



# ESTUDO E AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE FABRICO DE BAIXO CUSTO POR PROCESSOS TECNOLÓGICOS

**NUNO ANDRÉ SILVA ALVES FERNANDES**

março de 2022

# **ESTUDO E AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE FABRICO DE BAIXO CUSTO POR PROCESSOS TECNOLÓGICOS**

Nuno André Silva Alves Fernandes  
1100953

**2021/2022**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica – Gestão Industrial





## **ESTUDO E AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE FABRICO DE BAIXO CUSTO POR PROCESSOS TECNOLÓGICOS**

Nuno André Silva Alves Fernandes  
1100953

Dissertação apresentada ao ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto) para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, no ramo de Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e coorientação do Professor Doutor Paulo António da Silva Ávila, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

**2021/2022**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica – Gestão Industrial





# JÚRI

## **Presidente**

Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira  
Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro  
Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Coorientador**

Professor Doutor Paulo António da Silva Ávila  
Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Professora Cátia Filipa Veiga Alves  
Professora Convidada equiparada a Professora Auxiliar, Departamento de Produção e Sistemas, Escola Engenharia, Universidade do Minho



## AGRADECIMENTOS

À minha família, particularmente aos meus pais, por todo o apoio transmitindo ao longo de todo este período.

Ao Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro pela disponibilidade, acompanhamento e interesse desde o primeiro momento em que este projeto se iniciou e pelo acreditar na exploração do tema.

Aos amigos e colegas da faculdade, por partilharem diversas experiências, o agradecimento pela ajuda e a amizade vivenciadas ao longo deste tempo.



## **PALAVRAS CHAVE**

Equipamentos de Baixo Custo, Projeto Aberto (*Open Design*), Inovação Aberta, Produção Aberta, Laboratório Ciência Aberta (*Open Science Laboratory*)

## **RESUMO**

O *Open Design* permite projetar ou modificar um produto sem qualquer tipo de restrição, isto é, com liberdade para proceder a alterações sem qualquer limitação de propriedade intelectual e industrial. Pode-se afirmar que *Open Design* é, potencialmente, um dinamizador de equipamentos de baixo custo, podendo servir laboratórios científicos como empreendedores, devido à característica de democratização do conhecimento e da propriedade.

O ponto fulcral do trabalho é a realização de uma avaliação dos equipamentos industriais de baixo custo que realizam processos de fabrico sejam os mesmos físicos, ou digitais comprovando através de um estudo analítico detalhado das características e tecnologias dos equipamentos de baixo custo, que é possível adquirir ou produzir um equipamento com um custo relativamente económico. Esta avaliação foi baseada na análise e compreensão do conceito de *Open Design*, que conduziu à interligação deste conceito com os equipamentos de baixo custo.

A metodologia adotada é um Projeto de pesquisa do conceito de *Open Design* e de Equipamentos de Baixo Custo, recorrendo a referências bibliográficas, na fase da Revisão Bibliográfica e interligando toda a pesquisa realizada, na fase de Desenvolvimento. Esta interligação foi conseguida através da apresentação dos processos físicos e digitais existentes que são inerentes aos equipamentos descritos e apresentados e que proporcionam a sua análise e avaliação, em consonância, com as metas definidas para atingir o objetivo principal com base em referências bibliográficas e outras fontes de informação como páginas eletrónicas associadas a estes equipamentos.

O desenvolvimento dos processos de fabrico e de impressão 3D com as melhorias e práticas inerentes às mesmas permitiram impulsionar o aparecimento de novas tecnologias e expandir a produção industrial.

Em consequência do que foi referido, anteriormente, os processos em termos físicos, proporcionaram uma maior abrangência de vários tipos de material que está diretamente ligado ao surgimento de novos processos e tecnologias. Nos processos em termos digitais, a partilha de metamodelos ou produtos criados com recurso a *softwares* de modelação 3D, através das plataformas de partilha comunitária *online* como o *Thingiverse* ou o *Github*, que tendem a crescer ou estabilizar ao longo do tempo, proporcionam a sua reutilização seja por replicação ou personalização, constituindo uma inovação.

Como tal, foi demonstrado que é possível produzir produtos a custos relativamente baixos, assim como, adquiri-los a estes custos excetuando um maior dispêndio dos equipamentos do ramo científico e investigação. As tecnologias inerentes aos equipamentos adequam-se a apenas um tipo de material ou a pelo menos dois tipos de material, mais concretamente nas impressoras 3D ou equipamentos CNC (*Computer Numeric Control*).

O *Open Design* constitui uma alternativa de inovação que permite evoluir capacidades de desenvolvimento, através da obtenção de maiores competências além de permitir uma maior preponderância aos utilizadores das plataformas por forma a que consigam atingir a visibilidade desejada para os produtos criados que se constituem como alternativas válidas relativamente a outros que, por vezes, uma parcela da população dificilmente alcança.

**KEYWORDS**

*Low Cost Equipment, Open Design, Open Innovation, Open Production, Open Science Laboratory*

**ABSTRACT**

*Open Design allows you to design or modify a product without any type of restriction, that is, with the freedom to make changes without any limitation of intellectual and industrial property. It can be said that Open Design is, potentially, a dynamizer of low-cost equipment, which can serve scientific laboratories as entrepreneurs, due to the characteristic of democratization of knowledge and ownership.*

*The main point of the work is to carry out an evaluation of low-cost industrial equipment that performs manufacturing processes, whether the same physical or digital, proving through a detailed analytical study of the characteristics and technologies of low-cost equipment, which it is possible to acquire or produce equipment at a relatively economical cost. This evaluation was based on the analysis and understanding of the Open Design concept, which led to the interconnection of this concept with low-cost equipment.*

*The methodology adopted is a research project on the concept of Open Design and Low Cost Equipment, using bibliographic references, in the Bibliographic Review phase and linking all the research carried out, in the Development phase. This interconnection was achieved through the presentation of the existing physical and digital processes that are inherent to the equipment described and presented and that provide their analysis and evaluation, in line with the goals defined to achieve the main objective based on bibliographic references and other sources. information such as electronic pages associated with these devices.*

*The development of manufacturing and 3D printing processes with the improvements and practices inherent to them allowed for the emergence of new technologies and the expansion of industrial production.*

*As a result of what was mentioned above, the processes in physical terms, provided a greater coverage of various types of material that is directly linked to the emergence of new processes and technologies. In digital terms, the sharing of metamodels or products created using 3D modeling software, through online community sharing platforms such as Thingiverse or Github, which tend to grow or stabilize over time, provide for their reuse. either by replication or personalization, constituting an innovation.*

*As such, it has been demonstrated that it is possible to produce products at relatively low costs, as well as to acquire them at these costs, except for a greater expenditure of equipment in the scientific and research field. The technologies inherent to the equipment are suitable for only one type of material or at least two types of material, more specifically in 3D printers or CNC (Computer Numeric Control) equipment.*

*Open Design is an innovation alternative that allows the evolution of development capabilities, through the acquisition of greater competences, in addition to allowing a greater preponderance of users of the platforms so that they can achieve the desired visibility for the created products that constitute valid alternatives. relative to others that, sometimes, a portion of the population hardly reaches.*

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

2D	<i>Two Dimensional</i>
3D	<i>Three Dimensional</i>
3DP	<i>Three Dimensional Printing</i>
A	Altura
ABS	<i>Acrylonitrile butadiene styrene</i>
BSD	<i>Berkeley Source Distribution</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CC	<i>Creative Commons</i>
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
D	Diâmetro
DIY	<i>Do It Yourself</i>
DLP	<i>Digital Light Processing</i>
EBM	<i>Electron Beam Melting</i>
FabLab	<i>Fabrication Laboratory</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
FFF	<i>Fused Filament Fabrication</i>
FOSH	<i>Free Open Source Hardware</i>
FOSS	<i>Free Open Source Software</i>
HDPE	<i>High-density polyethylene</i>
IA	Inteligência Artificial
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
L	Largura
LCEA	<i>Life-Cycle Economic Analysis</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i>
MD	<i>Molecular Dynamics</i>
OS	<i>Open Source</i>
OS3DP	<i>Open Source Three Dimensional Printers</i>
OSPD	<i>Open Source Product Development</i>
OSHW	<i>Open Source Hardware</i>
OSS	<i>Open Source Software</i>
P	Profundidade
PLA	<i>Polylactic Acid</i>
PETG	<i>Polyethylene terephthalate glycol</i>
PMEs	Pequenas e Médias Empresas

PP	<i>Polypropylene</i>
SciFabLab	<i>Scientific Fabrication Laboratory</i>
SCOPES	<i>Sparking Curiosity Through Open-Source Platforms in Education and Science</i>
SLA	<i>Stereolithography</i>
SLM	<i>Selective laser melting</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
SPD	<i>Social Product Development</i>
STEM	<i>Science Technology Engineering and Mathematics</i>
STM	<i>Scanning Tunneling Microscope</i>
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UV	Ultravioleta

#### Lista de Unidades

cm	centímetro
cm <sup>3</sup>	centímetro cúbico
GB	<i>Gigabyte</i>
°C	grau Celsius
kg	quilograma
μm	micrómetro
mm	milímetro
mm/s	milímetro por segundo

#### Lista de Símbolos

R <sup>2</sup>	Correlações lineares ou coeficiente de correlação
\$	Dólar
€	Euro
%	Porcentagem

## GLOSSÁRIO DE TERMOS

---

Fabrico Aditivo	Método de fabrico onde um modelo tridimensional é criado por sucessivas adições de camadas de material.
<i>Hardware</i>	Engloba o conjunto de todos os dispositivos físicos e equipamentos utilizados no processo de informações.
Projeto Aberto ( <i>Open Design</i> )	Modelo de desenvolvimento que proporciona a liberdade de informações para o desenho de um produto, podendo modificar o mesmo como resposta a mudanças no produto ou no sistema de produção.
<i>Software</i>	Engloba a sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas, na manipulação, redirecionamento ou modificação de um conjunto de dados.

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - INOVAÇÃO FECHADA (CHESBROUGH, 2012)	32
FIGURA 2 - INOVAÇÃO ABERTA (HUIZINGH, 2011)	32
FIGURA 3 - TIPOS DE ESTRATÉGIAS DE ENTRADA DA INOVAÇÃO ABERTA (SAEBI & FOSS, 2015)	33
FIGURA 4 - COMBINAÇÕES DA INOVAÇÃO (HUIZINGH, 2011)	35
FIGURA 5 - SISTEMA DE VALOR NA PRODUÇÃO ABERTA (REDLICH, WULFSBERG, & BRUHNS, 2010)	37
FIGURA 6 - PONTOS CHAVE DA PRODUÇÃO ABERTA (REDLICH, WULFSBERG, & BRUHNS, 2010)	38
FIGURA 7 - PLACA ARDUINO (ARDUINO, 2020)	40
FIGURA 8 - LIBREOFFICE (NOTÍCIAS E TECNOLOGIA, 2019)	41
FIGURA 9 - DIMENSÕES 3DP (KIETZMANN, PITT, & BERTHON, 2015)	48
FIGURA 10 - NÚMERO DE UTILIZADORES GITHUB	61
FIGURA 11 - NÚMERO DE UPLOADS GITHUB	62
FIGURA 12 - NÚMERO DE UTILIZADORES THINGIVERSE	63
FIGURA 13 - NÚMERO DE UPLOADS THINGIVERSE	64
FIGURA 14 - NÚMERO DE UTILIZADORES HACKADAY	65
FIGURA 15 - IMPRESSORA 3D DE BAIXO CUSTO FAB@HOME (FABATHOME, 2018) (WIKI, 2021)	69
FIGURA 16 - IMPRESSORA 3D <i>TINYBOY</i> (TINYBOY, 2020)	69
FIGURA 17 - OBJETOS IMPRESSOS NA IMPRESSORA 3D <i>TINYBOY</i> (TINYBOY, 2020)	70
FIGURA 18 - PWDR 0.1 (PWDR, 2020)	71
FIGURA 19 - IMPRESSORA REPRAP MENDEL (WIKI, 2020)	72
FIGURA 20 - IMPRESSORA 3D XYZ PRINTING DA VINCI MINI W+ WI-FI (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)	73
FIGURA 21 - IMPRESSORA 3D VELLEMAN VERTEX NANO K8600 (VELLMAN, 2021) (FNAC, 2021)	74
FIGURA 22 - IMPRESSORA 3D XYZ PRINTING DA VINCI NANO (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)	75
FIGURA 23 - IMPRESSORA 3D MICRODELTA REWORK 3D PRINTER (REPRAP 3D PRINTER, 2021)	76
FIGURA 24 - ULTIMAKER 2+ CONNECT (ULTIMAKER, 2021)	77
FIGURA 25 – DIYLILCNC (DIYLILCNC, 2016)	78
FIGURA 26 - X-CARVE (INVENTABLES, 2021)	79
FIGURA 27 – HANDIBOT (HANDIBOT, 2021)	80
FIGURA 28 – LONGMILL (SIENCI LABS, 2021)	81
FIGURA 29 - MULTIPLEX CNC ROUTER (HACKADAY, 2020)	82
FIGURA 30 - MAKESMITH CNC (HACKADAY, 2014)	83
FIGURA 31 – LASERSAUR (LASERSAUR, 2020)	84
FIGURA 32 – MAKERSCANNER (MAKERSCANNER, 2010)	86
FIGURA 33 – MYPHOTONICS (MYPHOTONICS, 2019)	87
FIGURA 34 - PLATAFORMA NMR (OPEN SOURCE IMAGING, 2019)	88
FIGURA 35 – FLYPI (HACKADAY, 2020)	89
FIGURA 36 - IOT MICROSCOPE (HACKADAY, 2020)	90
FIGURA 37 – OPENSPLITZER (OPEN LABWARE, 2021)	90
FIGURA 38 - HYPERSPECTRAL SCANNER (OPEN LABWARE, 2021)	91

---

FIGURA 39 - HOME-BUILT STM (HACKADAY, 2020) (DBERARD, 2017)	92
FIGURA 40 – POPPY (POPPY, 2020)	92
FIGURA 41 – ICUB (ICUBE, 2016)	93
FIGURA 42 – HEXY (ARCBOTICS, 2016)	94
FIGURA 43 – UARM (UFACTORY, 2021)	95
FIGURA 44 - SCRIBING ROBOT (HACKADAY, 2018)	96
FIGURA 45 - BOBBLE BOT (HACKADAY, 2020)	97
FIGURA 46 - DEEP RC (HACKADAY, 2020)	98
FIGURA 47 – OTTO (OTTO, 2021) (HACKADAY, 2019)	98
FIGURA 48 – HROBOT (HACKADAY, 2017)	99
FIGURA 49 – MEARM (HACKADAY, 2017)	100
FIGURA 50 – INSPECTORBOT (HACKADAY, 2017)	101
FIGURA 51 - WIRE BEINGS (HACKADAY, 2016)	102
FIGURA 52 - QUADRUP3D (HACKADAY, 2018)	102
FIGURA 53 - INSTRUMENTO MUSICAL F-F-FIDDLE (OPENFABPDX, 2021)	103
FIGURA 54 - REYNARD DA ANDRE CARS (ANDRE, 2021)	104
FIGURA 55 – HACKBERRY (HACKBERRY, 2021)	104

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - FUNDAMENTAÇÃO DOS TIPOS DE ESTRATÉGIAS DE ENTRADA DA INOVAÇÃO ABERTA (SAEBI & FOSS, 2015)	34
TABELA 2 - FUNDAMENTAÇÃO DAS COMBINAÇÕES DA INOVAÇÃO (HUIZINGH, 2011)	36
TABELA 3 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO OPEN DESIGN, NA PERSPETIVA DO FABRICO ADITIVO (FORD & DESPEISSE, 2016)	41
TABELA 4 - COMBINAÇÕES 3DP (KIETZMANN, PITT, & BERTHON, 2015)	48
TABELA 5 - APLICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO	49
TABELA 6 - SOFTWARES SISTEMAS DE PRODUÇÃO 3D	57
TABELA 7 - SOFTWARES CIÊNCIA E INVESTIGAÇÃO	59
TABELA 8 - SOFTWARES ROBÓTICA	60
TABELA 9 - NÚMERO DE UTILIZADORES GITHUB (GOOGLE OPEN SOURCE, 2020)	61
TABELA 10 - NÚMERO DE UPLOADS GITHUB (GOOGLE OPEN SOURCE, 2020)	62
TABELA 11 - NÚMERO DE UTILIZADORES THINGIVERSE (BUSINESSWIRE, 2018) (WIKI, 2021)	63
TABELA 12 - NÚMERO DE UPLOADS THINGIVERSE (BUSINESSWIRE, 2018) (WIKI, 2021)	64
TABELA 13 - NÚMERO DE UTILIZADORES HACKADAY (HACKADAY, 2016) (HACKADAY, 2017)	65
TABELA 14 - CORRELAÇÕES LINEARES OU COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ( $R^2$ ) DOS UTILIZADORES DAS PLATAFORMAS	66
TABELA 15 - CORRELAÇÕES LINEARES OU COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ( $R^2$ ) DOS UPLOADS DAS PLATAFORMAS	66
TABELA 16 - CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO TECNOLOGIA	66
TABELA 17 - CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO ÁREA DE TRABALHO	67
TABELA 18 - CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO TIPO DE MATERIAL COMPATÍVEL	67
TABELA 19 - AVALIAÇÃO GLOBAL DOS EQUIPAMENTOS	67
TABELA 20 - CARACTERÍSTICAS <i>FAB@HOME</i> (FABATHOME, 2018) (WIKI, 2021)	68
TABELA 21 - CARACTERÍSTICAS NA IMPRESSORA 3D <i>TINYBOY</i> (TINYBOY, 2020)	70
TABELA 22 - CARACTERÍSTICAS PWDR 0.1 (PWDR, 2012)	71
TABELA 23 - CARACTERÍSTICAS IMPRESSORA REPRAP MENDEL (WIKI, 2020)	72
TABELA 24 - CARACTERÍSTICAS IMPRESSORA 3D XYZ PRINTING DA VINCI MINI W+ WI-FI (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)	73
TABELA 25 - CARACTERÍSTICAS IMPRESSORA 3D VELLEMAN VERTEX NANO K8600 (VELLMAN, 2021) (FNAC, 2021)	74
TABELA 26 - CARACTERÍSTICAS IMPRESSORA 3D XYZ PRINTING VINCI NANO (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)	75
TABELA 27 - CARACTERÍSTICAS IMPRESSORA 3D MICRODELTA REWORK 3D PRINTER (REPRAP 3D PRINTER, 2021)	76
TABELA 28 - CARACTERÍSTICAS ULTIMAKER 2+ CONNECT (ULTIMAKER, 2021)	77
TABELA 29 - CARACTERÍSTICAS DIYLILCNC (DIYLILCNC, 2016) (INSTRUCTABLES, 2016)	79
TABELA 30 - CARACTERÍSTICAS X-CARVE (INVENTABLES, 2021)	80
TABELA 31 - CARACTERÍSTICAS HANDIBOT (HANDIBOT, 2021)	81

TABELA 32 - CARACTERÍSTICAS LONGMILL (SIENCI LABS, 2021)	82
TABELA 33 - CARACTERÍSTICAS MULTIPLEX CNC ROUTER (HACKADAY, 2020)	83
TABELA 34 - CARACTERÍSTICAS MAKESMITH CNC (HACKADAY, 2014)	84
TABELA 35 - CARACTERÍSTICAS LASERSAUR (LASERSAUR, 2020)	85
TABELA 36 - CARACATERÍSTICAS POPPY (POPPY, 2020)	93
TABELA 37 - CARCATERÍSTICAS ICUB (ICUBE, 2016)	94
TABELA 38 - CARACTERÍSTICAS BOBBLE BOT (HACKADAY, 2020)	97
TABELA 39 - CARACTERÍSTICAS OTTO (HACKADAY, 2019)	99
TABELA 40 - CARACTERÍSTICAS MEARM (HACKADAY, 2017)	100
TABELA 41 - ANÁLISE FERRAMENTAS MECÂNICAS (IMPRESSORAS 3D)	105
TABELA 42 - ANÁLISE FERRAMENTAS MECÂNICAS (EQUIPAMENTOS CNC)	107
TABELA 43 - ANÁLISE FERRAMENTAS MECÂNICAS (CORTE A LASER E DIGITALIZADOR 3D)	108
TABELA 44 - ANÁLISE CIÊNCIA E INVESTIGAÇÃO	109
TABELA 45 - ANÁLISE ROBÓTICA	110
TABELA 46 - ANÁLISE OUTRAS CATEGORIAS	111
TABELA 47 - ANÁLISE AVALIAÇÃO GLOBAL DE EQUIPAMENTOS	113
TABELA 48 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS FAB@HOME (FABATHOME, 2018)	135
TABELA 49 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS TINYBOY (TINYBOY, 2020)	135
TABELA 50 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PWDR 0.1 (PWDR, 2012)	136
TABELA 51 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS REPRAP MENDEL (WIKI, 2020)	136
TABELA 52 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS IMPRESSORA 3D XYZ PRINTING DA VINCI MINI W+ WI-FI (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)	137
TABELA 53 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS IMPRESSORA 3D VELLEMAN VERTEX NANO K8600 (VELLMAN, 2021) (FNAC, 2021)	138
TABELA 54 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS IMPRESSORA 3D XYZ PRINTING DA VINCI NANO (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)	139
TABELA 55 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS IMPRESSORA 3D MICRODELTA REWORK 3D PRINTER (REPRAP 3D PRINTER, 2021)	140
TABELA 56 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ULTIMAKER 2+ CONNECT (ULTIMAKER, 2021)	141
TABELA 57 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS POPPY (POPPY, 2020)	141





# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	27
1.1	Contextualização .....	27
1.2	Objetivos.....	27
1.3	Metodologia .....	28
1.4	Estrutura da Dissertação .....	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
2.1	Projeto/Desenho Aberto ( <i>Open Design</i> ) .....	31
2.1.1	Inovação Aberta .....	31
2.1.2	Produção Aberta .....	36
2.1.3	Vantagens e Desvantagens.....	41
2.1.4	Aplicações do Projeto/Desenho Aberto ( <i>Open Design</i> ) .....	43
2.2	Equipamentos de Fabrico de Baixo Custo.....	46
2.2.1	Open Source 3D Printing .....	46
2.2.2	Aplicações dos Equipamentos de Baixo Custo .....	49
3	DESENVOLVIMENTO .....	55
3.1	Processos Tecnológicos no Projeto Aberto ( <i>Open Design</i> ) .....	55
3.1.1	Processos Físicos e Digitais.....	55
3.1.2	Equipamentos de Fabrico de Baixo Custo .....	60
3.1.2.1	Ferramentas mecânicas .....	67
3.1.2.1.1	Impressoras 3D .....	67
3.1.2.1.2	Equipamentos CNC (Computer Numeric Control) .....	78
3.1.2.1.3	Corte a laser .....	84
3.1.2.1.4	Digitalizador 3D.....	85
3.1.2.2	Ciência e Investigação.....	87
3.1.2.3	Robótica .....	92
3.1.3	Instrumento Musical F-F-Fiddle.....	103
3.1.4	Veículo desportivo Reynard .....	104
3.1.5	Mão biónica 3D .....	104
3.1.6	Análise dos equipamentos de baixo custo .....	105
3.2	Análise Crítica acerca dos Processos Tecnológicos no Projeto Aberto ( <i>Open Design</i> ).....	111

---

4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .....	117
4.1	CONCLUSÕES .....	117
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS .....	118
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	121
5.1	ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS .....	121
5.2	OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	125
6	ANEXOS.....	135
6.1	Fab@Home.....	135
6.2	Tinyboy .....	135
6.3	Pwdr 0.1.....	136
6.4	RepRap Mendel .....	136
6.5	Impressora 3D XYZ Printing Da Vinci Mini W+ Wi-Fi.....	137
6.6	Impressora 3D Velleman Vertex Nano K8600.....	138
6.7	Impressora 3D XYZ printing da Vinci Nano.....	139
6.8	Impressora 3D Microdelta Rework 3D Printer .....	140
6.9	Ultimaker 2+ Connect.....	141
6.10	Poppy.....	141

# INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Estrutura da Dissertação



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Este relatório surge no âmbito da realização da Dissertação de Mestrado de Engenharia Mecânica, do ramo de Gestão Industrial, do ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto). Para a realização da Dissertação, proceder-se-á ao estudo e avaliação de equipamentos de fabrico de baixo custo por processos tecnológicos com base nos temas abordados neste relatório.

A difusão de TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação) e de ferramentas de produção de baixo custo e tamanho permitiu desenvolver o *Open Design*. O *Open Design* corresponde ao desenvolvimento de produtos com base na comunidade e no OS (*Open Source*), isto é, código aberto. Esta inovação é vista como uma oportunidade de melhoria contínua de produtos, assim como, de criação de novas ideias de negócio. Porém, a limitação de métodos e ferramentas de suporte leva a que os projetos de *Open Design* não consigam, até ao momento, competir com os padrões de projeto de um produto industrial (Bonvoisin, 2015).

Os temas deste relatório serão abordados com o intuito de entender o alcance deste conceito, assim como, as suas vantagens e perceber quais as suas limitações e fraquezas.

## 1.2 Objetivos

O ponto fulcral do trabalho é a realização de uma avaliação dos equipamentos industriais de baixo custo que realizam processos de fabrico sejam os mesmos físicos, ou digitais. De forma a atingir o objetivo principal foi necessário definir as seguintes metas:

- Execução de análise e compreensão do conceito de *Open Design* recorrendo a autores especializados no tema;
- Interligação do conceito de *Open Design* com equipamentos de baixo custo, através do estudo dos equipamentos de baixo custo existentes, caracterizando os mesmos;
- Análise detalhada das características e tecnologias dos equipamentos.

### 1.3 Metodologia

A metodologia a adotar está centrada num projeto de pesquisa do conceito de *Open Design* e de Equipamentos de Baixo Custo, com recurso a referências bibliográficas, na fase da Revisão Bibliográfica com o intuito a que, na fase de Desenvolvimento, exista uma interligação de toda esta pesquisa realizada, anteriormente.

Esta interligação para fase de Desenvolvimento é conseguida através da apresentação dos processos físicos e digitais existentes que são inerentes aos equipamentos descritos e apresentados e que proporcionam a sua análise e avaliação, em consonância, com as metas definidas para atingir o objetivo principal definido no ponto 1.2, com base em referências bibliográficas e outras fontes de informação como páginas eletrónicas associadas a estes equipamentos.

