMode(motor2, OUTPUT);
  pinMode(motor3, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(motor1, HIGH);
  digitalWrite(motor2, LOW);
  digitalWrite(motor3, LOW);
  delay(600000); //tempo equivalente a 10 min
  digitalWrite(motor2, HIGH);
  digitalWrite(motor1, LOW);
  digitalWrite(motor3, LOW);
  delay(600000);
  digitalWrite(motor3, HIGH);
  digitalWrite(motor1, LOW);
  digitalWrite(motor2, LOW);
  delay(600000);
}
```

### 5.2 LED comandado por infravermelhos, pág.40

```
#include <IRremote.h>

int RECV_PIN = 11;
int Led = 9;
IRrecv irrecv(RECV_PIN);
decode_results results;
```

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  irrecv.enableIRIn(); // Start the receiver
  pinMode(Led, OUTPUT);
}

void loop() {
  if (irrecv.decode(&results)) {
    Serial.println(results.value, DEC);
    irrecv.resume(); // Receive the next value
  }

  switch (results.value)
  {
    case 4060792887:
      digitalWrite(Led, HIGH);
      break;

    case 4060752087:
      digitalWrite(Led, LOW);
      break;
  }
}
```

### 5.3 Blink, pág.44

```
int led = 13; // pin de ligação

void setup() {
  //inicialização de saída ou entrada
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// função loop
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // liga led
  delay(1000);             // espera 1 segundo
  digitalWrite(led, LOW); // desliga o led
  delay(1000);             // espera 1 segundo
}
```

### 5.4 Semáforo com passadeira, pág.45

```
int verde=11;
```

---

```

int amarelo=12;
int vermelho=13;
int botao=2;
int peao_vermelho=9;
int peao_verde=8;

void setup() {
  // inicialização das variáveis
  pinMode(verde, OUTPUT);
  pinMode(amarelo, OUTPUT);
  pinMode(vermelho, OUTPUT);
  pinMode(botao, INPUT);
  pinMode(peao_vermelho, OUTPUT);
  pinMode(peao_verde, OUTPUT);
}

// função loop
void loop() {

  digitalWrite(verde, HIGH); // verde liga
  digitalWrite(peao_vermelho, HIGH);

  //espera carregar no botão
  if (digitalRead(botao)==HIGH)
  {
    digitalWrite(verde, LOW);
    digitalWrite(amarelo, HIGH); // sequencia de leds
    delay(1000); // espera 1 segundo (1000ms)
    digitalWrite(amarelo, LOW);
    digitalWrite(vermelho, HIGH);
    delay (200);
    digitalWrite(peao_vermelho, LOW);
    digitalWrite(peao_verde,HIGH);
    delay(1000);
    for (int x=0; x<5; x++) // verde do peao intermitente
    {
      digitalWrite(peao_verde,HIGH);
      delay(200);
      digitalWrite(peao_verde,LOW);
      delay(200);
    }
    digitalWrite(peao_vermelho, HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(vermelho, LOW);
  }
}

```

## 5.5 LED comandado por LDR, pág.46

```
void setup()
{
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(A0,INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int pisca = analogRead(A0);
  int pisca1;
  pisca=map(pisca,300,900, 255,0);//mapea o valor analógico do LDR, para 0 a 255
  if (pisca<50){
    pisca1=0;
  }else{
    pisca1=pisca;
  }
  analogWrite(9,pisca1);
  Serial.print(pisca1);
  Serial.print("\n");
}
```

## 5.6 Ventoinha (Motor DC), pág.47

```
int pot =A0;
int botao1=6;
int botao2=7;
int motorA=9;
int motorB=10;
int val;
int bot1 = 0;
int bot2 = 0;

void setup()
{
  pinMode(pot,INPUT);
  pinMode(botao1,INPUT);
  pinMode(botao2,INPUT);
  pinMode(motorA,OUTPUT);
  pinMode(motorB,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
```

---

```

{
  if (digitalRead(botao1)==1)// variaveis de estado
  {
    bot1=1;
    bot2=0;
  }
  else if (digitalRead(botao2)==1)
  {
    bot2=1;
    bot1=0;
  }
}

else if (bot1==1) //carrego botao 1 entra neste ciclo
{
  val = analogRead(pot);
  val = map(val, 0, 1023, 0, 250);
  analogWrite(motorA,0);
  analogWrite(motorB,val);
}
else if (bot2==1)
{
  val = analogRead(pot);
  val = map(val, 0, 1023, 0, 250);
  analogWrite(motorB,0);
  analogWrite(motorA,val);
}
}