### 1.4 Estrutura da Dissertação

De forma a esclarecer e clarificar a dissertação foi definida com a seguinte estrutura:

- **Introdução:** Neste capítulo será apresentado o tema em questão com um breve enquadramento, os objetivos do desenvolvimento do trabalho, a estrutura e os métodos utilizados no projeto;
- **Revisão Bibliográfica:** Este capítulo destina-se à parte teórica, tendo como pressuposto e base livros e artigos publicados, que permitem fundamentar e fornecer os conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento do projeto, e assim enquadrar também o leitor;
- **Desenvolvimento:** Esta etapa refere-se à parte prática, onde se procederá à avaliação dos equipamentos industriais de baixo custo que realizam processos de fabrico, utilizando o estudo realizado no capítulo anterior, tentando promover resultados positivos com esta análise detalhada das características e tecnologias dos equipamentos;
- **Conclusões:** Nesta fase, é realizada uma conclusão acerca dos resultados alcançados e apresentam-se as sugestões para futuras melhorias, bem como possíveis estudos futuros;
- **Bibliografia:** Neste capítulo apresentam-se todas as fontes bibliográficas que permitiram fortalecer o estudo e o conhecimento que formou a base desta dissertação.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Projeto/Desenho Aberto (*Open Design*)

2.2 Equipamentos de Fabrico de Baixo Custo



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Projeto/Desenho Aberto (*Open Design*)

O *Open Design* é um fenómeno que surge desde o final dos anos 90 e tal como contextualizado, anteriormente, proporciona a abertura de todos os documentos que acompanham um processo de desenvolvimento de um produto, com o objetivo de desenvolver o mesmo, colaborando de forma aberta, isto é, baseado na comunidade e no OS, o que se traduz numa oportunidade de melhoria contínua de produtos, assim como, de criação de novas ideias de negócio (Bonvoisin, 2015).

#### 2.1.1 Inovação Aberta

A inovação é normalmente caracterizada como algo que ocorre em circuito muito restrito, isto é, num único lugar. À medida que passou a existir uma maior disponibilidade e mobilidade de quem possui o conhecimento, assim como do crescimento da *Internet*, dos mercados e dos fornecedores externos, cuja consequência para a inovação foi a mudança de padrões, permitindo que surgisse a inovação aberta, ultrapassando, assim, barreiras existentes que impediam a abertura de horizontes no modelo de negócios. O quebrar dessas barreiras levou à inclusão da comercialização de ideias externas, para além das ideias internas (Lee, Park, Yoon, & Park, 2010).

Quando se está perante o conceito de Inovação Fechada, a mesma é descrita como aquela que tem características da indústria tradicional, ou seja, aquela cujos projetos partem do circuito interno da empresa e desta para o mercado. Isto permite que não existam fugas de informação para o exterior, sendo traduzida por um funil, como se pode observar na Figura 1 (Chesbrough, 2012).

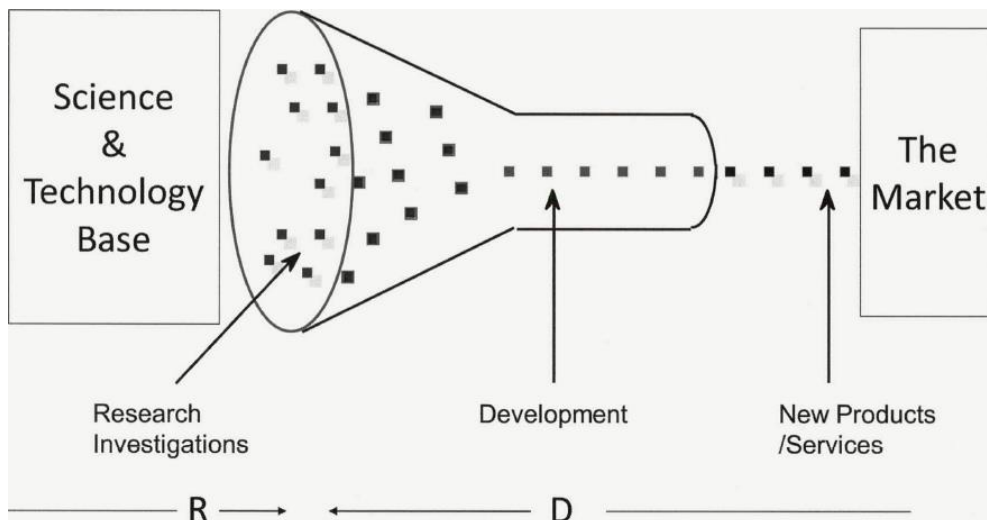


Figura 1 - Inovação Fechada (Chesbrough, 2012)

A inovação aberta é referida como entrada e saída de conhecimento com o intuito de acelerar a inovação interna e a expansão dos mercados. Este tipo de inovação tem como base uma visão interna e externa das áreas de pesquisa e desenvolvimento para a inovação (Huizingh, 2011).

Associada a esta inovação, dá-se a transição para um sistema híbrido edificado por uma peneira, que traduz a passagem de informação relevante do exterior para o contexto da empresa, abandonando o funil da Inovação Fechada, que se pode observar na Figura 2. No entanto, é de realçar que o sistema híbrido traduz um sistema balanceado em que nem todas as informações podem ser partilhadas com o exterior, mas a entrada de conhecimento externo constitui fonte negocial para a indústria (Huizingh, 2011).

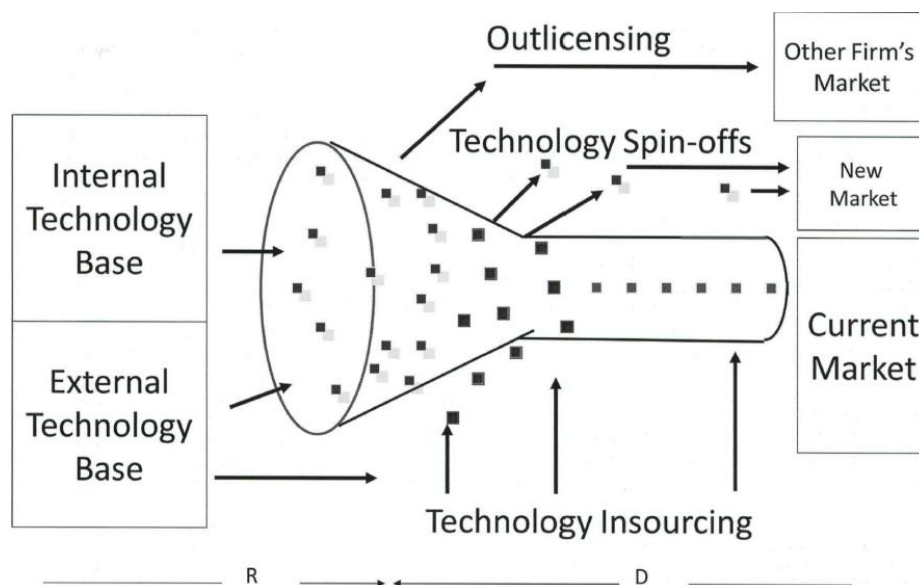


Figura 2 - Inovação Aberta (Huizingh, 2011)

A inovação aberta torna-se eficaz, partindo do conhecimento interno e externo em todas as organizações. Apesar da necessidade de se lidar com os seus problemas, condições de contorno e fatores críticos de sucesso, a inovação aberta será uma parte do futuro (Chesbrough, 2012).

Na inovação aberta, o modelo de negócio baseia-se nas estratégias de conteúdo, estrutura e gestão de transações deste tipo de inovação. As estratégias definidas têm como base o mercado, o trabalho colaborativo e o trabalho em rede (Saebi & Foss, 2015).

Cada estratégia tem uma relação em largura e profundidade, que pode ser diretamente ou inversamente proporcional, como se pode comprovar na Figura 3. A largura de pesquisa de conhecimento refere-se à captura da diversidade das fontes externas de conhecimento de uma empresa, muitas vezes definida como o número de diferentes tipos de partes externas envolvidas nos processos de inovação da empresa. A profundidade de pesquisa de conhecimento refere-se à intensidade com que as empresas extraem conhecimento de fontes externas e é frequentemente medida como o número de parceiros externos que estão profundamente integrados nas atividades de inovação de uma empresa (Saebi & Foss, 2015).

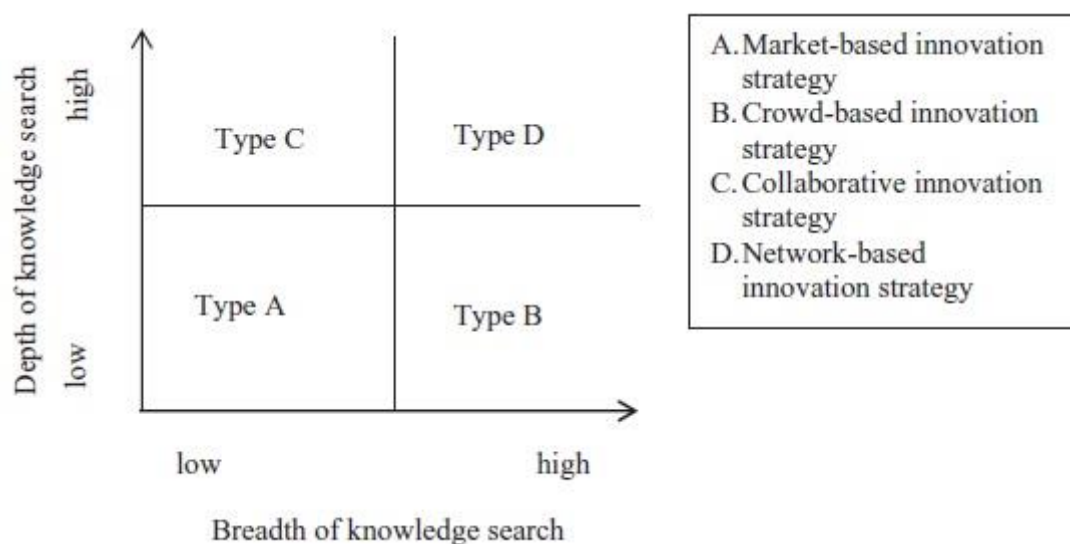


Figura 3 - Tipos de estratégias de entrada da Inovação Aberta (Saebi & Foss, 2015)

A estratégia de inovação baseada no mercado (tipo A) tem baixa largura e baixa profundidade de pesquisa de conhecimento. A estratégia de inovação baseada na comunidade em geral (tipo B) tem alta largura e baixa profundidade de pesquisa de conhecimento. A estratégia de inovação baseada no trabalho colaborativo (tipo C) tem

baixa largura e alta profundidade de pesquisa de conhecimento e, por fim, a estratégia de inovação baseada no trabalho em rede (tipo D) tem alta largura e alta profundidade de pesquisa de conhecimento. Estas estão explicadas de forma mais detalhada na Tabela 1 (Saebi & Foss, 2015).

Tabela 1 - Fundamentação dos tipos de estratégias de entrada da Inovação Aberta (Saebi & Foss, 2015)

Estratégia	Fundamentação
Tipo A	A aquisição de conhecimento para a inovação conseguida com base no mercado, permite beneficiar de inovações, recursos ou capacidades tecnológicas existentes no exterior, que se traduzem em redução de tempo de desenvolvimento e de colocação no mercado.
Tipo B	A aquisição de conhecimento para a inovação é conseguida com base na comunidade em geral, é procurada por um número de intervenientes alargado, através de meios de digitalização e comunicação a baixo custo, com o pressuposto de que a aglomeração de grandes grupos proporciona o alargamento de ideias e conhecimento.
Tipo C	A aquisição de conhecimento para a inovação conseguida com base no trabalho colaborativo ou de parcerias entre universidades ou institutos de desenvolvimento e pesquisa garante proximidade frequente entre os intervenientes e o desenvolvimento de confiança, que facilita a troca de conhecimento.
Tipo D	A aquisição de conhecimento para a inovação conseguida com base no trabalho em rede apresenta semelhanças com o trabalho colaborativo. Aqui, existe e é mantida uma rede de relações

externas com parceiros, o que garante um conjunto de desenvolvimento de conhecimento eficaz.

Uma nova área de pesquisa está associada a uma crescente globalização, a nível tecnológico da indústria, onde se destaca a colaboração e contributo de grandes grupos de pessoas (*crowdsourcing*), *design* e fabrico em rede ou em nuvem. A área de pesquisa denomina-se SPD (*Social Product Development*), isto é, desenvolvimento de produto social, cuja progressão pode ter como base a evolução das estruturas de desenvolvimento de produtos tradicionais de forma a aproveitar as ferramentas existentes num período mais recente (Forbes & Schaefer, 2017).

O paradigma da inovação aberta não tem apenas o objetivo de impulsionar o desenvolvimento de novos produtos. A inovação aberta impulsiona as capacidades de inovação internas e externas. Numa empresa, o poder do conhecimento externo tem capacidade para fortalecer os seus pontos fortes e a velocidade com que as inovações possam surgir, bem como usar o conhecimento interno alinhado com os recursos externos para se inserir no mercado (Ibrahimov, 2018).

A inovação aberta está a forçar as empresas a reavaliar as suas posições de liderança, que se refletem nos resultados de desempenho das suas estratégias de negócios, assim como está a criar fenómenos empíricos com base nas mesmas (Chesbrough & Appleyard, 2007).

Quando se aborda a inovação, pode-se também estabelecer combinações entre o processo de inovação e a informação do exterior, em função da sua abertura ou fecho no contexto em que se encontram, como representado na Figura 4 (Huizingh, 2011).

Innovation Process:	Innovation Outcome:	
	Closed	Open
Closed	1. Closed innovation	3. Public Innovation
Open	2. Private Open Innovation	4. Open Source Innovation

Figura 4 - Combinações da Inovação (Huizingh, 2011)

As combinações, presentes na Figura 4, podem ser verificadas através dos pressupostos indicados de forma sucinta na Tabela 2.

Tabela 2 - Fundamentação das Combinações da Inovação (Huizingh, 2011)

Combinações	Fundamentação
Inovação Fechada	Corresponde à indústria tradicional, onde não é possível partilha externa de conhecimentos e informações. Neste caso, existe uma centralização na gestão de topo, que baseia os trabalhos de pesquisa e inovação no círculo interno, isto é, na empresa, sem recorrer às partes interessadas (comunidade, fornecedores e clientes).
Inovação Privada Aberta	Existem parcerias externas no que respeita à troca de informações exteriores, que são importantes para a inovação. Os resultados alcançados podem ser partilhados internamente ou externamente.
Inovação Pública	Os resultados estão disponíveis para toda a comunidade, porém a forma de como a inovação é alcançada não é especificada. Com isto, a informação de conceção de produto e desenvolvimento da estratégia ou filosofia fica retida.
Inovação OS	Toda a informação está facilmente disponível a toda a comunidade, permitindo que todos contribuam para a melhoria da mesma.

### 2.1.2 Produção Aberta

A inovação aberta, como conceito recente, apresenta-se como um novo paradigma de gestão, uma vez que a partir das implementações desta inovação ao ambiente industrial podem surgir múltiplos aspetos vantajosos. Quando se associa este conceito a um sistema produtivo surge a produção aberta (Castro, Putnik, Castro, & Dal Bosco Fontana, 2019).

A produção aberta pode ser vista como criação de valor (recursos digitais, materiais, físicos, entre outros) e tem como incentivo uma maior participação por parte dos utilizadores, permitindo que estes sejam produtores do produto. Para além disto, a produção aberta leva a que exista uma maior colaboração, que se traduz em unir esforços para a melhorar o produto (Nilsson, 2014).

Na produção aberta existe um caminho comum entre o produtor e o cliente, diferenciando-se do padrão da produção, em que não se encontra uma harmonia entre a criação de valor e o produtor (Redlich, Wulfsberg, & Bruhns, 2010).

O sistema de criação de valor tem ao seu redor um sistema social, tecnológico, económico e ecológico, que se pode observar na Figura 5 (Redlich et al., 2010).

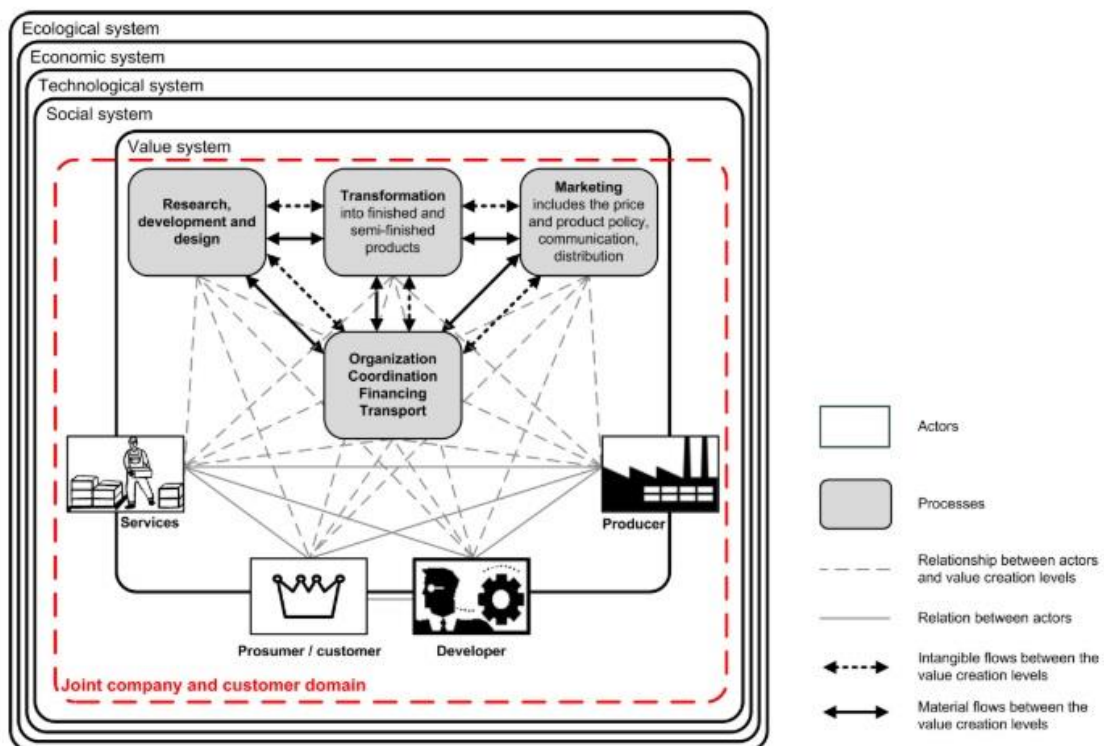


Figura 5 - Sistema de valor na Produção Aberta (Redlich, Wulfsberg, & Bruhns, 2010)

A chave de sucesso na produção aberta está na formação da base, da qual faz parte a abertura do sistema de valor e da criação do mesmo. A partir destes pontos e colaborando no desenvolvimento, produção e marketing será possível alcançar processos de criação de valor abertos ou interativos, como se pode observar na Figura 6 (Redlich et al., 2010).

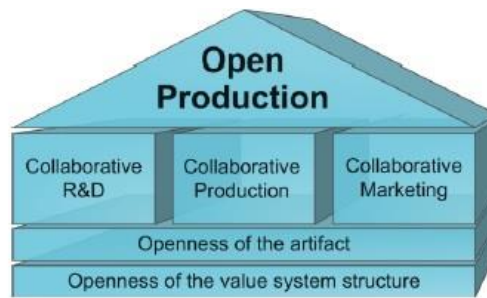


Figura 6 - Pontos chave da Produção Aberta  
(Redlich, Wulfsberg, & Bruhns, 2010)

A criação de valor, na produção aberta, gera-se tendo como ponto de partida o conhecimento existente (Basmer et al., 2015).

A ideia é que os recursos privados sejam integrados na criação de valor e, em seguida, sejam expandidos através do conhecimento de todos os interessados e qualificados que participam do *Open Design* (Rebensdorf, Gergert, Oosthuizen, & Böhm, 2015).

Os fabricantes enfrentam o desafio de projetar a sua própria criação de valor, partindo do desenvolvimento adequado em produtos, processos e estruturas. Ao fazer tal, concentram-se principalmente em parâmetros clássicos, como tempo, custos e qualidade. A globalização e a disseminação das tecnologias estão a levar a novos padrões de criação de valor (Redlich et al., 2014).

O *Open Design* é um termo abrangente para várias atividades de *design* e criação *on-line* e *off-line*. Pode ser aplicado para descrever um tipo de processo de *design* que permite estar recetivo à participação de qualquer pessoa no desenvolvimento colaborativo de um produto (Tooze et al., 2014).

O *Open Design* estimula esforços colaborativos ao fornecer uma estrutura para a partilha livre de informações, como documentação de *design* e dados de desempenho. Para além do referido anteriormente, proporciona aos fabricantes a liberdade de modificar um equipamento, em resposta a mudanças no produto ou no sistema de produção, por forma a melhorar continuamente o equipamento, bem como os processos de fabrico (Vallance, Kiani, & Nayfeh, 2001).

As tipologias de OS existentes e que se adequam a um sistema produtivo são o OSHW (*Open Source Hardware*) e o OSS (*Open Source Software*), ou seja, código aberto de *hardware* e código aberto de *software*, respetivamente.

O surgimento de vários projetos de OSPD (*Open Source Product Development*), isto é, desenvolvimento de produto de código aberto estendeu o conceito de OSS no mundo dos produtos tangíveis. Esses projetos com características de divulgação gratuita das informações de desenvolvimento dos seus produtos têm como propósito estimular o *feedback* da comunidade, replicações de produtos e desenvolvimento colaborativo (Bonvoisin, Mies, & Stark, 2016).

No que respeita ao OSHW, este tem como pressupostos a disponibilização gratuita de um código a todo o tipo de público, de forma a que seja possível a sua criação, modificação, distribuição e uso, em função do que se pretende e idealiza. Estes pressupostos levam a que, usando o OSHW, existam menores custos, o que facilita a apresentação de resultados e verificação dos mesmos (Oberloier & Pearce, 2017).

Este tipo de código tem visto a sua popularidade crescer na abordagem de inovação de produtos, porém têm existido dificuldades neste novo conceito, no que respeita à procura da solução (Bonvoisin & Mies, 2018).

A ativação de uma plataforma social para OSHW beneficia a comunidade subjacente a este tipo de código, o que significa que a inovação da plataforma social para este tipo de código pode ajudar a formar a atitude positiva necessária para desenvolver e difundir uma cultura de OSHW num ecossistema de TIC, em mudança constante, e essa pode constituir uma estratégia de negócio importante (Kim & Shin, 2016).

A ideia do OSHW não é nova, sendo que esta tem origem no surgimento da eletrónica. Na atualidade, o processo de desenvolvimento para produtos eletrónicos levanta questões a nível intelectual e à medida que modelos antigos de desenvolvimento de *hardware* se tornam impraticáveis, devido à complexidade, o que possibilita a participação de *designers* fora da indústria eletrónica no desenvolvimento atual de produtos. Como tal, as licenças de *hardware* aberto e não comercial são uma forma para traduzir os conceitos de OSS numa comunidade de OSHW (Ackerman, 2009).

De uma forma mais generalizada e resumida, no OSHW, é autorizada ou concedida uma licença que permite, ao utilizador da mesma, o direito de produzir e distribuir um produto de forma livre, fazendo com que o mesmo possa ser analisado e desenvolvido num futuro próximo. Salienta-se o facto de que a vertente de *software* apenas executa comandos ou instruções, enquanto que no *hardware* existe a possibilidade de aceder a documentação que permite produzir o produto, sendo considerada como, uma maior

liberdade e abertura para converter *software* em produtos físicos (Bonvoisin, Mies, Boujut, & Stark, 2017).

Quanto ao OSS, este consiste num *software*, cuja licença de acesso é fornecida, quer num contexto interno, quer externo, sem que exista qualquer restrição que o impeça. Este facto permite uma maior interação entre a comunidade, a partir da qual podem surgir melhorias, através da partilha de ideias de forma a alcançar novas soluções (Rolandsson, Bergquist, & Ljungberg, 2011).

Quando se aborda a não existência de restrições num contexto interno e externo, significa o direito de estudar, modificar e distribuir gratuitamente o que está ao alcance de todos. A preferência pelo OSS reside no facto de se pretender desenvolver uma ideia que está relacionada com razões intelectuais, pessoais ou comerciais (Von Hippel & Von Krogh, 2003).

### Exemplo de aplicação de OSHW

Um exemplo de OSHW é o *Arduino*, que é uma plataforma eletrónica de prototipagem, cujo *hardware* é livre e que permite criar ferramentas de baixo custo e acessibilidade sem restrições ao utilizador, quer este seja especializado na área ou não (Koenka, Sáiz, & Hauser, 2014).

Um exemplo de uma placa de *Arduino* pode ser visualizado na Figura 7.



Figura 7 - Placa Arduino (ARDUINO, 2020)

## Exemplo de aplicação de OSS

Um exemplo de uma aplicação de OSS é o *LibreOffice*, que é uma plataforma que tem como concorrente direto, o *Office*, da *Microsoft* e tem atraído cada vez mais uma comunidade de seguidores (Gamalielsson & Lundell, 2012).

A razão pela qual tem atraído mais seguidores é a introdução de novas funcionalidades que vão de encontro ao que os utilizadores pretendem, assim como, a possibilidade de utilizar uma nuvem de armazenamento, como na *Google* e *Microsoft* (Gamalielsson & Lundell, 2014).

Uma imagem gráfica deste *software* pode ser visualizada na Figura 8.



Figura 8 - LibreOffice (NOTÍCIAS E TECNOLOGIA, 2019)

### 2.1.3 Vantagens e Desvantagens

A oportunidade de melhoria de um produto, que é um dos pressupostos do *Open Design*, leva a que exista uma maior expressão de processos de fabrico alternativos, como o Fabrico Aditivo. Como em todas as alternativas que surgem, estas têm as suas vantagens e desvantagens, assim como desafios, no que respeita a inovação, modelos de negócio e cadeias de valor, que serão apresentadas, seguidamente, na Tabela 3 (Ford & Despeisse, 2016).

Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens do Open Design, na perspetiva do Fabrico Aditivo (Ford & Despeisse, 2016)

Vantagens	Desvantagens
Incremento da eficiência de recursos, ou seja, melhorias do produto durante a fase de produção permitem um	A produção centralizada pode conduzir a uma menor eficiência de processo.

---

reaproveitamento de processos e produtos de fabrico para o Fabrico Aditivo.

---

Reconfiguração das cadeias de valor, isto é, linhas de fornecimento mais curtas e menos complexas, centralização de produção, inovações nos modelos de distribuição, assim como adição de colaboradores.

---

Exigência de produtos personalizados por parte dos clientes.

Otimização de geometrias e criação de componentes mais leves que permitem reduzir o consumo de energia e materiais, mais concretamente residual (pó, resina) que não foi utilizado durante o processo de fabrico.

---

Uma maior taxa de obsolescência do produto pode ter como consequência o aumento de consumo de recursos.

Pequenos lotes de produtos personalizados são economicamente mais atraentes, em relação aos métodos tradicionais de produção em massa.

---

A produção, a partir de modelos 3D (*Three Dimensional CAD (Computer Aided Design)*), significa que não são necessárias ferramentas e moldes, não existindo custos de troca adicionais.

---

Projetos de arquivo digital podem ser facilmente compartilhados, facilitando a modificação e personalização de componentes e produtos.

---

As encomendas reduzem o risco de acumulação de stock, além de melhorar o fluxo de receita à medida que os produtos são pagos antes de serem fabricados.

---

A distribuição permite a interação direta entre consumidor/cliente e produtor local.

---

O *Open Design* significa desenho acessível, a todo o público, na forma de projeto aberto, para visualização, modificação e uso do mesmo. Além disso, tem a implicação de que os projetos de design estão disponíveis através de repositórios digitais de acesso aberto, que podem ser adaptados de forma a atender aos requisitos da situação e que podem ser usados pelos consumidores para fabricar produtos por exigência de empresas comerciais fora do mercado (Avital, 2011).

#### 2.1.4 Aplicações do Projeto/Desenho Aberto (*Open Design*)

O *Open Design* é aplicado nas mais diversas áreas, que, onde estão referenciados trabalhos que foram realizados ao longo do tempo e que são os seguintes:

- **Ciência e Tecnologia:** Nesta publicação foram abordados dois contrastes do mundo científico, o fechado, no qual um grupo específico se encontra inserido e, o aberto, no qual existe uma maior partilha e abertura de informações. Com a incorporação para uma maior abertura da ciência poder-se-á proporcionar a possibilidade de maior abertura a dados, *softwares* ou colaborações (Rey, 2014);
- **Ciência e Tecnologia:** Neste trabalho foi analisado um sistema de imagem que integra *hardware*, *software* e recursos genéticos de baixo custo e de código aberto. Este sistema é constituído por LED (*Light-Emitting Diode*), ou seja, díodo emissor de luz, uma câmara e filtros fabricados a partir de acrílicos de baixo custo, a partir do qual se obtém imagens a várias escalas, partindo do desenvolvimento de componentes genéticos e vetores, que permitiram o fabrico de construções genéticas de forma combinatória, de baixo custo e robusta (Nuñez et al., 2017);
- **Ciência, Tecnologia e Medicina:** Neste artigo foram mostrados os esforços realizados em pesquisas no campo da imagem e visualização médica, através da Ciência Aberta. Concluiu-se que com a Ciência Aberta foram dados passos importantes para uma maior abertura de acesso a dados e informações, no âmbito científico (Jomier, 2017);
- **Ciência, Tecnologia e Educação:** Neste artigo foi abordado um sistema de informação aberto que deve incluir dimensões relacionadas com dados, *software*, *hardware*, padrões, pesquisa, publicações, financiamento e educação. Este permite oportunidades tecnológicas, enfrentar problemas relacionados

com mudança do mundo em que se vive, desenvolver uma ciência aberta, a partir, do despertar de uma curiosidade pessoal e uma visão mais generalizada, no campo da Educação. Concluiu-se que este sistema tornar-se-á cada vez mais importante na formação das agendas de pesquisa e educação no futuro, apesar de existirem impedimentos à sua prática, como académicos, legais, sociopolíticos ou ambientais (Sui, 2014);

- **Ciência, Tecnologia e Agricultura:** Neste artigo foi abordada a agroecologia, uma inovação na agricultura. Esta inovação tem as suas incertezas sociais e ecológicas provenientes da projeção e patentes de equipamentos padrão acontecem devido à escassa informação existente e, como tal, foi criado um projeto baseado nas teorias de *design* para analisar a organização de pesquisa e desenvolvimento (*Atelier Paysan*). Os aspetos analisados foram as propriedades específicas do equipamento concebido sob a sua égide, as características específicas dos processos de design e funções que o *Atelier Paysan* assume para viabilizar o *design* deste equipamento, cujos resultados mostraram que os equipamentos projetados foram adequados às situações e requisitos dos projetistas, e adaptáveis a outras situações (Salembier et al., 2020);
- **Ciência e Tecnologia:** Neste artigo foram analisados os benefícios de se possuir um FOSH (*Free Open Source Hardware*), isto é, equipamento de *hardware* de código aberto gratuito, na estratégia de uma nação. O caso analisado foi a Finlândia e os resultados mostraram que ao adquirir equipamentos científicos, convertendo o seu *hardware* para o FOSH proporcionaria benefícios económicos entre os 2,84 e os 27,7 milhões de € por ano, assim como melhorias em termos de inovação (Heikkinen, Savin, Partanen, Seppälä, & Pearce, 2020);
- **Ciência, Tecnologia, Energia e Indústria:** Neste artigo foi estudado o desenvolvimento de um sistema de monitorização do estado de equipamentos de transmissão e transformação de energia, na indústria chinesa, com base em dados, cujo modelo de informação é apresentado na IoT (*Internet of Things*) com o objetivo de promover o processo de aplicação e implantação da IoT em várias indústrias e desempenhar um papel importante, a longo prazo, na promoção da transformação da informatização da indústria referida. Através de simulações realizadas, que monitorizavam o desempenho de rede, concluiu-se que foram reduzidos tempos de aplicação (Zhao & Yue, 2020);

- **Ciência e Tecnologia:** Neste artigo foram abordadas as potencialidades dos laboratórios do tipo DIY (*Do It Yourself*), isto é, feito pelo próprio por forma a alargar o sistema de pesquisa e inovação à participação do cidadão. A inclusão de cidadãos comuns nas comunidades centradas na tecnologia requer um conjunto de atividades que precisam de ser coordenadas por um agente intermediário e muitas vezes são distribuídas entre os membros da comunidade. Concluiu-se que as intermediações desempenham um papel fundamental na transformação de laboratórios de bricolagem centrados na tecnologia em laboratórios de bricolagem centrada na sociedade (Lhoste, 2020);
- **Indústria:** Neste artigo foi esclarecida a definição de "abertura", na literatura sobre Inovação Aberta, redefinindo o conceito da ideia para pesquisas futuras sobre o tema. Combinou-se a análise bibliográfica de todos os artigos publicados sobre o tema com uma análise de conteúdo sistemática do campo de forma a compreender melhor trabalhos anteriores, analisando dois processos de entrada, fornecimento e aquisição, e dois processos de saída, revelação e venda. As vantagens e desvantagens dessas diferentes formas de abertura foram também analisadas e concluiu-se que existem implicações para a teoria e prática, mapeando várias áreas promissoras para pesquisas futuras, que nos levam a perceber como as empresas beneficiam com a "abertura" (Dahlander & Gann, 2010);
- **Indústria:** No artigo foi abordada a compreensão da relevância da Inovação Aberta nas indústrias de alta tecnologia e o estudo de como as empresas implementam a inovação aberta na prática, através do caso de estudo de uma cimenteira italiana que realizou a transição de Inovação Fechada para Inovação Aberta, ao longo de três fases (descongelamento, movimentação e institucionalização) e quatro dimensões (redes, estruturas organizacionais, processos de avaliação e sistemas de gestão do conhecimento). Concluiu-se que estes procedimentos proporcionam uma maior agilização na implementação da inovação aberta numa empresa (Chiaroni, Chiesa, & Frattini, 2011);
- **Indústria e Energia:** Neste artigo foram analisados os motivos que levaram a que uma empresa do setor Energético adotasse o paradigma da Inovação Aberta. A base de partida foi a análise de casos de estudo que envolveram sete empresas e universidades britânicas que operam na indústria em questão. Concluiu-se que para incrementar a adoção da Inovação Aberta e a sustentabilidade da inovação no setor teriam de ser adotadas políticas adequadas de implementação (Greco, Locatelli, & Lisi, 2017);

- **Tecnologia:** Neste artigo foram analisados dados estatísticos da *Wikipedia*, que é uma das plataformas mais conhecidas de *Open Design*, cujos intervenientes são voluntários de todo o mundo. Após a análise, foi possível concluir que a partir do comportamento estocástico as variáveis atingiram uma fase de transição em que a presença de uma histerese entre todas as variáveis foi alcançada entre 60 e os 80 meses, e os editores (agentes de comunidade) são importantes recursos para a "transformação" do sistema (Castro, Putnik, Castro, & Fontana, 2019);
- **Medicina:** No artigo foi abordado o alargamento em toda a linha de um FOSH, no ramo da Medicina. O FOSH oferece economia entre os 90 e os 99% dos custos tradicionais, tornando o equipamento médico e científico muito mais acessível para uso clínico e pesquisa, que pode permitir uma maximização de retorno no valor investido. Esta política de pesquisa tem inerente a identificação, financiamento e a disseminação do FOSH médico para além do financiamento dos estudos de validação do equipamento, assim como das preferências de política de compra para FOSH médico (J. M. Pearce, 2017).

Após abordar as mais diversas áreas onde é aplicado o *Open Design*, referenciando trabalhos que foram realizados ao longo do tempo constata-se que as áreas de Ciência e Tecnologia são o denominador comum na aplicação do *Open Design* estendendo-se a outras como a Medicina, Educação, Energia ou Indústria.

## 2.2 Equipamentos de Fabrico de Baixo Custo

### 2.2.1 Open Source 3D Printing

A STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), ou seja, a Ciência, a Tecnologia, a Engenharia e a Matemática, no que respeita à Educação, são consideradas áreas críticas na economia de qualquer país, visto que existe uma inovação, com o crescimento económico e a produtividade interligados. Como existiam elevados custos devido ao *hardware* necessário para as experiências laboratoriais, foi necessário reduzir os mesmos. As metodologias de OS, que tiveram sucesso em *software*, foram aplicadas a tecnologias, ferramentas e processos educativos (Schelly, Anzalone, Wijnen, & Pearce, 2015).

O recurso a OS3DP (*Open Source Three Dimensional Printers*), isto é, impressoras de código aberto a três dimensões tem como benefícios impulsionadores os equipamentos de laboratório de custo mais económico e de maior facilidade de utilização. Outros benefícios são o fabrico rápido de objetos físicos personalizados, o que pode ser útil em

todas as áreas curriculares, a capacidade de contribuir para uma ampla gama de currículos, conteúdos e contextos que os torna atraentes para a adoção generalizada (Schelly et al., 2015).

Para além disto, permite uma aprendizagem orientada, assim como, valor nos alunos que aprendem a projetar e fabricar num ambiente educacional autodidata e de obtenção de capacidades. O OS3DP proporciona capacidades aos estudantes universitários e adultos a participarem na aprendizagem prática através do *design* e fabrico de objetos úteis e economicamente lucrativos (Schelly et al., 2015).

Com uma impressora 3D, ou seja, impressora a três dimensões, as melhorias na velocidade de produção de protótipos, podem ser alcançadas com menores custos. A combinação de flexibilidade, velocidade e baixo custo é o que torna esta tecnologia benéfica. Atualmente, existe uma variedade de impressoras, cujos preços rondam os 300 \$ (aproximadamente 287 €), para um equipamento mais económico, entre os 500 e os 2000 \$ (aproximadamente entre os 445 e os 1780 €, respetivamente) para um equipamento médio e os 3000 \$ (aproximadamente 2670 €) para um mais dispendioso (Kietzmann, Pitt, & Berthon, 2015).

As impressoras 3D básicas não estão apenas disponíveis em lojas especializadas, estas também podem ser adquiridas em revendedores eletrónicos comuns. Existem até instruções de OS para *download* sobre como construir uma impressora 3D em casa (Kietzmann et al., 2015).

As impressoras OS permitem combinar *RepRaps*, que são controlados por pequenos controladores de OS, como o *Arduino*, e imprimem com ABS (*Acrylonitrile butadiene styrene*), HPDE (*High-density polyethylene*), PLA (*Polylactic Acid*), isto é, Acrilonitrila butadieno estireno, Polietileno de alta densidade, Ácido Polilático, respetivamente, entre outros, com os controladores de OS, num *software*, permitindo a produção de ferramentas de pesquisa científica a baixo custo. A impressão 3D de baixo custo, anteriormente, estava limitada a materiais poliméricos e cerâmicos (Anzalone, Zhang, Wijnen, Sanders, & Pearce, 2013).

O OS3DP, para as empresas de menor e maior dimensão, significa maior agilidade e produção de diversas versões de um produto em pouco tempo, levando a melhorias, assim como os testes desse produto, devido à velocidade e conveniência da prototipagem rápida (Kietzmann et al., 2015).

Para além das empresas, o OS3DP tem sido vantajoso para o consumidor comum. As dimensões existentes na 3DP (*Three Dimensional Printing*), isto é, impressão a três dimensões, que podem ser visualizadas na Figura 9, são o grau em que trabalham em produtos existentes ou novos e o grau em que os objetos impressos melhoram ou sustentam a funcionalidade da experiência original do produto, permitindo diferentes combinações, como se pode comprovar na Tabela 4 (Kietzmann et al., 2015).

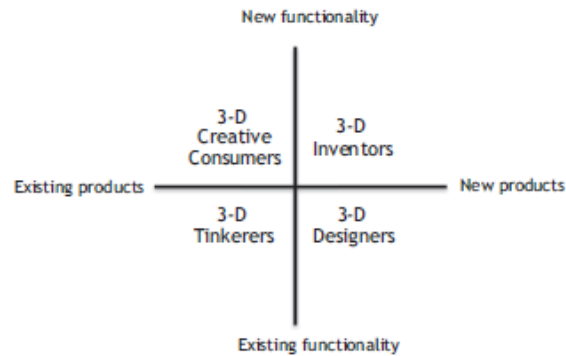


Figura 9 - Dimensões 3DP (Kietzmann, Pitt, & Berthon, 2015)

Tabela 4 - Combinações 3DP (Kietzmann, Pitt, & Berthon, 2015)

Combinações	Fundamentação
3D <i>Tinkerers</i>	Os funis 3D ajudam a manter os produtos existentes, desenvolvendo objetos impressos em 3D para substituição ou reparo.
3D <i>Creative Consumers</i>	Motivados pela adaptação, modificação ou transformação de produtos proprietários existentes, melhorando as experiências associadas.
3D <i>Designers</i>	Motivados pela criação de produtos totalmente novos que, em geral, não criam novas experiências funcionais, mas que se concentram em remodelar o fator de forma dos já existentes.
3D <i>Inventors</i>	Pensam de forma mais abrangente, criando novos produtos impressos em 3D, assim como novas funcionalidades e experiências.

### 2.2.2 Aplicações dos Equipamentos de Baixo Custo

Os equipamentos de baixo custo são aplicados em diversas áreas, que podem ser comprovadas na Tabela 5, onde estão referenciados trabalhos que foram realizados ao longo do tempo.

Tabela 5 - Aplicações dos Equipamentos de Baixo Custo

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
(Pearce, 2020)	Neste trabalho foi realizada uma avaliação do FOSS ( <i>Free Open Source Software</i> ), isto é, <i>software</i> de código aberto gratuito e do FOSH. Os FOSS e FOSH apresentaram resultados positivos no desenvolvimento de ferramentas científicas personalizadas, resultantes das pesquisas destas tecnologias que permitiram concluir que se pode combinar plataformas eletrônicas ( <i>Arduino</i> e impressão 3D <i>RepRap</i> ), das quais resultam ganhos de tempo e vantagens económicas, em comparação com outras tecnologias existentes.
(Arza & Fressoli, 2018)	Neste trabalho foi demonstrado que a Ciência Aberta proporciona a criação de novas ciências através de colaborações e partilha de resultados, dos quais se traduzem benefícios. Exemplos desses benefícios são a melhoria da eficiência da pesquisa ou da criatividade, assim como um conhecimento mais centralizado e fortalecimento das partes interessadas ( <i>stakeholders</i> ).
(Maia Chagas, 2018)	Neste artigo foram abordados os esforços realizados para a existência de uma maior abertura e acessibilidade na Ciência, a partir de artigos científicos e outras ferramentas de acesso de forma a incrementar uma maior acessibilidade de informação. A melhor abordagem de

---

	<p>forma a contornar este problema é o uso de FOSH, em pesquisa e educação. Esta abordagem permite que se reduzam fatores impeditivos como desigualdade de acesso aos equipamentos, em consequência de um menor poder económico.</p>
(Wang & Zeng, 2020)	<p>Neste artigo foi analisado o padrão espacial de inovação cooperativa para indústrias tradicionais nos países em desenvolvimento, baseados na recolha de dados em empresas da indústria de fabrico de equipamentos de petróleo com a argumentação de que diferentes empresas na pirâmide de inovação têm preferências de atividade de inovação e padrões espaciais. Nesta perspetiva, a capacidade de inovação varia de forma diretamente proporcional com a localização geográfica das parcerias.</p>
(Nuñez et al., 2017)	<p>Neste trabalho, para além da avaliação de um sistema de imagem que integra <i>hardware</i>, <i>software</i> e recursos genéticos de baixo custo e de OS foi também avaliado o seu uso em ambiente escolar no ensino da Biologia, <i>design</i> de <i>hardware</i>, Ótica e Programação. Os resultados demonstraram o sucesso da integração de OSHW, OSS, recursos genéticos e fabrico personalizável, obtendo um sistema poderoso, de baixo custo e robusto para a Educação, pesquisa científica e Bioengenharia.</p>
(Beattie, Hippenmeyer, & Pauler, 2020)	<p>Neste artigo foram abordadas as potencialidades que as tecnologias de OS podem incrementar na STEM através da ferramenta SCOPES (<i>Sparking Curiosity Through Open-Source Platforms in Education and Science</i>), ou seja, incremento da curiosidade a partir de</p>

---

---

plataformas do ramo científico e educativo de código aberto. A ferramenta pode ser adaptada de forma a comunicar assuntos complexos, realizar experiências biológicas e exploração de amostras científicas digitalizadas. Concluiu-se que estes pressupostos providenciam uma maior partilha de informações entre as partes envolvidas.

---

Este trabalho de pesquisa bibliográfica proporcionou uma melhor compreensão do conceito de *Open Design* de forma a que seja possível entender os seus benefícios e limitações com o intuito de interligar este conceito com os equipamentos de baixo custo e analisar detalhadamente as características e tecnologias deste tipo de equipamentos.



# DESENVOLVIMENTO

3.1 Processos Tecnológicos no Projeto Aberto (*Open Design*)

3.2 Análise Crítica acerca dos Processos Tecnológicos no Projeto Aberto (*Open Design*)



## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Processos Tecnológicos no Projeto Aberto (*Open Design*)

Nesta fase de Desenvolvimento serão apresentados os processos tecnológicos (físicos e digitais) existentes e outros dados, como forma de contextualizar e introduzir a descrição e apresentação dos equipamentos de baixo custo, abordada mais adiante neste capítulo e em que far-se-á a sua análise e avaliação.

#### 3.1.1 Processos Físicos e Digitais

O início da indústria permite rapidez de desenvolvimento dos processos de fabrico, assim como a melhoria dos mesmos e das suas práticas, o que impulsiona a introdução de novas tecnologias e expansão da produção industrial em tamanho e escala. Os processos de fabrico tradicionais são relativamente inflexíveis e perdulários, uma vez que muitos objetos idênticos são produzidos em lugares distantes, transportados com grande custo para armazéns, distribuídos para as lojas e só então comprados pelos consumidores (Gebler, Schoot Uiterkamp, & Visser, 2014).

Os processos de impressão 3DP em termos físicos dependem do estado físico da matéria impressa como os processos à base de líquido, sólido e pó e do método aplicado para fundir a matéria a nível molecular, com destaque para luz térmica, UV (ultravioleta), laser ou feixe de eletrões. Com os estudos e pesquisas realizadas, ao longo dos anos, estes permitiram inferir que a impressão 3D alargou-se a outros tipos de materiais para além dos polímeros e cerâmicos, cujos processos aplicados com mais frequência são FDM (*Fused Deposition Modeling*), SLA (*Stereolithography*), SLM (*Selective Laser Melting*), SLS (*Selective Laser Sintering*) e DLP (*Digital Light Processing*), ou seja, Estereolitografia, Deposição e Fusão, Fusão Seletiva a Laser, Sinterização Seletiva a Laser e Processamento de Luz Digital, respetivamente (Gebler et al., 2014) (Ford & Despeisse, 2016).

No entanto, existem alternativas que incluem jato de polietileno, sendo essas a EBM (*Electron Beam Melting*) e o LOM (*Laminated Object Manufacturing*), ou seja, Fusão por Feixe de Eletrões e Fabrico de Objetos Laminados, respetivamente. Em materiais como

polímeros, ligas de alumínio, aço e titânio, bem como compósitos de cerâmica, a sua impressão da camada mínima de espessura está dependente do processo e do estado físico do material (Gebler et al., 2014) (Ford & Despeisse, 2016).

O 3DP representa uma tecnologia relativamente recente no fabrico, associado a estímulos potencialmente fortes para o desenvolvimento sustentável, que permite uma substituição potencial de processos convencionais e tem a vantagem de possibilitar a realização de geometrias de forma livre complexas, uma vez que no processo não existem restrições originadas pelas limitações tecnológicas dos processos de fabrico convencionais e pode ser aplicado a várias áreas (Gebler et al., 2014).

Nos processos digitais de Projeto Aberto (*Open Design*) existem processos distintos de reutilização como a replicação, a inovação, a customização ou personalização. No processo de customização ou personalização, os projetistas ou *designers* manipulam os parâmetros dos metamodelos para produzir modelos que estejam de acordo com as suas necessidades pessoais, que estão destacadas em comunidades de partilha de arquivos para impressão tridimensional (Kyriakou, Nickerson, & Sabnis, 2017).

Um exemplo desse tipo de comunidade é o *Thingiverse* em que a reutilização de metamodelos 3D é mais frequente do que os modelos 3D produzidos e é mais abrangente quando são criados por *designers* com maior experiência na comunidade. Para além disto, os metamodelos disponibilizam o conhecimento de *design* da comunidade para reutilização, personalização ou mesmo a sua extensão, que constitui uma espécie de inovação (Kyriakou et al., 2017).

Os modelos 3D são componentes cruciais da produção digital em categorias como animação, jogos, arquitetura, *design* industrial ou indústria de impressão 3D. Estes modelos 3D são executados com recurso a *softwares* de modelação 3D, que eram alvo de alguma reticência por parte de quem se iria familiarizar com *softwares* de modelação 3D devido ao custo e dificuldade de exploração do mesmo, levando à pretensão de procura por outros mais simples e de acesso livre e gratuito e na Tabela 6 podem ser consultados vários exemplos (GOODFIRMS, 2021).

Tabela 6 - Softwares sistemas de produção 3D

<i>Software</i>	Descrição	Referência
<i>TinkerCad</i>	<i>Software</i> gratuito de <i>design</i> simples e fácil de utilização que pode ser uma boa introdução ao trabalho 3D e à impressão 3D. Ideal para criar modelos 3D elementares ou complexos usando sua geometria que podem ser personalizadas. Além disto, abrange aqueles que pretendem iniciar experiências 3D e ligados ao ensino.	(MEDEVEL, 2021) (TINKERCAD, 2021)
<i>Octoprint</i>	<i>Software</i> OS gratuito que permite controlar, supervisionar e controlar remotamente sua impressora 3D em qualquer lugar.	(MEDEVEL, 2021) (OCTOPRINT, 2021)
<i>FreeCAD</i>	Ferramenta de modelação paramétrica 3D gratuita que permite criar desenhos bidimensionais e que podem passar para uma forma tridimensional.	(MEDEVEL, 2021) (FREECAD, 2021)
<i>MeshLab</i>	<i>Software</i> OS gratuito para o processamento e edição de malhas triangulares 3D não estruturadas. Além disto, permite gerar, editar, consertar e inspecionar malhas assim como gerar texturas de superfície e exportá-las para um modelo sólido para impressão, e converter de um formato arquivo para outro.	(MEDEVEL, 2021) (MESHLAB, 2021)
<i>Slic3r</i>	<i>Software</i> gratuito que transforma seus arquivos de <i>design</i> 3D em código-g que a impressora lê para imprimir o objeto.	(MEDEVEL, 2021) (SLIC3R, 2021)
<i>Ultimaker Cura</i>	<i>Cura</i> é um <i>site</i> gratuito para impressoras 3D, fácil de usar e feito para uma das maiores empresas de impressão 3D chamada <i>Ultimaker</i> . O <i>Ultimaker Cura</i> é usado por mais de um milhão de utilizadores.	(MEDEVEL, 2021)
<i>Blender</i>	<i>Software</i> 3D OS gratuito que proporciona a criação de filmes animados, modelos 3D de efeitos visuais e jogos de vídeo e com suporte para impressão 3D.	(MEDEVEL, 2021) (BLENDER, 2021)

O desenvolvimento de protótipos rápidos de OS, como *RepRap* e *Fab@Home*, torna a prototipagem rápida economicamente acessível a utilizadores domésticos e potencialmente útil nas tecnologias de OS. As peças no *RepRap* e *Fab@Home* são desenhadas num programa CAD 3D e, posteriormente, convertidas num arquivo STL, que pode ser executado a partir de um FOSS, sendo que existe uma variedade de programas CAD 3D OS e gratuitos disponíveis, como *Blender*, entre outros (Blair et al., 2010).

A criação de um repositório educacional que alberga modelos com fins educacionais a serem impressos em protótipos rápidos, que incluem algumas especificações básicas de engenharia, a permissão do fornecimento amplo de informações técnicas sobre as peças têm o intuito de auxiliar os *designers* na modificação das peças para aplicações OS. Para além disto, as mesmas podem ser incluídas numa base de dados, apesar de estar presente uma lacuna no entendimento da criação de arquivos CAD necessários e da realização de modificações nos arquivos existentes, por parte *designers* de produto, de forma a responder às necessidades pessoais e maximizar o recurso a impressoras 3D (Blair et al., 2010).