```

## 5.7 Detecção de objeto por sensor infravermelho, pág.47

```

int objeto = 0;
int led1=13;

void setup()
{
  pinMode(7, INPUT); //Pino ligado ao coletor do fototransistor
  pinMode(led1,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  objeto = analogRead(A1); // deteta objecto por reflexão
  if (objeto <950)
  {
    Serial.println("Objeto : Detectado"); // objeto detetado acende o led
    Serial.println(objeto);
  }
}

```

```
digitalWrite(led1,HIGH);
}
else
{
  Serial.println("Objeto : Ausente");
  digitalWrite(led1,LOW);
  Serial.println(objeto);
}
}
```

## 5.8 Robô seguidor de linha, pág.48

```
// Identificação dos Pins
```

```
#include <IRremote.h>
```

```
/*int RECV_PIN = 2;
```

```
IRrecv irrecv(RECV_PIN); // descomentar estas linhas caso utilize o comando InfraVermelhos
decode_results results;*/
```

```
int vel =220;
```

```
// Motor A
```

```
int enA = 10;
```

```
int in1 = 9;
```

```
int in2 = 8;
```

```
// Motor B
```

```
int enB = 5;
```

```
int in3 = 7;
```

```
int in4 = 6;
```

```
// Sensor IR de tracking
```

```
int IR_esquerda = A0;
```

```
int IR_centro = A1;
```

```
int IR_direita = A2;
```

```
//int i=80;
```

```
// LED's Bateria
```

```
int ledVerde=11;
```

```
int ledAmarelo=12;
```

```
int ledVermelho=13;
```

```
int bateria= A3;
```

```
//double VCC=12.0;
```

```
// Bluetooth
```

```
int state;
```

```
int flag=0;
```

```
//--- Inicializar funcoes -----
```

```
-----
```

```

void Parado();
void andarFrente();
void andarTras();
void viraDireita();
void viraEsquerda();
void lerBateria();

//-----
-----

void setup()
{
  // Inicialização dos Pins
  pinMode(enA, OUTPUT);
  pinMode(enB, OUTPUT);
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(in3, OUTPUT);
  pinMode(in4, OUTPUT);
  //pinMode(sensor, INPUT);

  pinMode(IR_esquerda, INPUT);
  pinMode(IR_centro, INPUT);
  pinMode(IR_direita, INPUT);

  pinMode(bateria, INPUT);
  pinMode(ledVerde, OUTPUT);
  pinMode(ledVermelho, OUTPUT);
  pinMode(in4, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
  //irrecv.enableIRIn();
}

void loop()
{
  // bateria -----
  lerBateria();

  /* // seguidor de linha ----- // descomentar para utilizar o
  robô seguidor de linha
  int left=analogRead(IR_esquerda);
  int center=analogRead(IR_centro);
  int right=analogRead(IR_direita);

  if(left<300 && right<300 && center >300)
  {
    andarFrente();
  }
  else if(left<300 && right>300 && center>300)

```

---

```
{
  viraDireita();
}
else if (left>300 && right<300 && center>300)
{
  viraEsquerda();
}*/

// bluetooth ----- // descomentar para utilizar o
robô comandado por Bluetooth
if(Serial.available() > 0){
  state = Serial.read();
  flag=0;
}
//Serial.println(state);

if(state==115)
{
  Parado();
} else if (state==119){
  andarFrente();
} else if (state==120){
  andarTras();
} else if (state==100){
  viraDireita();
} else if (state==97){
  viraEsquerda();
}

/* // Comando IR ----- // descomentar para
utilizar o robô comandado por InfraVermelhos
if (irrecv.decode(&results)) {
  Serial.println(results.value, HEX);
  irrecv.resume(); // Receive the next value
}
switch (results.value)
{
  case 4060792887:
  andarFrente();
  break;

  case 4060752087:
  andarTras();
  break;

  case 4060768407:
  viraEsquerda();
  break;
```