O recente desenvolvimento de impressoras 3D OS torna tecnicamente viável o dimensionamento de fabrico baseado em aditivos distribuídos de objetos de alto valor. Os *RepRaps* demonstram utilidade para prototipagem convencional e engenharia, personalização de equipamentos científicos e fabrico relacionado com tecnologia apropriada para o desenvolvimento sustentável. No entanto, para que essa tecnologia se prolifere como as impressoras eletrónicas 2D, ela deve ser economicamente viável. (Wittbrodt et al., 2013).

A partir da análise económica do ciclo de vida ou LCEA (*Life-Cycle Economic Analysis*) da tecnologia *RepRap* para uma família média dos EUA, os resultados mostram que mesmo com recurso a uma suposição extremamente conservadora, a família só usaria a impressora para fazer os vinte produtos selecionados por ano, a economia de custo de compra evitada variaria entre os 300 \$ (aproximadamente 255 €) e os 2.000 \$ (aproximadamente 1700 €) por ano (Wittbrodt et al., 2013).

O FabLab (*Fabrication Laboratory*), isto é, Laboratório de Fabrico, é uma plataforma de fabrico digital equipada com ferramentas que permitem produção dos próprios protótipos, envolvendo-se desta forma no processo de aprendizagem autónoma por DIY, isto é, criação própria, com *design* digital de OS e máquinas CNC (impressoras 3D, cortadores a laser e eletrónicos, por exemplo, *Arduino*, *Raspberry Pi*), com foco em

opções de transferência de tecnologia e, como tal, ligado com as PMEs (Pequenas e Médias Empresas) e a grande indústria num único ecossistema (Gadjanski, Čantrak, Matijević, & ..., 2015).

O FabLab pode expandir-se para SciFabLab (*Scientific Fabrication Laboratory*), isto é, Unidade de Pesquisa Científica usando o fabrico digital com foco em possíveis aplicações industriais e atua como um centro de conexão entre cientistas, empresários, PMEs e grande indústria, permitindo a transferência de tecnologia eficiente, isto é, colocando as descobertas científicas em prática através do desenvolvimento de produtos de tecnologia exclusivos (Gadjanski et al., 2015).

Na área da Ciência e Investigação, existe uma panóplia de *softwares* que podem ser consultados na Tabela 7.

Tabela 7 - Softwares Ciência e Investigação

<i>Software</i>	Descrição	Referência
molPX ( <i>Molecular Projection Explorer</i> )	Módulo <i>lpython</i> que em conjunto com o aplicativo <i>Jupyter</i> , proporciona a visualização molecular interativa e virtual de qualquer tipo de coordenada para uma trajetória de MD ( <i>Molecular Dynamics</i> ), isto é, dinâmica molecular que foi projetada como distâncias ou ângulos ou qualquer variável coletiva ou parâmetro de pedido que foi usado para analisar os dados de MD.	(OPENSOURCE, 2017)
<i>Dakota</i>	<i>Software</i> gratuito aplicado na otimização de engenharia em grande escala e análise de incertezas. O <i>kit</i> de ferramentas <i>Dakota</i> fornece uma interface flexível e extensível entre códigos de análise e métodos de análise de sistemas iterativos além de conter algoritmos para otimização com métodos baseados em gradiente e não gradiente, quantificação de incerteza com amostragem, confiabilidade, expansão estocástica e métodos epistémicos, estimativa de parâmetros com métodos de mínimos quadrados não lineares e análise de sensibilidade/variância com desenho de experiências e métodos de estudo de parâmetros.	(OPENSOURCE, 2017)

---

<i>sciNote</i>	Caderno laboratorial <i>online</i> gratuito OS adequado para a educação e a indústria. Além do referido, anteriormente, é uma plataforma científica, onde se podem armazenar dados com segurança e compartilhar os mesmos a partir da possibilidade de ligação a outros <i>softwares</i> , criando um laboratório digital do futuro.	(OPENSOURCE, 2017)
----------------	--	--------------------

---

Na área da Robótica, existe uma panóplia de *softwares* que podem ser consultados na Tabela 8.

Tabela 8 - Softwares Robótica

<i>Software</i>	Descrição	Referência
ROS	<i>Kit</i> de desenvolvimento de <i>software</i> que ajuda a construir aplicações de <i>robots</i> e possui o necessário para um projeto de robótica, incluindo integração com o <i>Ignition</i> e tudo OS.	(OPENROBOTICS, 2021)
<i>Ignition</i>	Simula <i>robots</i> de forma precisa e eficiente na sua aplicação, seja logística de armazém, direção autónoma ou exploração espacial além de ser um mecanismo de física robusto com gráficos de alta qualidade e interfaces programáticos, que incluem integração com ROS e tudo OS.	(OPENROBOTICS, 2021)

---

### 3.1.2 Equipamentos de Fabrico de Baixo Custo

Como anteriormente referido os equipamentos de impressão 3D podem ser adquiridos em locais especializados ou em revendedores eletrónicos regulares, no mercado nacional ou noutros locais de forma *online*. A oferta disponível abrange todo o tipo de preços desde menor, médio ou maior dispêndio, dependendo do que se pretende. Alguns equipamentos podem ser encontrados em algumas plataformas livres, como o *Thingiverse*, já referida anteriormente, o *Github* ou o *Hackaday*.

Estas permitem que empresas e criadores desenvolvam os seus produtos e partilhem os mesmos numa plataforma, proporcionando uma interação entre os utilizadores, cujos

dados informativos como *uploads* ou números de utilizadores serão demonstrados seguidamente.

Na Figura 10, é demonstrado o acréscimo do número de utilizadores da plataforma *GitHub*, com base nos dados que podem ser consultados com mais pormenor na Tabela 9, porém os dados relativos ao número de utilizadores demonstram tendências difíceis de detetar devido aos altos e baixos que apresentam. No ano de 2015, este número rondava os dois mil e seiscentos utilizadores e em 2019, os oito mil utilizadores. Estes números referem-se a utilizadores com conta *Google* (GOOGLE OPEN SOURCE, 2020).

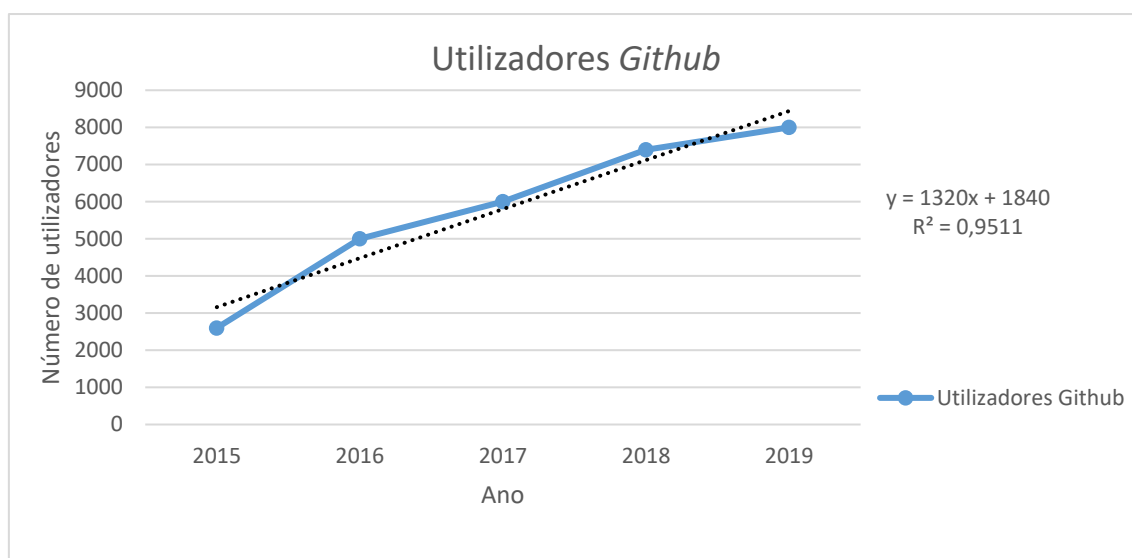


Figura 10 - Número de utilizadores Github

Tabela 9 - Número de utilizadores Github (GOOGLE OPEN SOURCE, 2020)

Ano	Utilizadores	R <sup>2</sup> (Coeficiente de correlação)
2015	2600	0,9511
2016	5000	
2017	6000	
2018	7400	
2019	8000	

Na Figura 11, é demonstrado o acréscimo do número de *uploads* de projetos da plataforma *Github* com base nos dados que podem ser consultados com mais pormenor na Tabela 10, porém os dados relativos ao número de *uploads* demonstram tendências difíceis de detetar devido aos altos e baixos que apresentam. No ano de 2015, este número rondava os quarenta mil *uploads* e em 2019, os setenta mil *uploads*. Estes números referem-se a utilizadores com conta *Google* (GOOGLE OPEN SOURCE, 2020).

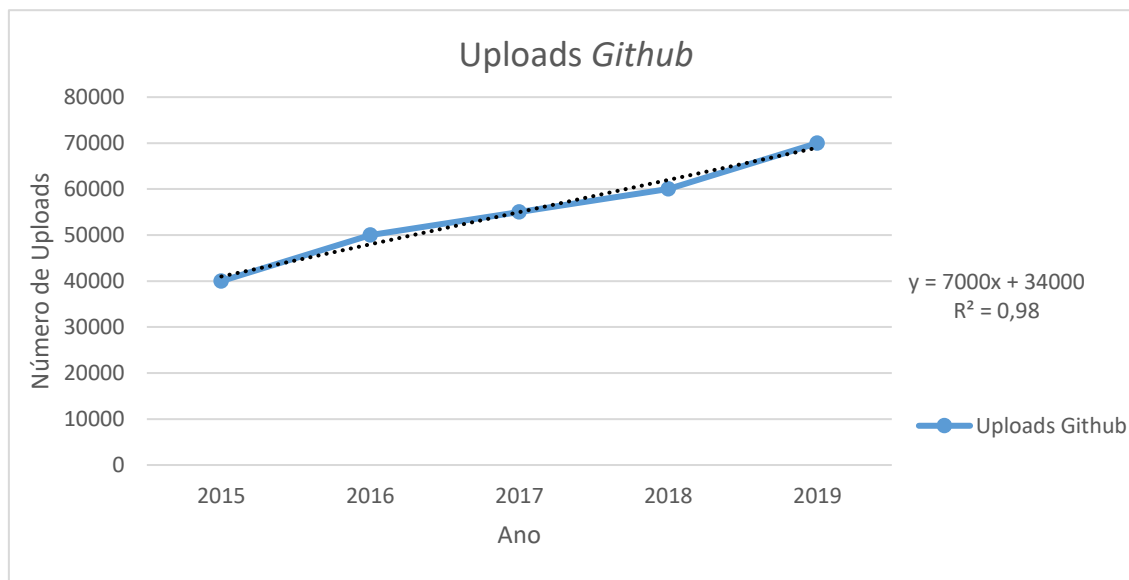


Figura 11 - Número de uploads Github

Tabela 10 - Número de uploads Github (GOOGLE OPEN SOURCE, 2020)

Ano	Utilizadores	R <sup>2</sup>
2015	40000	
2016	50000	
2017	55000	0,98
2018	60000	
2019	70000	

Na Figura 12, é demonstrado o acréscimo do número de utilizadores da plataforma *Thingiverse*, com base nos dados que podem ser consultados com mais pormenor na Tabela 11, porém os dados relativos ao número de utilizadores demonstram tendências difíceis de detetar devido aos altos e baixos que apresentam. No ano de 2012, este número rondava os vinte e cinco mil utilizadores e em 2018, os dois milhões e trezentos mil utilizadores (BUSINESSWIRE, 2018) (WIKI, 2021).

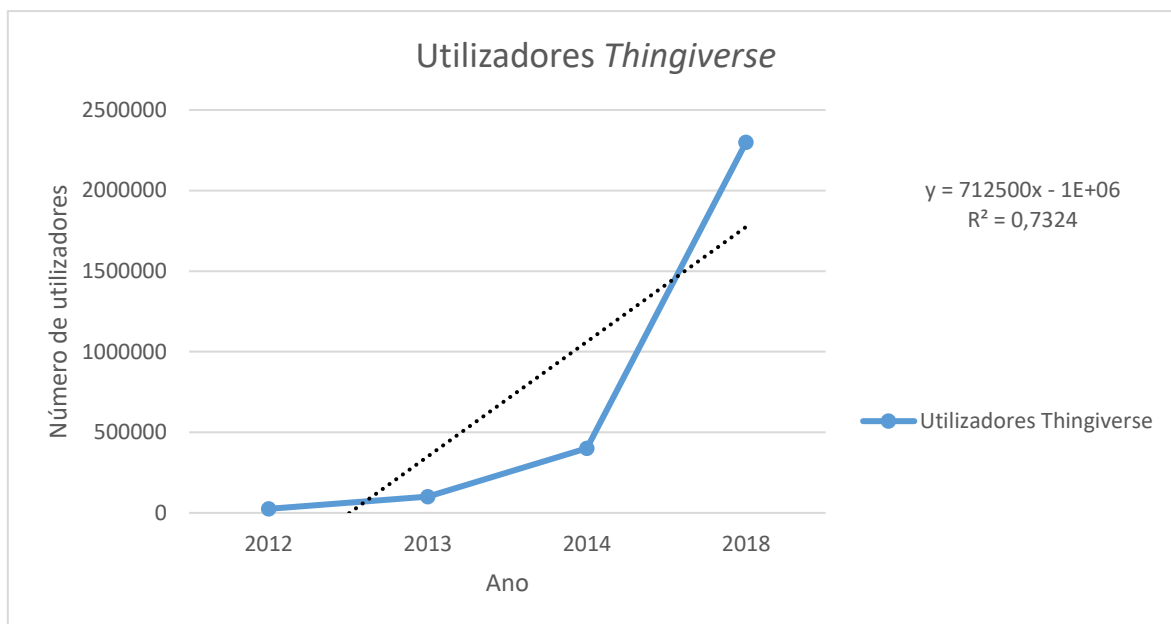


Figura 12 - Número de utilizadores Thingiverse

Tabela 11 - Número de utilizadores Thingiverse (BUSINESSWIRE, 2018) (WIKI, 2021)

Ano	Utilizadores	R <sup>2</sup>
2012	25000	0,7324
2013	100000	
2014	400000	
2018	2300000	

Na Figura 13, é demonstrado o acréscimo do número de *uploads* da plataforma *Thingiverse*, com base nos dados que podem ser consultados com mais pormenor na Tabela 12, porém os dados relativos ao número de *uploads* demonstram tendências difíceis de detetar devido aos altos e baixos que apresentam. No ano de 2012, este número rondava os vinte e cinco mil *uploads* e em 2018 os três milhões de *uploads* (BUSINESSWIRE, 2018) (WIKI, 2021).

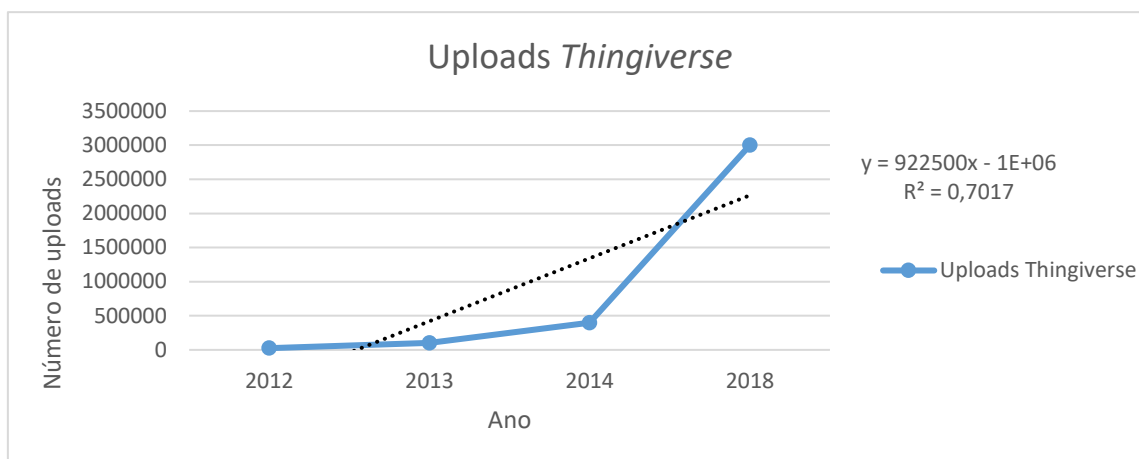


Figura 13 - Número de uploads Thingiverse

Tabela 12 - Número de uploads Thingiverse (BUSINESSWIRE, 2018) (WIKI, 2021)

Ano	Utilizadores	R <sup>2</sup>
2012	25000	0,7017
2013	100000	
2014	400000	
2018	3000000	

Na Figura 14, é demonstrado o acréscimo do número de utilizadores da plataforma *Hackaday*, com base nos dados que podem ser consultados com mais pormenor na Tabela 13, porém os dados relativos ao número de utilizadores demonstram tendências difíceis de detetar devido aos altos e baixos que apresentam. No ano de 2014, este número rondava os 51838 utilizadores e em 2017, os duzentos mil utilizadores (HACKADAY, 2016) (HACKADAY, 2017).

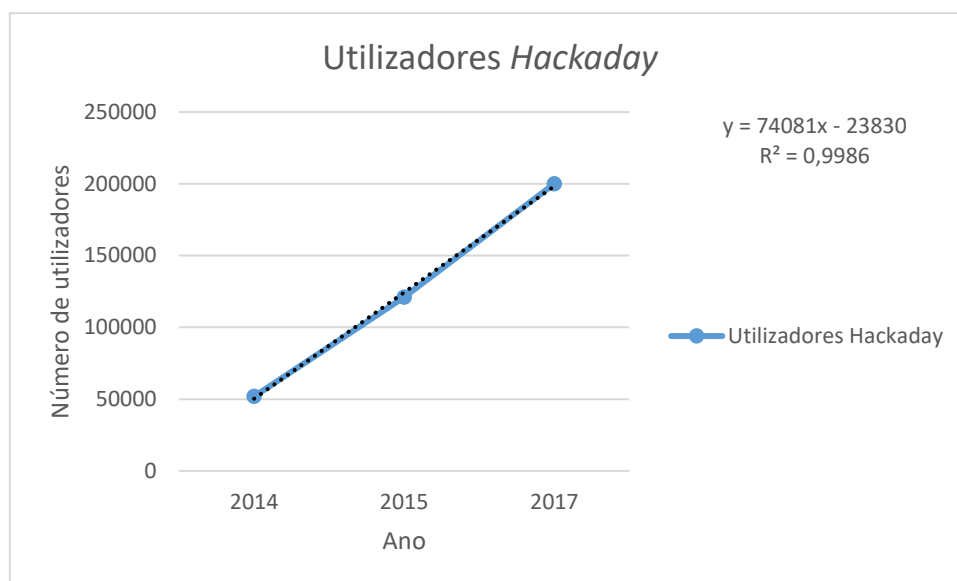


Figura 14 - Número de utilizadores Hackaday

Tabela 13 - Número de utilizadores Hackaday (HACKADAY, 2016) (HACKADAY, 2017)

Ano	Utilizadores	R <sup>2</sup>
2014	51838	
2015	121158	0,9986
2017	200000	

As correlações lineares ou coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de valor superior a 0,85 indicam uma tendência de estabilização do perfil linear ao longo das diferentes fases do ciclo de vida de um *software* ou *hardware* (Castro, Putnik, Castro, & Dal Bosco Fontana, 2019).

No caso dos utilizadores, pode-se constatar que as plataformas *Github* e *Hackaday* indicam uma tendência de estabilização, uma vez que o valor de  $R^2$  é superior a 0,85 enquanto que na plataforma *Thingiverse* ainda não é possível detetar uma tendência de estabilização pelo facto do  $R^2$  ser inferior a 0,85 com base nos dados que podem ser consultados com mais pormenor na Tabela 14.

Tabela 14 - Correlações lineares ou coeficiente de correlação ( $R^2$ ) dos utilizadores das plataformas

Plataforma	$R^2$
<i>Github</i>	0,9511
<i>Thingiverse</i>	0,7324
<i>Hackaday</i>	0,9986

No caso dos *uploads*, pode-se constatar que a plataforma *Github* indica uma tendência de estabilização, uma vez que o valor de  $R^2$  é superior a 0,85 enquanto que na plataforma *Thingiverse* ainda não é possível detetar uma tendência de estabilização pelo facto do  $R^2$  ser inferior a 0,85 com base nos dados que podem ser consultados com mais pormenor na Tabela 15.

Tabela 15 - Correlações lineares ou coeficiente de correlação ( $R^2$ ) dos uploads das plataformas

Plataforma	$R^2$
<i>Github</i>	0,98
<i>Thingiverse</i>	0,7017

No desenvolvimento deste trabalho, serão apresentados vários equipamentos e os critérios definidos para a avaliação dos mesmos são a tecnologia (Tabela 16), a área de trabalho (Tabela 17) e o tipo de material compatível (Tabela 18), cujo peso de avaliação atribuído varia entre 1 e 2. Em função da categoria de produto em que os equipamentos apresentados se encontram, pode existir a possibilidade de apenas avaliar o equipamento num único critério ou em dois ou até mesmo nos três apresentados, tal como verificável na Tabela 19, cujo peso de avaliação atribuído varia entre 1 e 3.

Tabela 16 - Critério de avaliação tecnologia

Critério de avaliação tecnologia	Peso de avaliação
Abrange apenas uma tecnologia	1
Abrange pelo menos duas ou mais tecnologias	2

Tabela 17 - Critério de avaliação área de trabalho

Critério de avaliação área de trabalho	Peso de avaliação
Área de trabalho quadrangular ou circular	1
Área de trabalho retangular	2

Tabela 18 - Critério de avaliação tipo de material compatível

Critério de avaliação tipo de material compatível	Peso de avaliação
Abrange um tipo de material	1
Abrange pelo menos dois ou mais tipos de material	2

Tabela 19 - Avaliação global dos equipamentos

Avaliação global	Peso de avaliação
Abrange um tipo de critérios	1
Abrange dois tipos de critérios	2
Abrange três tipos de critérios	3

Seguidamente serão apresentadas algumas possibilidades de equipamentos, assim como um exemplo da primeira impressora 3D de baixo custo, *Fab@Home*.

### 3.1.2.1 Ferramentas mecânicas

#### 3.1.2.1.1 Impressoras 3D

A *Fab@Home*, que se pode observar na Figura 15, foi a primeira impressora 3D disponível para o público e das primeiras impressoras 3D DIY de OS a nível mundial. Esta que desencadeou a revolução da impressão 3D para o consumidor, pelo facto das impressoras 3D serem algo dispendiosas a nível industrial e com limitações, no que diz respeito, ao acesso das tecnologias, à variedade de materiais que poderiam ser usados e ao nível de exploração que poderia ser feito pelos utilizadores finais. A meta era reverter essa situação através da criação de impressora versátil, de baixo custo e aberta de forma a acelerar a inovação tecnológica (FABATHOME, 2018) (WIKI, 2021).

O *Fab@Home* dispõe da tecnologia FDM com um sistema de deposição baseado em seringa e outras características que podem ser consultadas na Tabela 20. Uma das principais vantagens de usar um método de deposição em seringa é a ampla variedade de materiais que poderia ser depositada, essencialmente qualquer líquido, gel ou pasta que pudesse ser espremida através de uma ponta de seringa (FABATHOME, 2018) (WIKI, 2021).

Tabela 20 - Características *Fab@Home* (FABATHOME, 2018) (WIKI, 2021)

Características	
Tecnologia	FDM
Envelope de construção (LxPxA) (Largura x Profundidade x Altura) (mm)	200x200x200
Materiais compatíveis	materiais duros (epóxi) elastómeros (silicone) materiais biológicos (hidrogéis de sementes celulares) materiais alimentícios (chocolate, massa de biscoito e queijo) materiais de engenharia (aço inoxidável) materiais ativos (fios condutores e íman)

A licença associada era uma do tipo BSD (*Berkeley Source Distribution*) que é uma licença simples e livre para *software* de computador (FABATHOME, 2018) (WIKI, 2021) (BSD, 2005).

A tecnologia deste equipamento, cujo peso atribuído é de 1 por apenas abranger uma tecnologia em concreto, é o ponto de viragem para o surgimento de novas tecnologias pela razão da abrangência de uma ampla variedade de tipos de materiais como elastómeros, aço inoxidável, fios condutores e íman e como tal a avaliação destes parâmetros têm um peso de 2. A área de trabalho quadrangular ou circular permite produzir peças de dimensões razoáveis, uma vez que o tipo de produtos não exige maiores dimensões sendo o peso de avaliação deste parâmetro de 1. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.



Figura 15 - Impressora 3D de baixo custo Fab@Home (FABATHOME, 2018) (WIKI, 2021)

A impressora 3D *Tinyboy*, que se pode visualizar na Figura 16, além das suas características na Tabela 21, é um equipamento portátil de pequenas dimensões e de baixo custo que permite dar a conhecer a impressão 3D em ambiente escolar ou educacional, assim como, numa envolvente externa a este ambiente, como por exemplo em casa (TINYBOY, 2020).



Figura 16 - Impressora 3D *Tinyboy* (TINYBOY, 2020)

Para além do referido, anteriormente, proporciona o desfrutar do processo criativo e incentiva os alunos não apenas a consumir, mas a tornarem-se criadores, compreendendo a cultura de criação, de forma autónoma, através do fabrico de variedade de modelos e pequenos brinquedos numa área de impressão razoável e em qualquer lugar, como se pode observar na Figura 17, através da tecnologia FDM (TINYBOY, 2020).

O tipo de produção é DIY e a licença de acesso é pública ou aberta CC (*Creative Commons*), que permite a partilha e redistribuição de material em qualquer meio ou formato e adaptação, ou seja, permite a mistura, a transformação e a construção sobre o material para qualquer finalidade, entre as quais comerciais sob restrições a serem cumpridas (TINYBOY, 2020).

Tabela 21 - Características na impressora 3D *Tinyboy* (TINYBOY, 2020)

Características	
Tecnologia	FDM
Área de impressão (LxPxA) (mm)	100x100x100
Material de filamento compatível	PLA (recomendado) ou outro a temperatura inferior a 250°C

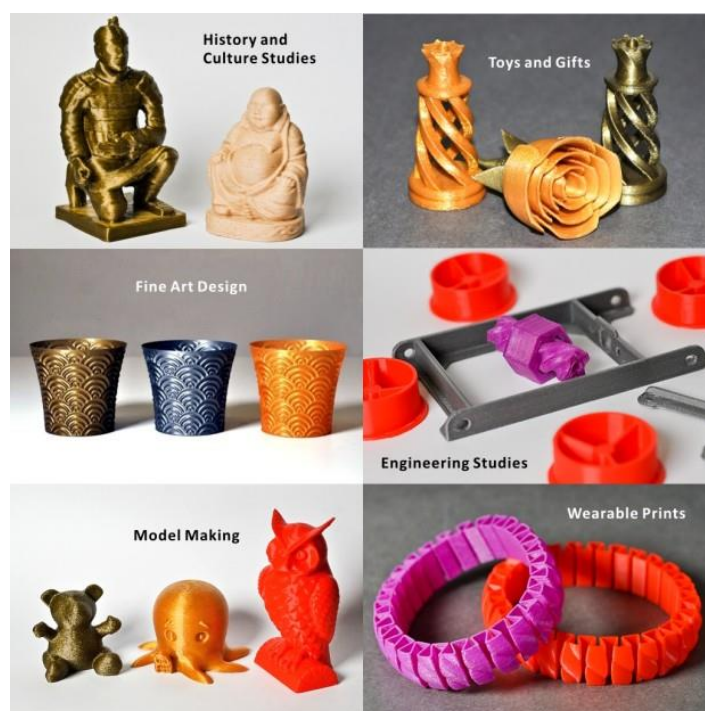


Figura 17 - Objetos impressos na impressora 3D *Tinyboy* (TINYBOY, 2020)

A tecnologia deste equipamento, cujo peso atribuído é de 1 por apenas abranger uma tecnologia em concreto, é ideal para materiais termoplásticos como PLA ou ABS pela razão da limitação da temperatura e como tal a avaliação deste parâmetro tem um peso de 1. A área de trabalho quadrangular ou circular permite produzir peças de dimensões pequenas ou médias, uma vez que o tipo de produtos impressos se baseia em brinquedos ou peças decorativas pequenas sendo o peso de avaliação deste parâmetro

de 1. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

A Pwdr 0.1, que se pode visualizar na Figura 18, é um equipamento de impressão 3D de prototipagem rápida de OS, cujo objetivo é promover experiências e inovações em prototipagem rápida baseada em pó. A impressora do tipo DIY está preparada para 3DP, no entanto, tem a possibilidade de adaptação para o processo SLS. O seu *design* simples permite facilidade de construção e modificação em pouco tempo com um custo de construção a rondar os 1000 € (PWDR, 2012).

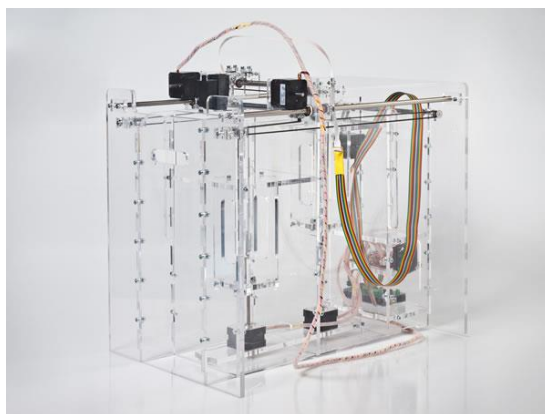


Figura 18 - Pwdr 0.1 (PWDR, 2020)

A gama de materiais disponível no processo 3DP é destacada pelo gesso ou cerâmica, enquanto no processo SLS destacam-se, materiais plásticos como ABS, PP (*Polypropylene*, isto é, Polipropileno), *Nylon* e metais que podem ser comprovadas na Tabela 22, assim como outras características (PWDR, 2012).

Tabela 22 - Características Pwdr 0.1 (PWDR, 2012)

Características	
Tecnologia	3DP; SLS
Área de impressão (LxPxA) (mm)	125x125x125
Materiais compatíveis em 3DP	gesso, cerâmica
Materiais compatíveis em SLS	ABS, PP

As tecnologias deste equipamento permitem abranger variedade de tipos de materiais como gesso e cerâmica, no caso do 3DP ou ABS e PP, no caso de SLS sendo que o peso de avaliação em ambos os parâmetros ser de 2 pelo facto de abranger duas ou mais

tecnologias e dois ou mais tipos de material compatível. A área de trabalho quadrangular ou circular permite produzir peças de dimensões razoáveis, uma vez que o tipo de produtos não exige maiores dimensões sendo o peso de avaliação deste parâmetro de 1. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

A impressora *RepRap Mendel* de pequenas dimensões, que se pode observar na Figura 19, proporciona volume de impressão suficiente para imprimir produtos a custos relativamente interessantes, isto é, o mais económico possível e cujas características estão detalhadas na Tabela 23 (WIKI, 2020).

Para além do referido no parágrafo anterior, o tipo de produção é DIY e licença de acesso pública ou aberta, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

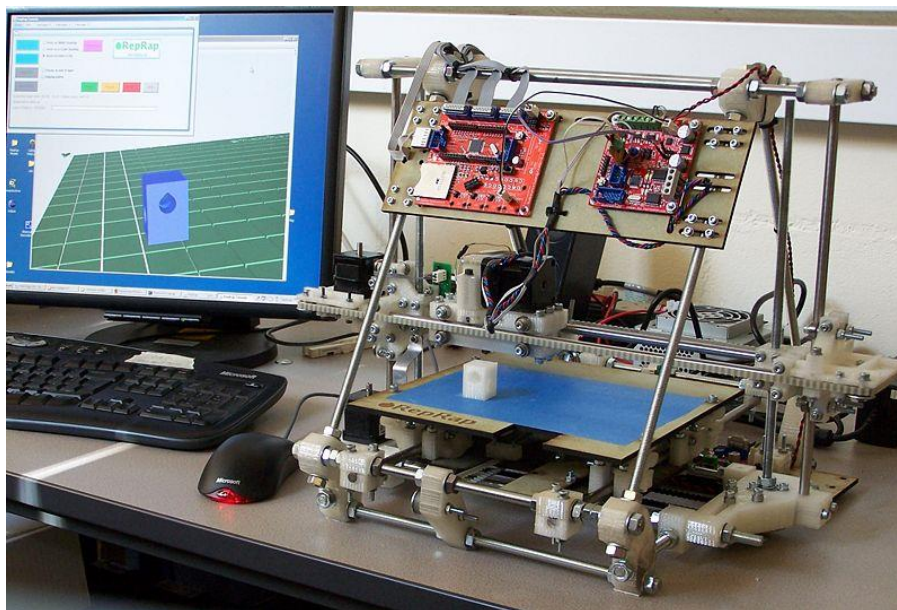


Figura 19 - Impressora RepRap Mendel (WIKI, 2020)

Tabela 23 - Características impressora RepRap Mendel (WIKI, 2020)

Características	
Tecnologia	FFF ( <i>Fused Filament Fabrication</i> )
Área de impressão (LxPxA) (mm)	200x200x140
Materiais compatíveis	PLA, HDPE, ABS. Filamentos de 3 mm de diâmetro

A tecnologia deste equipamento, é ideal para materiais termoplásticos como PLA, ABS ou HPDE pela razão da limitação da temperatura. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 1, visto que abrange um único tipo de material. A área de trabalho permite produzir peças de dimensões pequenas ou médias, uma vez que o tipo de produtos não exige maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 1 pela razão da sua área de trabalho ser quadrangular ou circular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

Para além dos exemplos de equipamentos apresentados, anteriormente, também existem equipamentos de impressão 3D que se podem encontrar em locais especializados ou em revendedores eletrónicos regulares, ou seja, no mercado.

A impressora 3D XYZ Printing Da Vinci Mini W+ Wi-Fi, cujas características estão detalhadas na Tabela 24 e que se pode observar na Figura 20, tem um custo de mercado de 299,56 € e pelo seu custo é considerado um equipamento de baixo custo. Algumas características que se podem destacar são a impressão em PETG (*Polyethylene terephthalate glycol*, ou seja, Polietileno Tereftalato de Glicol) ou PLA, a partir da tecnologia de FFF, entre outras (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021).

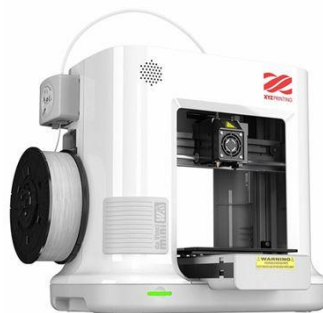


Figura 20 - Impressora 3D XYZ Printing Da Vinci Mini W+ Wi-Fi (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)

Tabela 24 - Características impressora 3D XYZ Printing Da Vinci Mini W+ Wi-Fi (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)

Características	
Tecnologia de impressão	FFF
Material compatível para impressão	PETG, PLA
Dimensão máxima de impressão (LxPxA) (mm)	150x150x150

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais termoplásticos como PLA ou PETG pela razão da limitação da temperatura. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 1, visto que abrange um único tipo de material. A área de trabalho permite produzir peças de dimensões pequenas ou médias, uma vez que o tipo de produtos não exige maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 1 pela razão da sua área de trabalho ser circular ou quadrangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

A impressora 3D *Velleman Vertex Nano K8600*, cujas características estão detalhadas na Tabela 25 e que se pode observar na Figura 21, tem um custo de mercado de 196,86 €, sendo considerado um equipamento de baixo custo com um custo inferior ao do equipamento apresentado anteriormente, para além de características técnicas, como espessuras ou dimensões de impressão mais limitadas ou o facto de imprimir em ABS ou PLA a partir da tecnologia FFF, entre outras (VELLMAN, 2021) (FNAC, 2021).

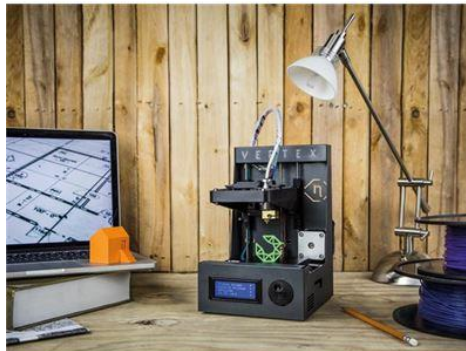


Figura 21 - Impressora 3D Velleman Vertex Nano K8600 (VELLMAN, 2021) (FNAC, 2021)

Tabela 25 - Características impressora 3D Velleman Vertex Nano K8600 (VELLMAN, 2021) (FNAC, 2021)

Características	
Tecnologia de impressão	FFF
Material compatível para impressão	ABS, PLA
Dimensão máxima de impressão (LxPxA) (mm)	80x80x75

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais termoplásticos como PLA ou ABS pela razão da limitação da temperatura. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 1, visto que abrange um único tipo de material. A área de trabalho permite produzir peças de dimensões pequenas ou médias, uma vez que o tipo de produtos não exige maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 1 pela razão da sua área de trabalho ser circular ou quadrangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

A impressora 3D *XYZ Printing Da Vinci Nano*, cujas características estão detalhadas na Tabela 26 e que se pode observar na Figura 22, tem um custo de mercado de 239,09 €, é considerado um equipamento de baixo custo. Abrange materiais idênticos aos que se encontram nos equipamentos anteriores com a exceção de ABS, porém tem vantagem de imprimir em Plástico reciclável resistente (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021).



Figura 22 - Impressora 3D XYZ Printing Da Vinci Nano (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)

Tabela 26 - Características impressora 3D XYZ Printing Vinci Nano (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)

Características	
Tecnologia de impressão	FFF
Material compatível para impressão	PETG, PLA, Plástico reciclável resistente
Dimensão máxima de impressão (LxPxA) (mm)	120x120x120

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais termoplásticos como PLA ou PETG pela razão da limitação da temperatura. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 1, visto que abrange um único tipo de material. A área de trabalho permite produzir peças de dimensões pequenas ou médias, uma vez que o tipo de produtos não exige maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 1 pela razão da sua área de trabalho ser circular ou quadrangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

A impressora 3D *Microdelta Rework 3D Printer*, cujas características estão detalhadas na Tabela 27 e que se pode observar na Figura 23, tem um custo de mercado de 400 €, é considerado um equipamento de baixo custo. Abrange tipos de materiais como PLA ou ABS (REPRAP 3D PRINTER, 2021).



Figura 23 - Impressora 3D Microdelta Rework 3D Printer (REPRAP 3D PRINTER, 2021)

Tabela 27 - Características impressora 3D Microdelta Rework 3D Printer (REPRAP 3D PRINTER, 2021)

Características	
Tecnologia	FFF
Área de trabalho (mm)	D (Diâmetro): 150
	A (Altura): 200
Materiais	ABS, PLA, metal

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais termoplásticos como PLA ou ABS pela razão da limitação da temperatura, no entanto também é ideal para metais. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído um peso de avaliação de 2, visto que abrange dois ou mais tipos de material. A área de trabalho permite produzir peças de dimensões pequenas ou médias, uma vez que o tipo de produtos não exige maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 1 pela razão da sua área de trabalho ser circular ou quadrangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

Para além do referido, anteriormente, o tipo de produção é comercial pelo facto de estar disponível no mercado através de uma empresa específica e a licença de acesso é pública ou aberta CC, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

A *Ultimaker 2+ Connect*, cujas características estão detalhadas na Tabela 28 e que se pode observar na Figura 24, é considerado um equipamento de baixo custo e abrange materiais como PLA ou ABS (ULTIMAKER, 2021).



Figura 24 - Ultimaker 2+ Connect (ULTIMAKER, 2021)

Tabela 28 - Características Ultimaker 2+ Connect (ULTIMAKER, 2021)

Características	
Tecnologia	FFF
Área de trabalho (LxPxA) (mm)	223x220x205
Materiais compatíveis	ABS, PLA, PETG, PC, PP

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais termoplásticos como ABS, PLA, PETG, PC ou PP pela razão da limitação da temperatura. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 1, visto que abrange apenas um tipo de material. A área de trabalho permite produzir peças de dimensões pequenas ou médias, uma vez que o tipo de produtos não exige maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 2 pela razão da sua área de trabalho ser retangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

Para além do referido, anteriormente, o tipo de produção é comercial pelo facto de estar disponível no mercado através de uma empresa específica e licença de acesso pública ou aberta CC, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

#### 3.1.2.1.2 Equipamentos CNC (Computer Numeric Control)

O DIYLILCNC é um conjunto de planos de OS para um equipamento CNC, que se pode observar na Figura 25, funcional e de baixo custo que pode ser construído, individualmente ou por um grupo de alunos com um custo em redor dos 700 \$ (aproximadamente 595 €) e outras características na Tabela 29. Os planos são disponibilizados numa plataforma *online* sem qualquer restrição (DIYLILCNC, 2016).

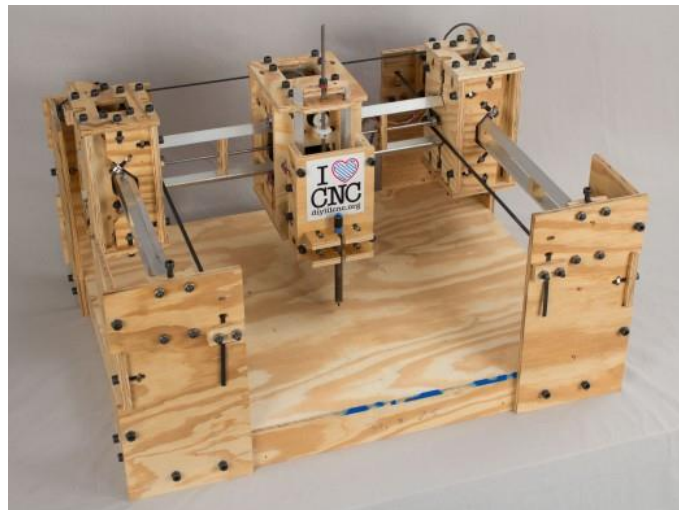


Figura 25 – DIYLILCNC (DIYLILCNC, 2016)

Tabela 29 - Características DIYLILCNC (DIYLILCNC, 2016) (INSTRUCTABLES, 2016)

Características	
Tecnologia	CNC
Área de trabalho (LxPxA) (mm)	305x356x51
Materiais	Espuma, Madeira, Acrílico, MDF, Cobre

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais termoplásticos como Espuma, Madeira, Acrílico, MDF, assim como materiais metálicos como o cobre. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 2, visto que abrange dois ou mais tipos de material. A área de trabalho permite produzir peças de maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 2 pela razão da sua área de trabalho ser retangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

Para além do referido, anteriormente, o tipo de produção é DIY e licença de acesso pública ou aberta CC, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

O equipamento de gravação (*Carving*) *X-Carve* da *Inventables*, que se pode visualizar na Figura 26, está disponível em *kit* completo ou de construção com custos 2299 \$ (aproximadamente 1894,65 €) de 1842 \$ (aproximadamente 1565,7 €), respetivamente e aplica-se a gravação de marcas ou assinaturas personalizadas em peças de madeiras ou peças decorativas do mesmo tipo de material e outras características mais detalhadas na Tabela 30 (INVENTABLES, 2021).



Figura 26 - X-Carve (INVENTABLES, 2021)

Tabela 30 - Características X-Carve (INVENTABLES, 2021)

Características	
Tecnologia	CNC
Área de trabalho (LxPxA) (mm)	750x750x65
Materiais	Acrílico, Metal (Alumínio), Plástico (ABS, PVC, HDPE, PP), Madeira, Cera e espuma maquináveis

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais termoplásticos como ABS, PVC HDPE ou PP, assim como materiais metálicos como o alumínio e outros como madeira ou cera. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 2, visto que abrange dois ou mais tipos de material. A área de trabalho permite produzir peças de maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 1 pela razão da sua área de trabalho ser quadrangular ou circular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

Para além do referido, anteriormente, o tipo de produção comercial pelo facto de estar disponível no mercado através de uma empresa específica e licença de acesso pública ou aberta CC, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

A *Handibot*, que se pode observar na Figura 27, com um custo de aquisição de 149,99 \$ (aproximadamente 127,49 €) é uma ferramenta elétrica que executa operações de corte, entalhe, maquinagem e fresagem precisas em materiais de madeira, MDF, plásticos, espumas e alumínio e outras características na Tabela 31 (HANDIBOT, 2021).



Figura 27 – Handibot (HANDIBOT, 2021)

Tabela 31 - Características Handibot (HANDIBOT, 2021)

Características	
Tecnologia	CNC
Materiais	madeira, MDF, plásticos, espumas e alumínio

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais plásticos, MDF assim como materiais metálicos como o alumínio e outros espumas. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 2, visto que abrange dois ou mais tipos de material. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 2, uma vez que foi possível abranger dois dos três critérios definidos.

O tipo de produção é comercial pelo facto de estar disponível no mercado através de uma empresa específica e licença de acesso pública ou aberta *Panaka*, que garante controlo do uso, cópia, modificação e distribuição de documentos de projeto (WIKI, 2020).

O *LongMill*, na Figura 28, é um equipamento CNC, cujas características observáveis na Tabela 32, apresentam semelhanças com os equipamentos anteriores. Para além disto, o tipo de produção é comercial pelo facto de estar disponível no mercado através de uma empresa específica a um custo de 1200 \$ (aproximadamente 1020 €) (SIENCI LABS, 2021) (HACKADAY, 2017).

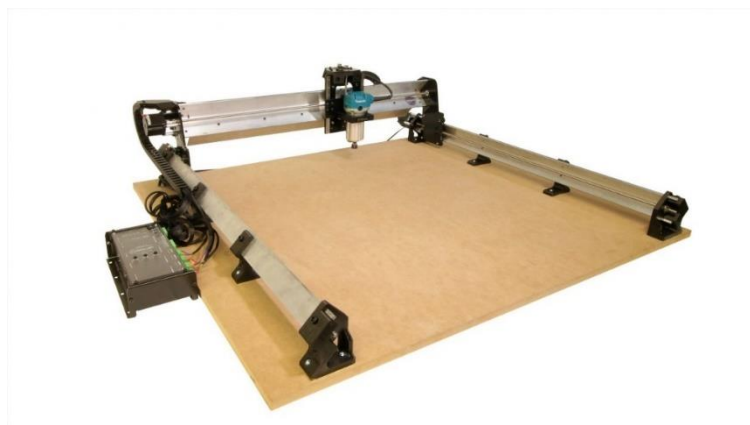


Figura 28 – LongMill (SIENCI LABS, 2021)

Tabela 32 - Características LongMill (SIENCI LABS, 2021)

Características	
Tecnologia	CNC
	307x345
Área de trabalho (LxP) (mm)	792x345
	792x845
Materiais	Metal (Alumínio e Latão), Plástico, Madeira, Cera e espuma maquináveis

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais plásticos pela razão da limitação da temperatura, assim como, para materiais metálicos como o alumínio e outros como madeira ou cera. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 2, visto que abrange dois ou mais tipos de material. A área de trabalho permite produzir peças de maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 2 pela razão da sua área de trabalho ser retangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

O *Multiplex CNC Router*, na Figura 29, é um equipamento CNC de produção DIY e de licença de acesso pública pelo facto dos ficheiros inerentes serem disponibilizados *online* sem qualquer restrição e cujas características observáveis na Tabela 33 apresentam semelhanças com os equipamentos anteriores. O objetivo na construção do equipamento consistia em não ultrapassar os 800 € e uma área de trabalho (LxPxA) de 400x600x100 mm (HACKADAY, 2020).



Figura 29 - Multiplex CNC Router (HACKADAY, 2020)

Tabela 33 - Características Multiplex CNC Router (HACKADAY, 2020)

Características	
Tecnologia	CNC
Área de trabalho (LxPxA) (mm)	350x600x90
Materiais	Metal (Alumínio e Latão), Plástico, Madeira, Cera e espuma maquináveis

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais plásticos pela razão da limitação da temperatura, assim como, materiais metálicos como o alumínio e outros como madeira ou cera. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 2, visto que abrange dois ou mais tipos de material. A área de trabalho permite produzir peças de maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 2 pela razão da sua área de trabalho ser retangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

A *Makesmith CNC*, na Figura 30, é um equipamento CNC, cujas características observáveis na Tabela 34 apresentam semelhanças com os equipamentos anteriores, em que o tipo de produção é DIY e licença de acesso pública pelo facto de os ficheiros inerentes serem disponibilizados *online* sem qualquer restrição (HACKADAY, 2014).

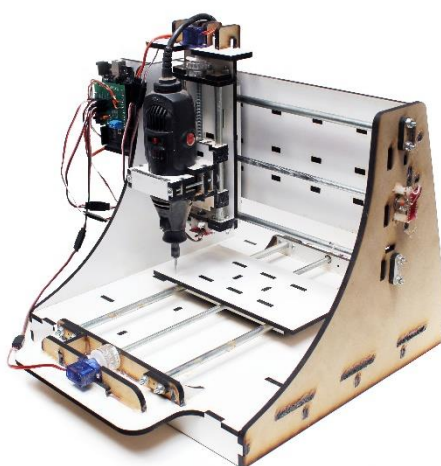


Figura 30 - Makesmith CNC (HACKADAY, 2014)

Tabela 34 - Características Makesmith CNC (HACKADAY, 2014)

Características	
Tecnologia	CNC
Área de trabalho (LxPxA) (mm)	234x221x48
Materiais	Plástico, Madeira e Espuma

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais plásticos pela razão da limitação da temperatura, assim como, madeira ou espuma. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 2, visto que abrange dois ou mais tipos de material. A área de trabalho permite produzir peças de maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 2 pela razão da sua área de trabalho ser retangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

#### 3.1.2.1.3 Corte a laser

O *Lasersaur*, que se pode observar na Figura 31, é um cortador a laser OS projetado para responder às necessidades de fabricantes, *designers*, arquitetos e investigadores que desejam uma máquina segura e altamente capaz e com conhecimento para executar, manter e modificar, entre outras características indicadas na Tabela 35. O valor comercial é atribuído através das doações de quem pretende contribuir para o projeto e os ficheiros inerentes são disponibilizados *online* sem qualquer restrição na plataforma *Github* (LASERSAUR, 2020) (GITHUB, 2017).

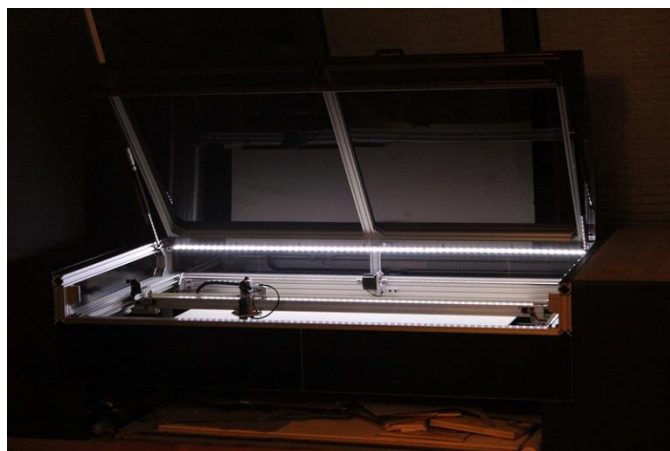


Figura 31 – Lasersaur (LASERSAUR, 2020)

Tabela 35 - Características Lasersaur (LASERSAUR, 2020)

Características	
Tecnologia	Laser
Área de trabalho (LxP) (mm)	1220x610
Tipo de material capaz de cortar	Madeira, Acrílico, Couro, Esponja, Canvas (telas de pintura), Feltro, Fibras de vidro e carbono, ABS, Lonas

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais como Madeira, Acrílico, Couro, Esponja, Canvas (telas de pintura), Feltro, Fibras de vidro e carbono, ABS (pela razão de temperatura), Lonas. O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído um peso de avaliação de 2, visto que abrange dois ou mais tipos de material. A área de trabalho permite produzir peças de maiores dimensões e como tal o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 2 pela razão da sua área de trabalho ser retangular. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 3, uma vez que foi possível abranger os três critérios definidos.