---

```

    case 4060784727:
    viraDireita();
    break;

    case 4060758207 || 4294967295:
    Parado();
    break;
}*/

}

// Funções motores direcção e velocidade

void lerBateria()
{
    int volt=analogRead(bateria);
    if(volt>843){
        digitalWrite(ledVerde, HIGH);
        digitalWrite(ledAmarelo, LOW);
        digitalWrite(ledVermelho, LOW);
    } else if(volt<843 && volt>790){
        digitalWrite(ledVerde, LOW);
        digitalWrite(ledAmarelo, HIGH);
        digitalWrite(ledVermelho, LOW);
    } else if(volt<790 && volt>750){
        digitalWrite(ledVerde, LOW);
        digitalWrite(ledAmarelo, LOW);
        digitalWrite(ledVermelho, HIGH);
    }
    if(volt<754){
        Parado();
    }
}

void Parado()
{
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);

    digitalWrite(in1, LOW);
    digitalWrite(in2, LOW);

    analogWrite(enB, 0);
    analogWrite(enA, 0);
}

void andarFrente()
{

```

```
digitalWrite(in3, LOW);  
digitalWrite(in4, HIGH);  
  
digitalWrite(in1, LOW);  
digitalWrite(in2, HIGH);  
  
analogWrite(enB, vel);  
analogWrite(enA, vel);  
}  
  
void andarTras()  
{  
    digitalWrite(in3, HIGH);  
    digitalWrite(in4, LOW);  
  
    digitalWrite(in1, HIGH);  
    digitalWrite(in2, LOW);  
  
    analogWrite(enB, vel);  
    analogWrite(enA, vel);  
}  
  
void viraDireita()  
{  
    digitalWrite(in1, LOW);  
    digitalWrite(in2, LOW);  
    analogWrite(enA, 100);  
  
    digitalWrite(in3, LOW);  
    digitalWrite(in4, HIGH);  
    analogWrite(enB, vel);  
}  
  
void viraEsquerda()  
{  
    digitalWrite(in3, LOW);  
    digitalWrite(in4, LOW);  
    analogWrite(enB, 100);  
  
    digitalWrite(in1, LOW);  
    digitalWrite(in2, HIGH);  
    analogWrite(enA, vel);  
}
```

## 5.9 Robô de demonstração, pág.58

```
#include <Servo.h>
```

---

```

// ----- Servos -----
Servo servo_esquerda; //angulo base - 90
Servo servo_direita; //angulo base - 105
Servo servo_baixo; //angulo base - 105

// ----- UltraSons -----
int trig=5;
int echo=6;

// ----- inicializações Funções -----
void frente_esquerda();
void frente_direita();
void tras_esquerda();
void tras_direita();

void setup()
{
  servo_esquerda.attach(9);
  servo_direita.attach(10);
  servo_baixo.attach(11);
  pinMode(trig, OUTPUT);
  pinMode(echo, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
// ----- funcionamento UltraSons -----
  long distancia;
  digitalWrite(trig, LOW); // Added this line
  delayMicroseconds(2); // Added this line
  digitalWrite(trig, HIGH);
  delayMicroseconds(10); // Added this line
  digitalWrite(trig, LOW);
  distancia = pulseIn(echo, HIGH);
  // Serial.print(distancia);
  // Serial.print("\n");

// ----- funcionamento de movimento -----
  if(distancia >850){
    frente_esquerda();
    frente_direita();
  } else if(distancia <850 && distancia >550){
    int a=0;
    a=random(1,3);
    if (a==1){
      frente_esquerda();
      tras_direita();
    } else if(a==2){

```

```
        frente_direita();
        tras_esquerda();
    }
} else if(distancia <550){
    tras_esquerda();
    tras_direita();
}
}

// ----- funções de movimento -----
void frente_esquerda(){
    servo_baixo.write(90);
    servo_esquerda.write(115);
    servo_direita.write(160);
    delay(500);
}

void frente_direita(){
    servo_baixo.write(120);
    servo_esquerda.write(40);
    servo_direita.write(80);
    delay(500);
}

void tras_esquerda(){
    servo_baixo.write(90);
    servo_esquerda.write(40);
    servo_direita.write(160);
    delay(500);
}

void tras_direita(){
    servo_baixo.write(120);
    servo_esquerda.write(115);
    servo_direita.write(80);
    delay(500);
}
```