O tipo de produção é comercial e licença de acesso pública ou aberta CC, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

#### 3.1.2.1.4 Digitalizador 3D

O *MakerScanner*, que se pode visualizar na Figura 32, é um scanner 3D de OS funciona como complemento para um *MakerBot* ou outra impressora 3D. Através do *Blender 3D* elimina-se o que não importa para a digitalização e do *MeshLab* para criar uma superfície de impressão 3D num *Makerbot*. A obtenção dos arquivos *pointcloud* e STL realiza-se através da comunidade *Thingiverse*. O *MakerScanner* projeta energia a partir de um apontador laser, que mostra uma linha vertical, e com recurso a uma câmara são deslocados. À medida que os objetos se aproximam do sensor, a linha do laser aproxima-se do bordo da imagem da câmara. Com a calibração correta, a faixa para cada ponto pode ser calculada (MAKERSCANNER, 2010).



Figura 32 – MakerScanner (MAKERSCANNER, 2010)

Esta técnica tem como vantagens o baixo custo, rapidez e precisão, havendo processamento necessário diminuto além da digitalização das imagens, contrariamente ao de um sensor estéreo tradicional que requer correlação de *pixels*. Para além disto, com o recurso a uma câmara, uma precisão surpreendente pode ser alcançada a baixo custo (MAKERSCANNER, 2010).

A tecnologia deste equipamento permite a digitalização e replicação 3D de algo de forma rápida e precisa, qualquer que seja a dimensão e o peso de avaliação atribuído neste parâmetro é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

Para além do referido, anteriormente, a sua categoria de produto são as ferramentas mecânicas, do tipo DIY e licença de acesso pública ou aberta, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

### 3.1.2.2 Ciência e Investigação

O projeto *Myphotronics*, que se pode visualizar na Figura 33, tem como intuito a construção de componentes opto mecânicos e a implementação de experiências óticas em diferentes sistemas modulares de forma a substituir componentes mecânicos pesados e dispendiosos, atualmente usados em fotónica, por elementos leves e de baixo custo e cujas listas de componentes e montagem estão disponíveis de forma gratuita. Este projeto proporciona a possibilidade de medir a expansão térmica de metais, através do fenómeno de interferência, como no exemplo demonstrado na figura ou para quem pretende iniciar um projeto na fotónica (MYPHOTONICS, 2019).

A tecnologia deste equipamento é ideal para materiais como metais, uma vez que uma das finalidades do equipamento é medir a expansão térmica dos mesmos e de outros tipos de material e como tal, neste parâmetro é atribuído um peso de avaliação de 2. No parâmetro tecnológico é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 2, uma vez que foi possível abranger dois dos três critérios definidos.

Para além do referido, anteriormente, o tipo de produção é DIY e licença de acesso pública ou aberta CC, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

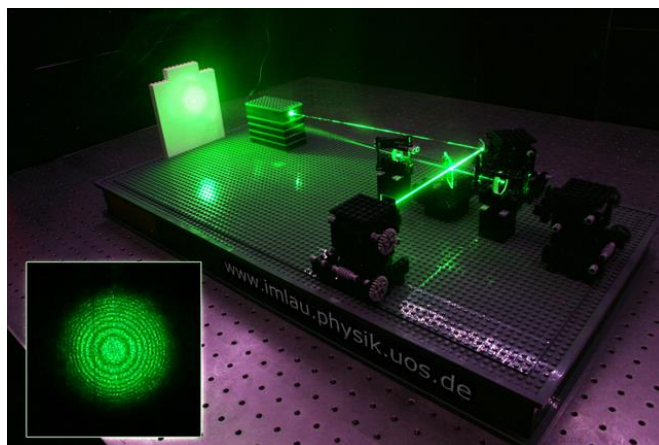


Figura 33 – Myphotronics (MYPHOTONICS, 2019)

A plataforma de *hardware* de OS de baixo custo NMR, que se pode observar na Figura 34, permite várias experiências de relaxometria. O alto grau de flexibilidade e baixo custo da plataforma torna a relaxometria de NMR acessível para aplicações onde custo, tamanho ou flexibilidade eram difíceis de alcançar, anteriormente (OPEN SOURCE IMAGING, 2019).

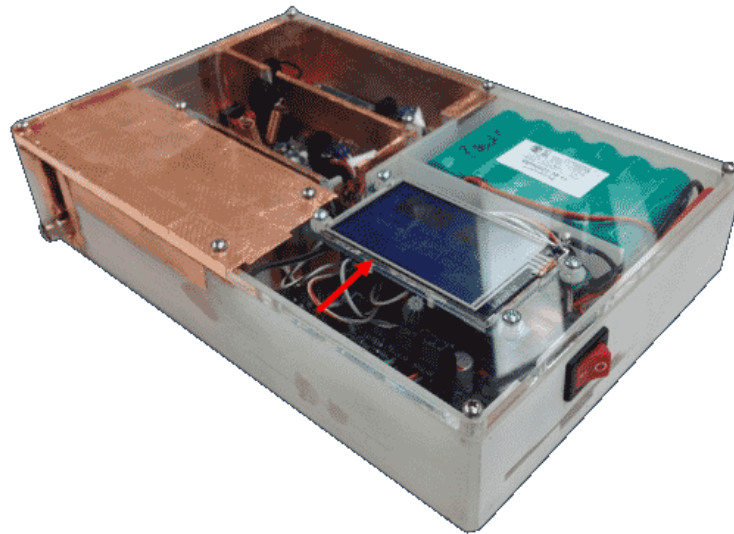


Figura 34 - Plataforma NMR (OPEN SOURCE IMAGING, 2019)

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O custo estimado desta plataforma é de 750 \$ (aproximadamente 637,5 €) com tipo de produção é DIY e licença de acesso pública ou aberta, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

O *FlyPi*, que se pode observar na Figura 35, é um sistema de imagem e microscópio de baixo custo para pesquisa e ensino baseado numa estrutura impressa em 3D que contém um computador e câmara *Raspberry Pi*, LEDs baratos para iluminação e lentes simples. O sistema básico tem um custo inferior a 100 € (cerca de US \$ 115) e oferece opções modulares de baixo custo para pesquisa e montagem, sendo a sua licença aberta. O preço baixo significa que pode ser implementado em laboratórios subfinanciados em todo o mundo para o ensino em sala de aula, bem como num ambiente exterior ao mesmo (OPEN LABWARE, 2021).

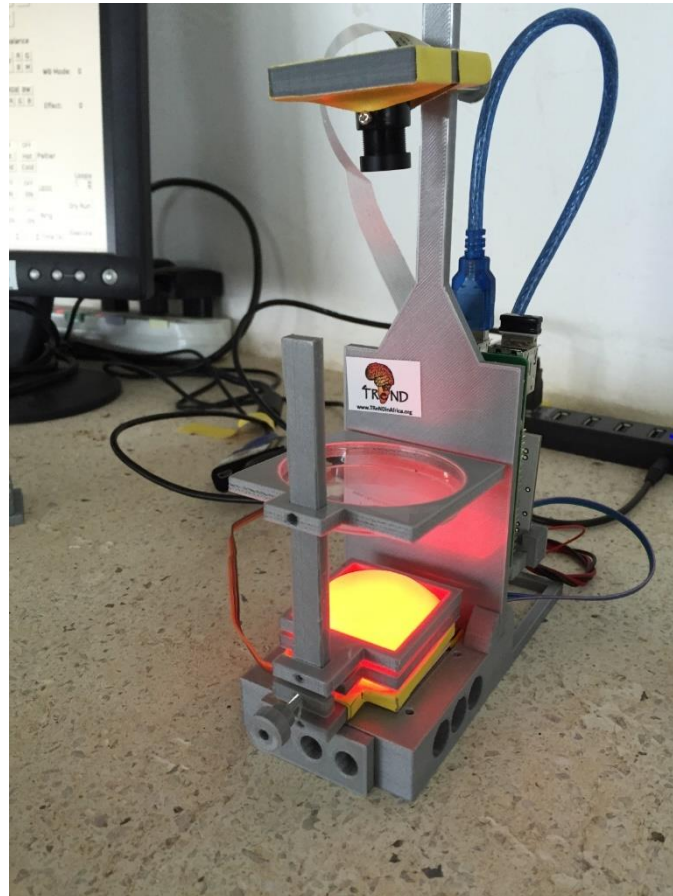


Figura 35 – FlyPi (HACKADAY, 2020)

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, mais concretamente ótica. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *IoT Microscope*, possível de visualizar na Figura 36, é um microscópio OS de baixo custo e de acesso público que transmite imagens para qualquer lugar através de uma ligação à *Internet*. Este equipamento permite maior acessibilidade a alunos que estão em casa, impossibilitados de assistir a uma aula, para que possam ver o vídeo de demonstração e fotografias em tempo real (HACKADAY, 2020).

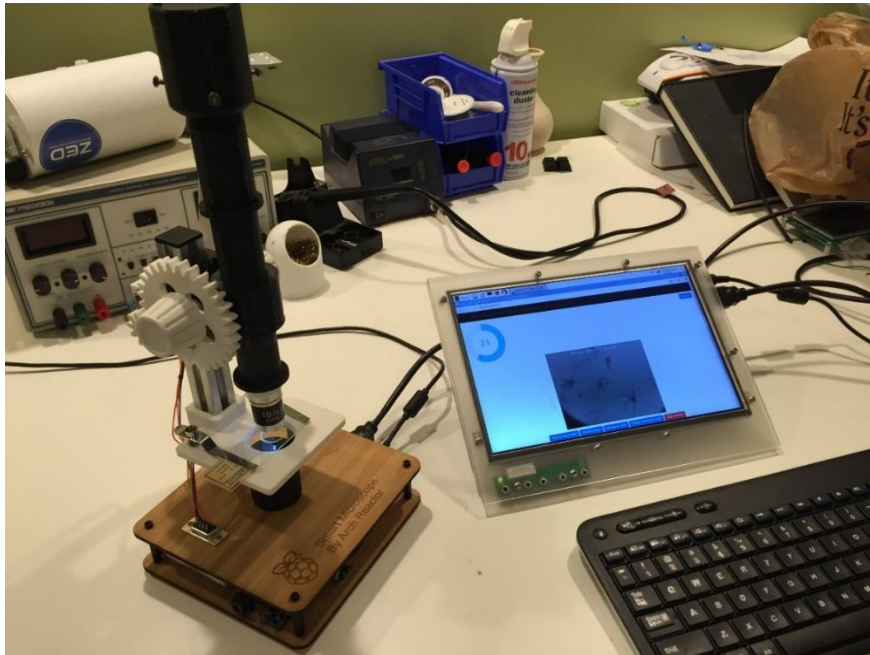


Figura 36 - IoT Microscope (HACKADAY, 2020)

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, mais concretamente ótica. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *Openspritzer*, na Figura 37, é um equipamento OSHW laboratorial de baixo custo e de licença pública que fornece volume a amostras biológicas. A configuração básica pode ser montada por 3400 €, ou num valor inferior (OPEN LABWARE, 2021).



Figura 37 – Openspritzer (OPEN LABWARE, 2021)

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, mais concretamente ótica. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *Hyperspectral Scanner*, na Figura 38, de acesso público e cuja tecnologia é amplamente usada para fins industriais e científicos, mas o elevado custo e tamanho das configurações comerciais tornaram-nas impraticáveis para a maioria das pesquisas básicas e como tal, foi criado um equipamento semelhante do tipo OS e de baixo custo baseado num espectrómetro comercial acoplado a componentes óticos, mecânicos e eletrónicos personalizados com utilidade em ambientes terrestres e subaquáticos por forma a recriar imagens naturais (OPEN LABWARE, 2021).

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, mais concretamente ótica. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

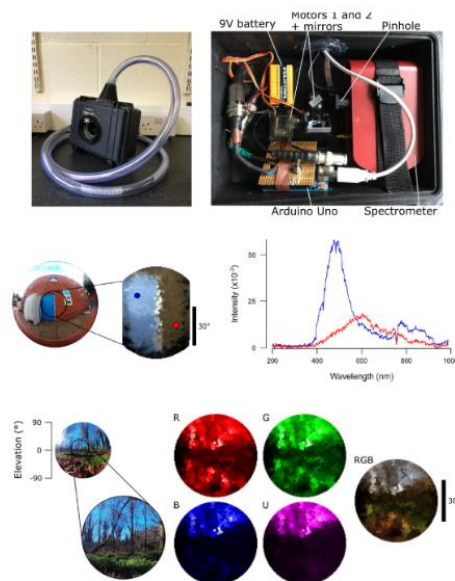


Figura 38 - Hyperspectral Scanner (OPEN LABWARE, 2021)

O *Home-Built STM (Scanning Tunneling Microscope)*, na Figura 39, é um microscópio de tunelamento de corrente ou varredura de baixo custo e de produção DIY capaz de mostrar imagens da resolução atômica no ar (HACKADAY, 2020) (DBERARD, 2017).

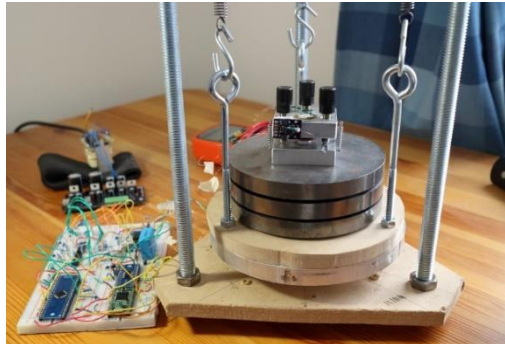


Figura 39 - Home-Built STM (HACKADAY, 2020) (DBERARD, 2017)

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

### 3.1.2.3 Robótica

O projeto *Poppy*, que se pode observar na Figura 40 e outras características na Tabela 36, é um projeto robótico centrado na comunidade que enquadra as necessidades de uma comunidade multidisciplinar onde investigadores, professores, artistas e entusiastas da robótica podem compartilhar os seus trabalhos e ideias além de envolver uma ampla gama de disciplinas no campo da Engenharia como Ciência da Computação, Mecânica, Eletrónica; Humanidades como Ciências Cognitivas, Psicologia e Ciências da vida, como Biologia, Biomecânica, Comunicação, Arte, Animação ou *Design* (POPPY, 2020).



Figura 40 – Poppy (POPPY, 2020)

Tabela 36 - Características Poppy (POPPY, 2020)

Características	
Tecnologia	IA (Inteligência Artificial)
Dimensão (cm)	83

A tecnologia deste equipamento é ideal para uma previsão de uma perspectiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

Para além do referido, anteriormente, o tipo de produção é DIY e licença de acesso pública ou aberta CC, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

O *iCub*, que se pode visualizar na Figura 41 e cujas características se encontram na Tabela 37, é um *robot* humano projetado para apoiar pesquisas em IA incorporada. Pode rastejar, andar e sentar-se para manipular objetos e as suas mãos foram projetadas para suportar habilidades sofisticadas de manipulação. O *iCub* é distribuído como OS seguindo as licenças GNU, cujos planos são disponibilizados numa plataforma *online*, sem qualquer restrição (ICUBE, 2016).

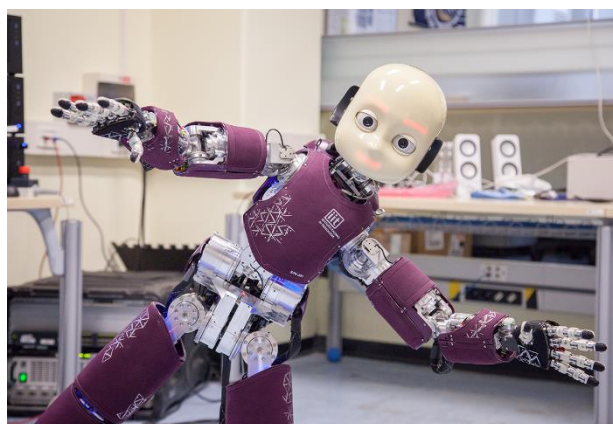


Figura 41 – iCub (ICUBE, 2016)

Tabela 37 - Características iCub (ICUBE, 2016)

Características	
Tecnologia	IA
Dimensão (cm)	104

A tecnologia deste equipamento é ideal para uma previsão de uma perspetiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O robot *Hexy*, que se pode observar na Figura 42 é um produto de OS de baixo custo e de produção comercial da *ArcBotics* que permite explorar a Robótica, a Cinemática e a Programação, no âmbito educacional com um custo de 250 \$ (aproximadamente 212,5 €) (ARCBOTICS, 2016).

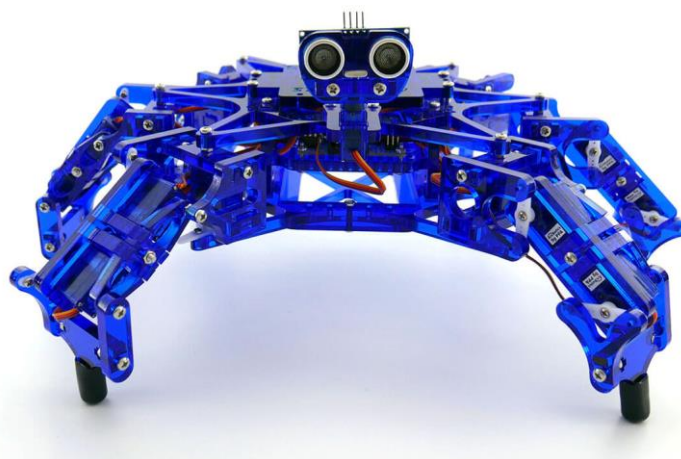


Figura 42 – Hexy (ARCBOTICS, 2016)

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspetiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

Para além do referido, anteriormente, a sua licença de acesso é pública ou aberta CC, que garante uma maior liberdade de partilha (WIKI, 2020).

O robot *uArm Metal*, que se pode observar na Figura 43, é um produto OS surgiu a partir de corte CNC e caixa de engrenagens de metal de baixa folga e pode ser aplicado em diversas áreas como a Educação ou a Automação (UFACTORY, 2021).

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspetiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

Para além do referido, anteriormente, é um produto comercial pelo facto de estar disponível no mercado através de uma empresa específica (WIKI, 2020).



Figura 43 – uArm (UFACTORY, 2021)

O *Scribing Robot*, na Figura 44, é um braço robótico do tipo DIY que ao colocar um marcador e um apagador no local apropriado, mais concretamente um braço, permite à caneta escrever num quadro branco e quando necessário apagar alterna para o apagador (HACKADAY, 2018).



Figura 44 - Scribing Robot (HACKADAY, 2018)

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspetiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *Bobble Bot*, na Figura 45 e algumas características observáveis na Tabela 38, é um *robot* do foro educacional OS, do tipo DIY, pelo facto de ser construído por quem adquire os *kits* e comercial, devido ao facto dos custos de aquisição dos *kits* de três tipos serem de 500, 750 e 1000 \$ (aproximadamente 425; 637,5; 850 €) que proporciona a possibilidade de aprofundar conhecimentos sobre Robótica assim como de Ciência da Computação e Engenharia de forma acessível e segura com combinações de simulação e *hardware* de forma a possibilitar a exploração e desenvolvimento (BOBBLE BOT, 2020).

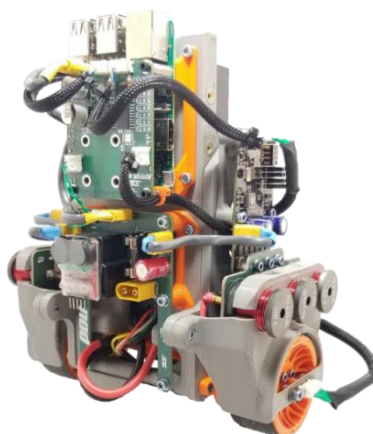


Figura 45 - Bobble Bot (HACKADAY, 2020)

Tabela 38 - Características Bobble Bot (HACKADAY, 2020)

Características	
Tecnologia	IA
Dimensão (LxPxA) (mm)	185x222x120

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspectiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *Deep RC*, na Figura 46, é um carro robótico DIY de baixo custo e de licença aberta, cujo objetivo é permitir que qualquer pessoa implemente a robótica de ponta e algoritmos de carro autónomo neste *robot* de pequena escala (HACKADAY, 2020).



Figura 46 - Deep RC (HACKADAY, 2020)

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspectiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *Otto*, na Figura 47 e com algumas características observáveis na Tabela 39, é um *robot* do tipo DIY, totalmente OS, que cria um ambiente inclusivo para idades mais jovens, como por exemplo crianças, que está disponível em *kit* completo ou de construção com custos de 49,99; 59,99; 69,99; 89,99; 300 e 400 € (OTTO, 2021).



Figura 47 – Otto (OTTO, 2021) (HACKADAY, 2019)

Tabela 39 - Características Otto (HACKADAY, 2019)

Características	
Tecnologia	IA
Dimensão (LxPxA) (mm)	110x70x120

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspectiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *hRobot*, na Figura 48, é um braço robótico OS de licença pública com finalidade industrial e educativa e apropriado para objetos leves e de pequenas dimensões e como a possibilidade de ser fabricado através de uma impressora 3D (HACKADAY, 2017).

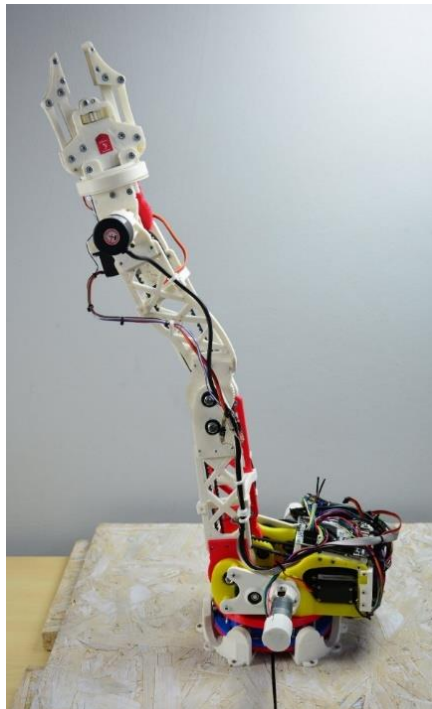


Figura 48 – hRobot (HACKADAY, 2017)

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspectiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, mais concretamente IA. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *MeArm*, na Figura 49, é um braço robótico OS, de licença pública com custo de 35 \$ (aproximadamente 29,75 €) que tem como finalidade a área educacional a baixo custo, abordando não só e apenas a robótica, mas também a STEM e outras características observáveis na Tabela 40 (HACKADAY, 2017).

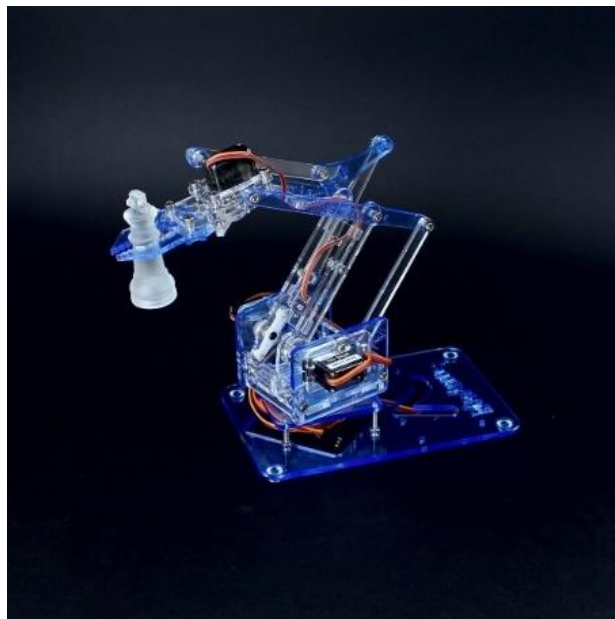


Figura 49 – MeArm (HACKADAY, 2017)

Tabela 40 - Características MeArm (HACKADAY, 2017)

Características	
Tecnologia	IA
Dimensão (LxP) (mm)	300x200

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspetiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído

um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *InspectorBot*, na Figura 50, é um *robot OS* de baixo custo e de licença pública com uma câmara que permite inspecionar qualquer superfície acima do *robot* e com outra voltada para a frente que permite conduzir o *robot* até ao local desejado. Este equipamento, aquando da sua criação, está pensado para abranger o setor imobiliário e de construção, mais concretamente na deteção de defeitos associados à construção do edifício, entre outros. (HACKADAY, 2017).



Figura 50 – InspectorBot (HACKADAY, 2017)

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspetiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *Wire Beings*, na Figura 51, é um *robot OS* de licença pública que pode ser criado com peças impressas a partir de uma impressora 3D a um custo relativamente baixo de produção, mais concretamente, entre os 30 e os 35 \$ (aproximadamente entre os 25,5 e os 29,75 €). O tipo de produção é DIY, cujo tempo de despendido é de cerca de 35 horas para as peças impressas na impressora 3D e mais 30 minutos para a montagem e programação (HACKADAY, 2016).

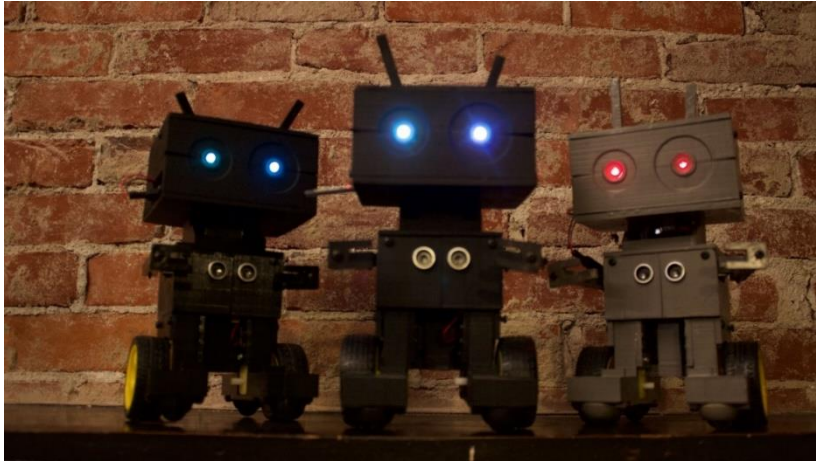


Figura 51 - Wire Beings (HACKADAY, 2016)

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspectiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

O *Quadrup3D*, na Figura 52 é um *robot OS* de baixo custo impresso, a um custo acessível que se situa à volta dos 15 \$ (aproximadamente 12,75 €), a partir de uma impressora 3D, cujo tipo de produção é DIY e de licença pública (HACKADAY, 2018).

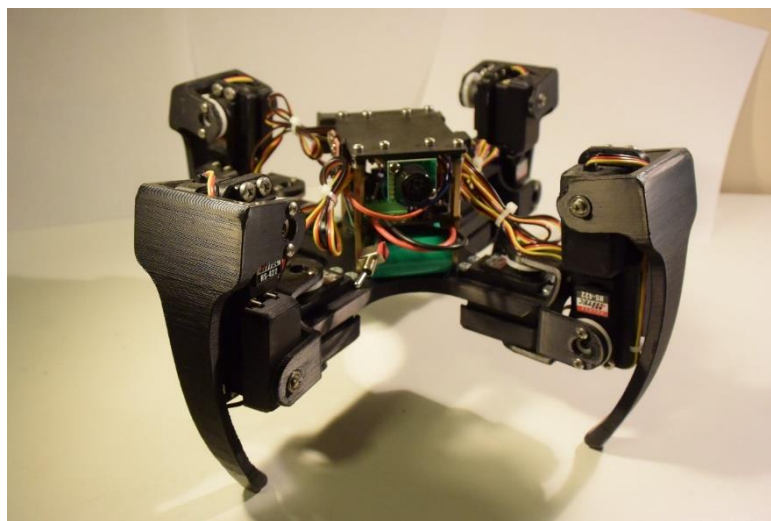


Figura 52 - Quadrup3D (HACKADAY, 2018)

A tecnologia deste equipamento, mais precisamente IA, é ideal para uma previsão de uma perspectiva mais futurista em grande parte das áreas existentes no mundo atual, sem necessidade de grande esforço.

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 1, uma vez que apenas foi possível abranger um único critério dos três definidos.

### 3.1.3 Instrumento Musical F-F-Fiddle

Um outro exemplo de um produto impresso com recurso a estes equipamentos apresentados anteriormente é o instrumento musical F-F-Fiddle, que se pode visualizar na Figura 53, que é um violino elétrico, baseado nas dimensões de um violino clássico. Todos os dados do instrumento (dimensões, formas, entre outros) podem ser encontrados num arquivo CAD, que permite a partilha global assim como ser impresso numa impressora 3D, através da tecnologia FFF e com os custos dos materiais para impressão a rondar os 250 \$ (aproximadamente 225 €) (OPENFABPDX, 2021).

O produto é autorizado através de uma licença CC, que permite a partilha e redistribuição de material em qualquer meio ou formato e adaptação, ou seja, mistura, transformação e construção sobre o material para qualquer finalidade, entre as quais comerciais sob restrições a serem cumpridas (OPENFABPDX, 2021) (CREATIVECOMMONS, 2019).

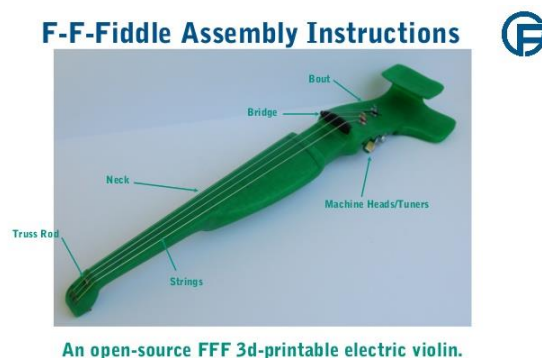


Figura 53 - Instrumento musical F-F-Fiddle (OPENFABPDX, 2021)

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 1, visto que abrange um único

tipo de material. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 2, uma vez que foi possível abranger dois dos três critérios definidos.

#### 3.1.4 Veículo desportivo Reynard

Um outro exemplo de um produto impresso com recurso a equipamentos de impressão 3D apresentados anteriormente é o veículo desportivo de corrida de OS, *Reynard* da *Andre Cars*, que podemos visualizar na Figura 54 (ANDRE, 2021).



Figura 54 - Reynard da Andre Cars (ANDRE, 2021)

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 1, visto que abrange um único tipo de material. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 2, uma vez que foi possível abranger dois dos três critérios definidos.

#### 3.1.5 Mão biónica 3D

Um outro exemplo de um produto impresso com recurso a estes equipamentos apresentados anteriormente é a mão biónica impressa a 3D, da área médica da *Hackberry*, com licença CC, que podemos visualizar na Figura 55 (HACKBERRY, 2021).



Figura 55 – Hackberry (HACKBERRY, 2021)

O peso de avaliação atribuído no parâmetro das tecnologias é de 1, uma vez que apenas está abrangida uma única tecnologia, enquanto que no parâmetro dos materiais compatíveis é atribuído também um peso de avaliação de 1, visto que abrange um único tipo de material. Na avaliação global do equipamento é atribuído um peso de avaliação de 2, uma vez que foi possível abranger dois dos três critérios definidos.

### 3.1.6 Análise dos equipamentos de baixo custo

Após a apresentação anterior dos vários equipamentos de baixo custo, as tabelas divididas pelas categorias e produtos mostram a comparação entre os mesmos, destacando-se através dos mais variados parâmetros. A Tabela 41 refere-se a Ferramentas Mecânicas, cujo produto analisado são as Impressoras 3D.

Tabela 41 - Análise Ferramentas Mecânicas (Impressoras 3D)

Equipamento	Categoria	Produto	Tipo Produção	Tecnologia	Área de trabalho (LxPxA) ou D (mm)	Material abrangido
						materiais duros (epóxi)
						elastómeros (silicone)
						materiais biológicos (hidrogéis de sementes celulares)
<i>Fab@Home</i>	Ferramenta mecânica	Impressora 3D	DIY	FDM	200x200x200	materiais alimentícios (chocolate, massa de biscoito e queijo)
						materiais de engenharia (aço inoxidável)
						materiais ativos

						(fios condutores e íman)
<i>Tinyboy</i>	Ferramenta mecânica	Impressora 3D	DIY	FDM	100x100x100	PLA
Pwdr 0.1	Ferramenta mecânica	Impressora 3D	DIY	3DP SLS	125x125x125	3DP: gesso, cerâmica SLS: ABS, PP
<i>RepRap Mendel</i>	Ferramenta mecânica	Impressora 3D	DIY	FFF	200x200x140	PLA, HDPE, ABS
Impressora 3D XYZ <i>Printing Da Vinci Mini</i> W+ Wi-Fi	Ferramenta mecânica	Impressora 3D	Comercial	FFF	150x150x150	PETG, PLA
Impressora 3D <i>Velleman Vertex Nano</i> K8600	Ferramenta mecânica	Impressora 3D	Comercial	FFF	80x80x75	ABS, PLA
Impressora 3D XYZ <i>Printing da Vinci</i>	Ferramenta mecânica	Impressora 3D	Comercial	FFF	120x120x120	PETG, PLA, Plástico reciclável resistente
Impressora 3D <i>Microdelta Rework 3D Printer</i>	Ferramenta mecânica	Impressora 3D	Comercial	FFF	Diâmetro: 150 Altura: 200	ABS, PLA, metal
<i>Ultimaker 2+ Connect</i>	Ferramenta mecânica	Impressora 3D	Comercial	FFF	223x220x205	ABS, PLA, PETG, PC, PP

A maioria dos equipamentos apresentados têm como pontos comuns o facto das tecnologias presentes serem a FDM ou a FFF, visto que apresentam compatibilidade com materiais cuja temperatura é algo limitada, como por exemplo, os materiais termoplásticos ou tipo de produção ser DIY ou Comercial. Ainda respeitante às tecnologias, verifica-se a exceção da Pwdr 0.1, que abrange duas tecnologias como a 3DP e a SLS. No que toca à área de trabalho ser mais compacta crê-se que pelo facto dos

equipamentos serem mais aproximados do tipo mais doméstico do que industrial contribua para que não sejam requeridas ou exigidas peças de maior dimensão.

A Tabela 42 refere-se a Ferramentas Mecânicas, cujo produto analisado são os Equipamentos CNC.

Tabela 42 - Análise Ferramentas Mecânicas (Equipamentos CNC)

Equipamento	Categoria	Produto	Tipo Produção	Tecnologia	Área de trabalho (LxPxA) ou (LxP) (mm)	Material abrangido
DIYLILCNC	Ferramenta mecânica	Equipamentos CNC	DIY	CNC	305x356x51	Espuma, Madeira, Acrílico, MDF, folha fina de cobre
<i>X-Carve</i>	Ferramenta mecânica	Equipamentos CNC	Comercial	CNC	750x750x65	Acrílico, Metal (Alumínio), Plástico (ABS, PVC, HDPE, PP), Madeira, Cera e espuma maquináveis
<i>Handibot</i>	Ferramenta mecânica	Equipamentos CNC	Comercial	CNC	Não Especificado	madeira, MDF, plásticos, espumas e alumínio
<i>LongMill</i>	Ferramenta mecânica	Equipamentos CNC	DIY	CNC	307x345 792x345 792x845	Metal (Alumínio e Latão), Plástico, Madeira, Cera e espuma maquináveis
<i>Multiplex CNC Router</i>	Ferramenta mecânica	Equipamentos CNC	DIY	CNC	350x600x90	Metal (Alumínio e Latão), Plástico, Madeira, Cera e

						espuma maquináveis
<i>Makesmith CNC</i>	Ferramenta mecânica	Equipamentos CNC	DIY	CNC	234x221x48	Metal (Alumínio e Latão), Plástico, Madeira, Cera e espuma maquináveis

Os equipamentos apresentados têm como pontos comuns o facto da tecnologia presente ser a CNC, visto que apresentam compatibilidade com materiais cuja temperatura é algo limitada, como por exemplo, os materiais termoplásticos assim como madeira, metais ou outro tipo de material que possa ser maquinado para além do tipo de produção ser DIY ou comercial. No que toca à área de trabalho ser mais compacta crê-se que pelo facto dos equipamentos serem mais aproximados do tipo mais doméstico do que industrial contribua para que não sejam requeridas ou exigidas peças de maior dimensão.

A Tabela 43 refere-se a Ferramentas Mecânicas, cujo produto analisado são os equipamentos do tipo Corte a *Laser* e Digitalizador 3D.

Tabela 43 - Análise Ferramentas Mecânicas (Corte a Laser e Digitalizador 3D)

Equipamento	Categoria	Produto	Tipo Produção	Tecnologia	Área de trabalho (LxP) (mm)	Material abrangido
<i>Lasersaur</i>	Ferramenta mecânica	Corte a <i>laser</i>	Comercial	<i>Laser</i>	1220x610	Madeira, Acrílico, Couro, Esponja, Canvas (telas de pintura), Feltro, Fibras de vidro e carbono, ABS, Lonas
<i>MakerScanner</i>	Ferramenta mecânica	Digitalizador 3D	DIY	<i>Laser</i>	Não Especificado	Qualquer tipo de material ou objeto

Estes equipamentos analisam um objeto e recolhem dados sobre a sua forma e seu aspeto com o intuito de a partir desses mesmos dados construir modelos digitais 3D, a partir da sua tecnologia que pode ser através de algo luminoso e que pode ser de produção comercial ou DIY. A gama de materiais abrangidos é ampla, da qual se destacam madeiras, fibras, termoplásticos entre outros e cuja área de trabalho permite abranger produtos de maior dimensão.

A Tabela 44 refere-se a produtos da categoria Ciência e Investigação.

Tabela 44 - Análise Ciência e Investigação

Equipamento	Categoria	Produto	Tipo	Tecnologia	Área de trabalho (mm)	Material abrangido
<i>Myphotonics</i>	Ciência e Investigação	Bancada de trabalho optomecânico	DIY	<i>Laser</i>	Não Especificado	Metais
NMR	Ciência e Investigação	Plataforma científica	DIY	<i>Laser</i>	Não Especificado	Não Especificado
<i>FlyPi</i>	Ciência e Investigação	Microscópio de baixo custo	DIY	Ótica	Não Especificado	Não Especificado
IoT <i>Microscope</i>	Ciência e Investigação	Microscópio de baixo custo	DIY	Ótica	Não Especificado	Não Especificado
<i>Openspritzer</i>	Ciência e Investigação	Equipamento OSHW laboratorial	DIY	Ótica	Não Especificado	Não Especificado
<i>Hyperspectral Scanner</i>	Ciência e Investigação	<i>Scanner</i> hiperespectral	DIY	Ótica	Não Especificado	Não Especificado
<i>Home-Built STM</i>	Ciência e Investigação	Microscópio de Corrente por Tunelamento	DIY	Tunelamento	Não Especificado	Não Especificado

Os equipamentos apresentados têm como pontos comuns o facto da tecnologia presente ser a Laser, visto que apresentam compatibilidade com materiais como metais devido ao facto de ser medida a expansão térmica dos metais ou tipo de produção DIY.

A Tabela 45 refere-se a produtos da categoria Robótica.

Tabela 45 - Análise Robótica

Equipamento	Categoria	Produto	Tipo Produção	Tecnologia	Dimensão (LxP) ou (LxPxA) (mm) ou Tamanho (cm)	Material abrangido
<i>Poppy</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	Tamanho (cm): 83	Não Especificado
<i>iCub</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	Tamanho (cm): 104	Não Especificado
<i>Hexy</i>	Robótica	Robot	Comercial	IA	Não Especificado	Não Especificado
<i>uArm Metal</i>	Robótica	Robot	Comercial	IA	Não Especificado	Não Especificado
<i>Scribing Robot</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	Não Especificado	Não Especificado
<i>Bobble Bot</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	185x222x120	Não Especificado
<i>Deep RC</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	Não Especificado	Não Especificado
<i>Otto</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	Não Especificado	Não Especificado
<i>hRobot</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	Não Especificado	Não Especificado
<i>MeArm</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	300x200	Não Especificado
<i>InspectorBot</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	Não Especificado	Não Especificado
<i>Wire Beings</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	Não Especificado	Não Especificado
<i>Quadrup3D</i>	Robótica	Robot	DIY	IA	Não Especificado	Não Especificado

Os equipamentos apresentados têm como pontos comuns o facto da tecnologia presente ser a IA, visto que perspectiva um futuro próximo ou tipo de produção ser DIY.

A Tabela 46 refere-se a produtos de outras categorias.

Tabela 46 - Análise Outras Categorias

Equipamento	Categoria	Produto	Tipo Produção	Tecnologia	Área de trabalho (mm)	Material abrangido
F-F-Fiddle	Instrumento musical	Violino elétrico 3D	DIY	FFF	Não Especificado	Termoplásticos
<i>Reynard</i>	Veículo Motorizado	Veículo Desportivo	DIY	3DP	Não Especificado	Termoplásticos
<i>Hackberry</i>	Medicina	Mão biónica 3D	DIY	3DP	Não Especificado	Termoplásticos

A maioria dos equipamentos apresentados têm como pontos comuns o facto das tecnologias presentes serem a 3DP ou a FFF, visto que apresentam compatibilidade com materiais cuja temperatura possuem limitações, como por exemplo, os materiais termoplásticos ou tipo de produção ser DIY.

### 3.2 Análise Crítica acerca dos Processos Tecnológicos no Projeto Aberto (*Open Design*)

Os Processos Tecnológicos no Projeto Aberto (*Open Design*) permitiram revolucionar o fabrico no sentido em que existe um maior acesso a equipamentos de impressão 3D, assim como, numa maior customização de produtos pelo facto de existir uma diversificação de inovações na impressão 3D com os avanços contínuos em tecnologia, traduzindo-se em menores despesas em *design* e protótipos, pois essas funções serão parcialmente transferidas para os escritórios particulares dos clientes e devido ao facto de existir responsabilidade na personalização por parte de quem pretende um produto à sua medida.

Para além do referido, anteriormente, os processos tecnológicos de *Open Design* permitiram a ascensão dos OS, a partir da impressão 3D com recurso a *software* CAD e

plataformas ou *sites*, como o *Thingiverse*, *Github* ou *Hackaday*, em que os *designers* utilizadores das plataformas, sob os princípios do OS, compartilham os seus projetos, assim como, os direitos desses mesmos projetos poderem ser aproveitados por outros utilizadores, proporcionando menores custos em comparação com um serviço de uma empresa especializada para além de uma economia do tempo despendido.

No critério de avaliação da tecnologia, cujo peso de avaliação atribuído varia entre 1 (abrange uma tecnologia) e 2 (abrange duas ou mais tecnologias) foi atribuída esta escala de pesos, visto que a maioria ou praticamente a totalidade dos equipamentos apresentados das diversas categorias a que pertencem e que foram apresentadas abrange uma tecnologia, à exceção da Pwdr 0.1 da categoria Ferramentas Mecânicas (Impressoras 3D), que abrange duas tecnologias como a 3DP e a SLS. No entanto, caso fossem apresentados equipamentos que abrangessem mais do que duas tecnologias, o peso de 2 permite maior facilidade na avaliação.

No critério de avaliação da área de trabalho, cujo peso de avaliação atribuído varia entre 1 (Área de trabalho quadrangular ou circular) e 2 (Área de trabalho retangular) foi atribuída esta escala de pesos, visto que em equipamentos como as impressoras 3D são impressas peças de menor dimensão e medidas das respetivas áreas de impressão apresentam uniformidade, por isso, o peso atribuído ser de 1. Nos Equipamentos CNC e nos de Corte a *Laser* e Digitalizador 3D são abrangidas peças de maior dimensão e medidas das respetivas áreas de impressão apresentam podem variar na largura, profundidade ou altura, daí o facto do peso atribuído ser de 2.

No critério de avaliação do tipo de material compatível, cujo peso de avaliação atribuído varia entre 1 (Abrange um tipo de material) e 2 (Abrange pelo menos dois ou mais tipos de material) foi atribuída esta escala de pesos, visto que em equipamentos como, por exemplo, as impressoras 3D são abrangidos apenas um único tipo de material, mais concretamente termoplásticos, por isso, o peso atribuído ser de 1. Nos Equipamentos CNC e nos de Corte a *Laser* e Digitalizador 3D além de abranger termoplásticos também apresenta compatibilidade com madeira, metais ou outro tipo de material que possa ser maquinado.

A Tabela 47 analisa a avaliação global do número de equipamentos que foram avaliados num único critério ou em dois ou até mesmo nos três apresentados, cujo peso de avaliação atribuído varia entre 1 e 3.

Tabela 47 - Análise avaliação global de equipamentos

Categoria	Número de equipamentos abrangidos por um critério (Peso 1)	Número de equipamentos abrangidos por dois critérios (Peso 2)	Número de equipamentos abrangidos por três critérios (Peso 3)	Total
Ferramentas Mecânicas (Impressoras 3D)			9	9
Ferramentas Mecânicas (Equipamentos CNC)		1	5	6
Ferramentas Mecânicas (Corte a Laser e Digitalizador 3D)		1	1	2
Ciência e Investigação	6	1		7
Robótica	13			13
Outras Categorias		3		3

Após a análise dos dados da Tabela 47, constata-se que na categoria de Ferramentas Mecânicas (Impressoras 3D), todos os equipamentos abrangem três critérios, enquanto que nas Outras categorias todos os equipamentos são abrangidos por dois critérios e na Robótica todos os equipamentos são abrangidos por um critério. Nas restantes categorias existe uma maior divisão no número de critérios abrangidos.

Um outro efeito positivo proporcionado pelos processos tecnológicos de *Open Design* é a redução da Poluição Ambiental, uma vez que à medida que a impressão 3D se torna generalizada, os projetos a desenvolver serão, no futuro, executados em programas informáticos, a partir da residência diária de quem projeta, o que leva à redução de custos e impactos ambientais do transporte, assim como reduzir a necessidade de transportes por via aérea, marítima ou terrestre, que utilizam combustíveis e causam emissões prejudiciais ao meio ambiente. Com o incremento de oferta e procura de equipamentos de impressão 3D, os custos de aquisição dos mesmos e dos materiais associados diminuirão.



# CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS



## 4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

### 4.1 CONCLUSÕES

O *Open Design* impulsiona o surgimento e desenvolvimento de equipamentos, nomeadamente, uma maior variedade de equipamentos de baixo custo. Este tipo de equipamentos é aplicado nas mais diversas áreas, das quais se destacam a STEM, entre outras.

As inovações que vão surgindo ao longo do tempo, quer ao nível tecnológico, quer ao nível produtivo proporcionaram um incremento da colaboração entre os intervenientes, seja a nível interno ou externo de uma empresa, permitindo abertura para partilha de informações acerca de um produto.

Esta partilha de informações acerca de um produto tem como intuito melhorar o mesmo com ponto de partida na modificação livre, proporcionando o desenvolvimento de novos produtos e de modelos de negócio não tão centralizados, isto é, mais abertos ou abrangentes, assim como benefícios económicos e a extensão de conceitos já estudados, através do surgimento de outros mais recentes.

O surgimento, ao longo do tempo, de processos físicos dependentes do estado físico do material permitiu um maior incremento de tecnologias e, por consequência, uma maior gama de materiais abrangidos por esses processos físicos. Nos processos digitais foram criados, ao longo do tempo, *softwares* para modelação 3D, Ciência e Investigação ou Robótica que proporcionaram o surgimento de plataformas de partilha comunitária de forma livre e aberta como o *Github*, o *Thingiverse* ou o *Hackaday*, que se tendem a estabilizar ou a crescer ao longo do tempo.

Durante o desenvolvimento, em que foi realizada a sua análise e avaliação de equipamentos de cada categoria consta-se que em categorias como Ferramentas Mecânicas (Impressoras 3D), Outras categorias e na Robótica todos os equipamentos afetos a estas categorias abrangem, de forma unânime, o número de critérios abrangidos, enquanto que nas restantes categorias existe uma maior divisão no número de critérios abrangidos.

O *Open Design* sendo uma alternativa de inovação, apesar dos entraves inerentes à conquista do seu espaço, como por exemplo, obstáculo ao segredo informativo permite viabilidade em áreas como a Ciência e Investigação ou Mecânica. Apesar das adversidades, o *Open Design* tem como benefícios uma maior facilidade de acessos a produtos que anteriormente estavam num circuito mais restrito, em que as plataformas de partilha de produtos incrementaram as interações comunitárias além do surgimento de diversas tecnologias nos equipamentos que permitem abranger diversos tipos de materiais, assim como, diversas categorias de produto de outras áreas diferentes da área científica.

Para além do referido, anteriormente, este trabalho teve como intuito compreender o ponto de situação dos equipamentos e de que forma consegue avaliar as necessidades que surjam por processos tecnológicos.

## 4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Devido ao facto de ainda não existirem relatórios e artigos científicos, em abundância, relacionados com esta realidade do projeto aberto e como trabalhos futuros para complementar este projeto, sugerem-se os seguintes estudos:

- Estudo da utilização de *softwares* de Projeto Aberto (*Open Design*) aplicados a cadeias logísticas;
- Implementação de um modelo de negócio tendo por base o *Open Design*.

# BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

5.2 OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

### 5.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

- Ackerman, J. (2009). Toward open source hardware. *U. Dayton L. Rev.*, 34(2), 183–222. Retrieved from [http://heinonlinebackup.com/hol-cgi-bin/get\\_pdf.cgi?handle=hein.journals/udlr34&section=15](http://heinonlinebackup.com/hol-cgi-bin/get_pdf.cgi?handle=hein.journals/udlr34&section=15)
- Anzalone, G. C., Zhang, C., Wijnen, B., Sanders, P. G., & Pearce, J. M. (2013). A low-cost open-source metal 3-D printer. *IEEE Access*, 1, 803–810. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2013.2293018>
- Arza, V., & Fressoli, M. (2018). Systematizing benefits of open science practices. *Information Services and Use*, 37(4), 463–474. <https://doi.org/10.3233/ISU-170861>
- Avital, M. (2011). *THE GENERATIVE BEDROCK OF OPEN DESIGN / MICHEL AVITAL / Open Design Now*. Retrieved from <http://dare.uva.nl>
- Basmer, S., Buxbaum-Conradi, S., Krenz, P., Redlich, T., Wulfsberg, J. P., & Bruhns, F. L. (2015). Open production: Chances for social sustainability in manufacturing. *Procedia CIRP*, 26, 46–51. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.102>
- Beattie, R., Hippenmeyer, S., & Pauler, F. M. (2020). SCOPES: Sparking Curiosity Through Open-Source Platforms in Education and Science. *Frontiers in Education*, 5(May), 1–8. <https://doi.org/10.3389/educ.2020.00048>
- Blair, C. M., Laciak, K. J., Andrews, R., Nosrat, A., Zelenika-Zovko, I., & Pearce, J. M. (2010). 3-D Printing of Open Source Appropriate Technologies for Self-Directed Sustainable Development. *Journal of Sustainable Development*, 3(4), 17–29.
- Bonvoisin, J. (2015). Open design platforms for open source product development: current state and requirements Sustainable Manufacturing View project OPEN! Methods and tools for community-based product development View project OPEN DESIGN PLATFORMS FOR OPEN SOURCE PRODUCT DEV. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 8(DS 80-08), 11–20. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/282651703>
- Bonvoisin, J., & Mies, R. (2018). Measuring Openness in Open Source Hardware with the Open-o-Meter. *Procedia CIRP*, 78, 388–393. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.306>
- Bonvoisin, J., Mies, R., Boujut, J.-F., & Stark, R. (2017). What is the “Source” of Open Source Hardware? *Journal of Open Hardware*, 1(1), 1–18. <https://doi.org/10.5334/joh.7>

- Bonvoisin, J., Mies, R., & Stark, R. (2016). *Theorie und Praxis in der Open-Source-Produktentwicklung Theorie und Praxis in der Open-Source-Produktentwicklung*. (December).
- Castro, H., Putnik, G., Castro, A., & Dal Bosco Fontana, R. (2019). Open design initiatives: An evaluation of CAD Open Source Software. *Procedia CIRP*, *84*, 1116–1119. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.08.001>
- Castro, H., Putnik, G., Castro, A., & Fontana, R. D. B. (2019). Could open design learn from wikipedia? *Procedia CIRP*, *84*, 1112–1115. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.07.001>
- Chesbrough, H. (2012). Open innovation: Where we've been and where we're going. *Research Technology Management*, *55*(4), 20–27. <https://doi.org/10.5437/08956308X5504085>
- Chiaroni, D., Chiesa, V., & Frattini, F. (2011). The Open Innovation Journey: How firms dynamically implement the emerging innovation management paradigm. *Technovation*, *31*(1), 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2009.08.007>
- Dahlander, L., & Gann, D. M. (2010). How open is innovation? *Research Policy*, *39*(6), 699–709. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.013>
- Forbes, H., & Schaefer, D. (2017). Social Product Development: The Democratization of Design, Manufacture and Innovation. *Procedia CIRP*, *60*, 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.029>
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, *137*, 1573–1587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
- Gadjanski, I., Čantrak, Đ., Matijević, M., & ... (2015). Stimulating innovations from university through the use of digital fabrication—case study of the SciFabLab at Faculty of Mechanical Engineering, University of .... *Proceedings of the ...*. Retrieved from [http://is.fink.rs/podaci/Milan\\_Matijevic/50/Stimulating\\_innovations\\_from\\_university\\_through\\_the\\_use\\_of\\_digital\\_fabrication\\_-\\_case\\_study.pdf](http://is.fink.rs/podaci/Milan_Matijevic/50/Stimulating_innovations_from_university_through_the_use_of_digital_fabrication_-_case_study.pdf)
- Gamalielsson, J., & Lundell, B. (2012). Long-term sustainability of open source software communities beyond a fork: A case study of LibreOffice. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, *378 AICT*, 29–47. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33442-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33442-9_3)
- Gamalielsson, J., & Lundell, B. (2014). Sustainability of Open Source software communities beyond a fork: How and why has the LibreOffice project evolved? *Journal of Systems and Software*, *89*(1), 128–145. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.11.1077>
- Gebler, M., Schoot Uiterkamp, A. J. M., & Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, *74*(C), 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.033>
- Greco, M., Locatelli, G., & Lisi, S. (2017). Open innovation in the power & energy sector: Bringing together government policies, companies' interests, and

- academic essence. *Energy Policy*, 104(February), 316–324.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.049>
- Heikkinen, I. T. S., Savin, H., Partanen, J., Seppälä, J., & Pearce, J. M. (2020). Towards national policy for open source hardware research: The case of Finland. *Technological Forecasting and Social Change*, 155(February), 119986.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119986>
- Henry W. Chesbrough, & Melissa M. Appleyard. (2007). Open Innovation and Strategy. *California Management Review*, 50(1), 57–76. Retrieved from  
[https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://scholar.google.com.pr/&httpsredir=1&article=1021&context=busadmin\\_fac](https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://scholar.google.com.pr/&httpsredir=1&article=1021&context=busadmin_fac)
- Huizingh, E. K. R. E. (2011). Open innovation: State of the art and future perspectives. *Technovation*, 31(1), 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2010.10.002>
- Ibrahimov, B. (2018). Open Innovation and application to Petroleum Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 51(30), 697–702. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.212>
- Jomier, J. (2017). Open science - towards reproducible Research. *Information Services and Use*, 37(3), 361–367. <https://doi.org/10.3233/ISU-170846>
- Kietzmann, J., Pitt, L., & Berthon, P. (2015). Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. *Business Horizons*, 58(2), 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2014.11.005>
- Kim, T., & Shin, D. H. (2016). Social platform innovation of open source hardware in South Korea. *Telematics and Informatics*, 33(1), 217–226.  
<https://doi.org/10.1016/j.tele.2015.07.004>
- Koenka, I. J., Sáiz, J., & Hauser, P. C. (2014). Instrumentino: An open-source modular Python framework for controlling Arduino based experimental instruments. *Computer Physics Communications*, 185(10), 2724–2729.  
<https://doi.org/10.1016/j.cpc.2014.06.007>
- Kyriakou, H., Nickerson, J. V., & Sabnis, G. (2017). Professional Design Component for Civil. *MIS Quarterly*, 41(1), 315–332.
- Lee, S., Park, G., Yoon, B., & Park, J. (2010). Open innovation in SMEs-An intermediated network model. *Research Policy*, 39(2), 290–300.  
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.12.009>
- Lhoste, E. F. (2020). Can do-it-yourself laboratories open up the science, technology, and innovation research system to civil society? *Technological Forecasting and Social Change*, 161(April), 120226.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120226>
- Maia Chagas, A. (2018). Haves and have nots must find a better way: The case for open scientific hardware. *PLoS Biology*, 16(9), e3000014.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000014>
- Nilsson, E. M. (2014). Opening Production: Design and Commons. *Making Futures*.  
<https://doi.org/10.7551/mitpress/9874.003.0007>

- Nuñez, I., Matute, T., Herrera, R., Keymer, J., Marzullo, T., Rudge, T., & Federici, F. (2017). Low cost and open source multi-fluorescence imaging system for teaching and research in biology and bioengineering. *PLoS ONE*, *12*(11), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187163>
- Oberloier, S., & Pearce, J. (2017). General Design Procedure for Free and Open-Source Hardware for Scientific Equipment. *Designs*, *2*(1), 2. <https://doi.org/10.3390/designs2010002>
- Pearce, J. M. (2017). Maximizing returns for public funding of medical research with open-source hardware. *Health Policy and Technology*, *6*(4), 381–382. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2017.09.001>
- Pearce, Joshua M. (2020). Economic savings for scientific free and open source technology: A review. *HardwareX*, *8*, e00139. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00139>
- Rebensdorf, A., Gergert, A., Oosthuizen, G. A., & Böhm, S. (2015). Open community manufacturing - Development Challenge as a concept for value creation for sustainable manufacturing in South Africa. *Procedia CIRP*, *26*, 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.012>
- Redlich, T., Krenz, P., Basmer, S. V., Buxbaum-Conradi, S., Wulf, S., & Wulfsberg, J. P. (2014). The impact of openness on value co-creation in production networks. *Procedia CIRP*, *16*, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.007>
- Redlich, T., Wulfsberg, J., & Bruhns, F. L. (2010). Open production - A scientific framework for co-creative product realization. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, *3*(PARTS A AND B), 321–331. <https://doi.org/10.1115/IMECE2010-37079>
- Rey, S. J. (2014). Open regional science. *Annals of Regional Science*, *52*(3), 825–837. <https://doi.org/10.1007/s00168-014-0611-7>
- Rolandsson, B., Bergquist, M., & Ljungberg, J. (2011). Open source in the firm: Opening up professional practices of software development. *Research Policy*, *40*(4), 576–587. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.11.003>
- Saebi, T., & Foss, N. J. (2015). Business models for open innovation: Matching heterogeneous open innovation strategies with business model dimensions. *European Management Journal*, *33*(3), 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2014.11.002>
- Salembier, C., Segrestin, B., Sinoir, N., Templier, J., Weil, B., & Meynard, J. M. (2020). Design of equipment for agroecology: Coupled innovation processes led by farmer-designers. *Agricultural Systems*, *183*(May), 102856. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102856>
- Schelly, C., Anzalone, G., Wijnen, B., & Pearce, J. M. (2015). Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. *Journal of Visual Languages and Computing*, *28*, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2015.01.004>

- Sui, D. (2014). Opportunities and impediments for open GIS. *Transactions in GIS*, 18(1), 1–24. <https://doi.org/10.1111/tgis.12075>
- Tooze, J., Baurley, S., Phillips, R., Smith, P., Foote, E., & Silve, S. (2014). Open design: Contributions, solutions, processes and projects. *Design Journal*, 17(4), 538–559. <https://doi.org/10.2752/175630614X14056185480069>
- Vallance, R., Kiani, S., & Nayfeh, S. (2001). Open design of manufacturing equipment. ... *on Agile, Reconfigurable Manufacturing, ...*, (January 2001), 1–12. Retrieved from [http://diyhpl.us/~bryan/papers2/open-source/Open design of manufacturing equipment.pdf](http://diyhpl.us/~bryan/papers2/open-source/Open%20design%20of%20manufacturing%20equipment.pdf)
- Von Hippel, E., & Von Krogh, G. (2003). Open source software and the “private-collective” innovation model: Issues for organization science. *Organization Science*, 14(2), 209–223+225. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1410789>
- Wang, Q., & Zeng, G. (2020). Spatial Organization of Innovation in the Oil Equipment Manufacturing Industry: Case of Dongying, China. *Chinese Geographical Science*, 30(2), 324–339. <https://doi.org/10.1007/s11769-019-1092-5>
- Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., & Pearce, J. M. (2013). Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. *Mechatronics*, 23(6), 713–726. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2013.06.002>
- Zhao, J., & Yue, X. (2020). Condition monitoring of power transmission and transformation equipment based on industrial internet of things technology. *Computer Communications*, 157(April), 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.04.008>

## 5.2 OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

ANDRE. (2021) Andre Cars

Disponível em: <https://www.andredavidbrown.com/reynard>

ARCBOTICS. (2016) Arcbotics

Disponível em: <http://arcbotics.com/products/hexy/>

<http://arcbotics.mybigcommerce.com/hexy-the-hexapod-v1-1/>

ARDUINO. (2020) Arduino

Disponível em: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

BLENDER. (2021) Blender

Disponível em: <https://www.blender.org/>

BOBBLEBOT. (2020) BobbleBot

Disponível em: <https://www.bobble-bot.com/>

BSD. (2005) BSD License

Disponível em: <http://www.linfo.org/bsdlicense.html>

BUSINESSWIRE. (2018) Businesswire

Disponível

em:

<https://www.businesswire.com/news/home/20181030005350/en>

CREATIVECOMMONS. (2019) Creativecommons

Disponível em: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

DBERARD. (2017) Dberard

Disponível em: <https://dberard.com/home-built-stm/>

DIYLILCNC. (2016) Diylilcnc

Disponível em: <http://diylilcnc.org/>

<https://web.archive.org/web/20160509180254/http://diylilcnc.org/74>

<https://web.archive.org/web/20160416201107/http://diylilcnc.org/downloads/>

FABATHOME. (2018) Fabathome

Disponível em: <https://www.fabathome.net/>

FNAC (2021) Fnac

Disponível em: <https://www.fnac.pt/mp11990346/Impressora-3D-XYZprinting-Da-Vinci-Mini-W-Wi-Fi-Branco#int=:NonApplicable|NonApplicable|NonApplicable|11990346|NonApplicable|NonApplicable>

<https://www.fnac.pt/mp13256712/Kit-Impressora-3D-Velleman-Vertex-Nano-K8600#int=:NonApplicable|NonApplicable|NonApplicable|13256712|NonApplicable|NonApplicable>

<https://www.fnac.pt/mp11334992/Impressora-3D-XYZprinting-da-Vinci-nano-Laranja#int=:NonApplicable|NonApplicable|NonApplicable|11334992|NonApplicable|NonApplicable>

FREECAD. (2021) FreeCAD

Disponível em: <https://www.freecadweb.org/>

GITHUB. (2017) Github

Disponível em: <https://github.com/nortd/lasersaur/wiki>  
<https://github.com/nortd/lasersaur/wiki/overview>

GITHUB. (2021) Github

Disponível em: <https://github.com/>  
<https://github.com/amchagas/Flypi>

GNU. (1991) Gnu

Disponível em: <https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/gpl-2.0.html>

GOODFIRMS. (2021) Goodfirms

Disponível em: <https://www.goodfirms.co/blog/best-free-open-source-3d-modeling-software>

GOOGLE OPEN SOURCE. (2020) Google Open Source

Disponível em: <https://opensource.googleblog.com/2020/08/open-source-by-numbers-at-google.html>

HACKADAY. (2014) Hackaday

Disponível em: <https://hackaday.io/projects?tag=Open%20Source%20Hardware>  
<https://hackaday.io/lists>  
<https://hackaday.io/list/6906-cnc-projects>  
<https://hackaday.io/project/2750-makesmith-cnc>

HACKADAY. (2016) Hackaday

Disponível em: <https://hackaday.io/list/11919-complex-3d-printed-projects>  
<https://hackaday.io/project/9968-3d-printed-open-source-robot-with-arduino>  
<https://hackaday.com/2016/02/18/show-me-the-data-hackaday-io-year-02/#more-191566>

HACKADAY. (2017) Hackaday

Disponível em: <https://hackaday.com/2017/02/14/hackaday-io-passes-200000-registered-users/>  
<https://hackaday.io/project/10433-sienci-mill-one-simplifying-desktop-cnc-milling>  
<https://hackaday.io/list/3096-telepresence-technology>

<https://hackaday.io/project/19096-hrobot>

<https://hackaday.io/project/181-me-arm-your-robot>

<https://hackaday.io/project/25581-inspectorbot>

HACKADAY. (2018) Hackaday

Disponível em: <https://hackaday.io/project/153194-scribing-robot>

<https://hackaday.io/project/8336-quadrap3d>

HACKADAY. (2019) Hackaday

Disponível em: <https://hackaday.io/project/11776-otto-diy>

HACKADAY. (2020) Hackaday

Disponível em: <https://hackaday.io/project/4937-diy-multiplex-plywood-cnc-router>

<https://hackaday.io/list/12057-optical-microscope-projects>

<https://hackaday.io/list/12173-advanced-microscope-projects>

<https://hackaday.io/project/4986-scanning-tunneling-microscope>

<https://hackaday.io/project/11429-internet-of-things-microscope>

<https://hackaday.io/project/5059-flypi-cheap-microscopeexperimental-setup>

<https://hackaday.io/project/164992-bobble-bot>

<https://hackaday.io/project/165216-deeprc-robot-car>

HACKBERRY. (2021) Hackberry Open Source Community

Disponível em: <http://exiii-hackberry.com/>

HANDIBOT. (2021) Handibot

Disponível em: <https://handibot.com/index.php>

<https://handibot.com/handibot.php>

<https://handibot.com/blog/wp-content/uploads/2015/04/Panaka-Open-Hardware-License-0.70p.pdf>

ICUBE. (2016) ICube

Disponível em: <https://icub.iit.it/>

<https://icub.iit.it/products/icub-robot>

INSTRUCTABLES. (2016) Instructables

Disponível em: <https://www.instructables.com/The-DIYLILCNC-Open-Source-Plans-For-a-Low-Cost-E/>

INVENTABLES. (2021) Inventables

Disponível em: <https://www.inventables.com/technologies/x-carve>

<https://www.inventables.com/technologies/x-carve/choose>

<https://www.inventables.com/technologies/x-carve/fully-loaded>

<https://www.inventables.com/technologies/x-carve/advanced-customization>

<https://www.inventables.com/categories/materials>

LASERSAUR. (2020) Lasersaur

Disponível em: <http://www.lasersaur.com/>

<https://vimeo.com/123456664>

MAKERSCANNER. (2010) Makerscanner

Disponível em: <http://www.makerscanner.com/>

MEDEVEL. (2021) Medevel

Disponível em: <https://medevel.com/17-best-3d-printing-open-source-software-of-2021/>

MESHLAB (2021) Meshlab

Disponível em: <https://www.meshlab.net/>

MYPHOTONICS. (2019) Myphotronics

Disponível em: <http://www.myphotronics.eu/>

NOTÍCIAS E TECNOLOGIA. (2019) LibreOffice

Disponível em: <https://noticiasetecnologia.com/libreoffice-6-3-4-oficial-excelente-alternativa-gratuita/>

OCTOPRINT. (2021) Octoprint

Disponível em: <https://octoprint.org/>

OPENFABPDX. (2021) Open Fab PDX

Disponível em: <https://openfabpdx.com/fffiddle/>

OPEN LABWARE. (2021) Open Labware

Disponível em: <https://open-labware.net/>

<https://open-labware.net/projects/flypi/>

<https://open-labware.net/projects/openspritzer/>

<https://open-labware.net/projects/hyperspectral-scanner/>

OPENROBOTICS. (2021) Openrobotics

Disponível em: <https://www.openrobotics.org/>

OPENSOURCE. (2017) Openscience

Disponível em: <https://openscience.org/>

OPEN SOURCE IMAGING. (2019) Open Source Imaging

Disponível em: <https://www.opensourceimaging.org/project/nmr-relaxometry-platform/>

OTTO. (2021) Otto DIY

Disponível em: <https://www.ottodiy.com/>

POPPY. (2020) Poppy Project

Disponível em: <https://www.poppy-project.org/en/>

<https://www.poppy-project.org/en/about/>

<https://www.poppy-project.org/en/robots/poppy-humanoid/>

PWDR. (2012) Pwrd

Disponível em: <http://pwdr.github.io/>

REPRAP 3D PRINTER. (2021) Reprap 3D Printer

Disponível em: <https://www.reprap-3d-printer.com/>

<https://www.reprap-3d-printer.com/product/1234568619-microdelta-rework-3d-printer>

SLIC3R. (2021) Slic3r

Disponível em: <https://slic3r.org/>

TINYBOY. (2020) Tinyboy

Disponível em: <http://www.tinyboy.net/>

<http://www.tinyboy.net/tinyboy-2/>

<http://www.tinyboy.net/be-a-maker/>

<http://www.tinyboy.net/classroom-friendly/>

<http://www.tinyboy.net/tiny-is-more/>

SIENCI LABS. (2021) Sienci Labs

Disponível em: <https://www.sienci.com>  
<https://sienci.com/product/longmill/>

THINGINVERSE. (2021) Thingiverse

Disponível em: <https://www.thingiverse.com/>  
<https://www.thingiverse.com/about>

TINKERCAD. (2021) Tinkercad

Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>

UFACTORY. (2021) Ufactory

Disponível em: <https://ufactory.cc/#/en/uarm1>  
<https://ufactory.cc/pages/uarm>  
<https://ufactory.cc/products/uarm-educational-kit>

ULTIMAKER. (2021) Ultimaker

Disponível em: <https://ultimaker.com/>  
<https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-2-plus-connect>  
<https://ultimaker.com/materials>

VELLMAN. (2021) Vellman

Disponível em: <https://www.velleman.eu/products/view?id=435978&country=us&lang=pt>

XYZPRINTING. (2020) XYZPrinting

Disponível em: <https://www.xyzprinting.com/pt-PT/product/da-vinci-mini-white>  
<https://www.xyzprinting.com/pt-PT/product/da-vinci-nano>

WIKI. (2020) Wikipedia

Disponível em: [https://opensource.design.cc/wiki/index.php/List\\_of\\_open\\_source\\_hardware\\_products](https://opensource.design.cc/wiki/index.php/List_of_open_source_hardware_products)  
<https://opensource.design.cc/wiki/index.php/Open-O-meter>  
<https://reprap.org/wiki/Mendel>

[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bZsaD8obZ1kJ:https://opensourcedesign.cc/wiki/index.php/List\\_of\\_open\\_source\\_hardware\\_products+&cd=4&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bZsaD8obZ1kJ:https://opensourcedesign.cc/wiki/index.php/List_of_open_source_hardware_products+&cd=4&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt)

WIKI. (2021) Wikipedia

Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fab@Home>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Thingiverse>

# ANEXOS

6.1 Fab@Home

6.2 Tinyboy

6.3 Pwdr 0.1

6.4 RepRap Mendel

6.5 Impressora 3D XYZ Printing Da Vinci Mini W+ Wi-Fi

6.6 Impressora 3D Velleman Vertex Nano K8600



## 6 ANEXOS

### 6.1 Fab@Home

Na Tabela 48 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico da *Fab@Home*.

Tabela 48 - Outras características técnicas Fab@Home (FABATHOME, 2018)

Características técnicas	
Velocidade (mm/s)	10
Resolução ( $\mu\text{m}$ )	25

### 6.2 Tinyboy

Na Tabela 49 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico da *Tinyboy*.

Tabela 49 - Outras características técnicas Tinyboy (TINYBOY, 2020)

Características técnicas	
Tamanho (LxPxA) (mm)	155x170x220
Espessura de filamento (mm)	1,75
Número de agulhas de impressão	1
Espessura da agulha (mm)	0,4
Espessura de camada (mm)	Maior ou igual a 0,1
Peso (kg)	2

### 6.3 Pwdr 0.1

Na Tabela 50 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico da Pwdr 0.1.

Tabela 50 - Outras características técnicas Pwdr 0.1 (PWDR, 2012)

Características técnicas	
Tamanho máximo de construção (LxPxA) (mm)	125x125x125
Tamanho mínimo do passo vertical ( $\mu\text{m}$ )	50
Velocidade (dependendo da parte impressa)	$\pm 1$ minuto por camada

### 6.4 RepRap Mendel

Na Tabela 51 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico da *RepRap Mendel*.

Tabela 51 - Outras características técnicas RepRap Mendel (WIKI, 2020)

Características técnicas	
Custo total dos materiais (€)	400
Custos anuais de manutenção (€)	Lubrificação ocasional de 5 €. Pode imprimir as suas próprias peças impressas de substituição ao custo do material.
Tamanho (LxPxA) (mm)	500x400x360
Peso (kg)	7
Custos dos materiais (€/kg)	PLA: 22; HDPE: 11; ABS: 17
Velocidade (mm/s)	725
Precisão (mm)	Diâmetro do bico 0,5; tamanho do recurso de pelo menos 2; precisão de posicionamento de 0,1; espessura da camada de 0,3

Acabamento	Fino
Volume de peças impressas para replicação (cm <sup>3</sup> )	1110

## 6.5 Impressora 3D XYZ Printing Da Vinci Mini W+ Wi-Fi

Na Tabela 52 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico da Impressora 3D XYZ *Printing Da Vinci Mini W+ Wi-Fi*.

Tabela 52 - Outras características técnicas Impressora 3D XYZ Printing Da Vinci Mini W+ Wi-Fi (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)

Características técnicas	
Espessura de filamento suportada (mm)	1,75
Espessura da camada (mm)	0,1 (min); 0,4 (máx)
Número de cabeças de impressão	1
Velocidade máxima de deslocação (mm/s)	120
<i>Positioning accuracy</i> (Precisão Média) (X,Y) (mm)	0,0125
<i>Positioning accuracy</i> (Precisão Média) (Z) (mm)	0,001
Largura da escova (mm)	0,4
Formatos de ficheiros suportados	3MF, obj, stl, xyz
Sistemas Operativos suportados	<i>Windows 10, Windows 7, Windows 8, Windows 8.1; Mac OS X 10.10 Yosemite, Mac OS X 10.11 El Capitan, Mac OS X 10.12 Sierra, Mac OS X 10.13 High Sierra</i>
Mínimo de memória RAM (GB)	8
Temperatura ambiente (°C)	20 - 35
Limite de temperaturas (armazenamento) (°C)	10 - 40
Profundidade da Unidade (mm)	335

Largura (mm)	500
Profundidade da caixa (mm)	400
Altura da caixa (mm)	470

## 6.6 Impressora 3D Velleman Vertex Nano K8600

Na Tabela 53 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico da Impressora 3D *Velleman Vertex Nano K8600*.

Tabela 53 - Outras características técnicas Impressora 3D Velleman Vertex Nano K8600 (VELLMAN, 2021) (FNAC, 2021)

Características técnicas	
Espessura de filamento suportada (mm)	1,75
Espessura da camada (mm)	0,05 (min); 0,2 (máx)
Espessura de filamento suportada (mm)	1,75
Velocidade de impressão (mm/s)	40
Velocidade de construção (mm/s)	70
Firmware	<i>Modified Open Source Marlin 3D Printer</i>
Software	<i>Repetier - Curaengine - Slic3R (Compatível com Reprap)</i>
Temperatura ambiente (°C)	25
Limite de temperaturas (armazenamento) (°C)	10 - 40

## 6.7 Impressora 3D XYZ printing da Vinci Nano

Na Tabela 54 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico da Impressora 3D XYZ *Printing Da Vinci Nano*.

Tabela 54 - Outras características técnicas Impressora 3D XYZ Printing Da Vinci Nano (XYZPRINTING, 2020) (FNAC, 2021)

Características técnicas	
Espessura de filamento suportada (mm)	1,75
Espessura da camada (mm)	0,1 (min); 0,3 (máx)
Número de cabeças de impressão	1
Velocidade máxima de deslocação (mm/s)	120
<i>Positioning accuracy</i> (Precisão Média (X,Y) (mm))	0,0125
<i>Positioning accuracy</i> (Precisão Média (Z) (mm))	0,001
Largura da escova (mm)	0,4
Formatos de ficheiros suportados	stl, xyz
Sistemas Operativos suportados	<i>Windows 10 Education x64, Windows 10 Enterprise x64, Windows 10 Home x64, Windows 10 Pro x64, Windows 7 Enterprise x64, Windows 7 Home Basic x64, Windows 7 Home Premium x64, Windows 7 Professional x64, Windows 7 Starter x64, Windows 7 Ultimate x64, Windows 7 x64, Windows 8 Enterprise x64, Windows 8 Pro, Windows 8 Pro x64, Windows 8 x64, Windows 8.1 Enterprise x64, Windows 8.1 Pro x64, Windows 8.1 x64, Linux Ubuntu 14.04, Ubuntu 16.04</i>
Mínimo de memória RAM (GB)	4
Temperatura ambiente (°C)	15 - 32
Limite de temperaturas (armazenamento) (°C)	0 - 38

Profundidade da Unidade (mm)	355
Largura (mm)	406
Profundidade da caixa (mm)	386
Altura da caixa (mm)	338

## 6.8 Impressora 3D Microdelta Rework 3D Printer

Na Tabela 55 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico da Impressora 3D *Microdelta Rework 3D Printer*.

Tabela 55 - Outras características técnicas Impressora 3D Microdelta Rework 3D Printer (REPRAP 3D PRINTER, 2021)

Características técnicas	
Espessura de filamento suportada (mm)	1,7
Tamanho (LxPxA) (mm)	285x261x530
Espessura da camada ( $\mu\text{m}$ )	100 a 350
Velocidade nominal de impressão (mm/s)	> 80
Velocidade máxima de movimento (mm/s)	> 200
Velocidade de movimento nominal (mm/s)	150
<i>Positioning accuracy</i> (Precisão Média (X,Y) ( $\mu\text{m}$ ))	100
<i>Positioning accuracy</i> (Precisão Média (Z) ( $\mu\text{m}$ ))	50
Bico (mm)	0,4
Sistema operativo compatível	<i>Windows XP, Vista, 7,8,10, Ubuntu 12+, MacOS</i>

## 6.9 Ultimaker 2+ Connect

Na Tabela 56 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico da *Ultimaker 2+ Connect*.

Tabela 56 - Outras características técnicas Ultimaker 2+ Connect (ULTIMAKER, 2021)

Características técnicas	
Espessura de filamento suportada (mm)	2,85
Tamanho (LxPxA) (mm)	342x460x580
Peso (kg)	10,3
Espessura de camada (mm)	0,25; 0,4; 0,6; 0,8
Dispositivo de impressão	Extrusão única com bico trocável e ventiladores de arrefecimento duplos
Bico de impressão (mm)	0,25; 0,4; 0,6; 0,8
Temperatura do bico (°C)	180 - 260
Software	<i>Ultimaker Cura</i> <i>Ultimaker Digital Factory</i>
Sistema Operativo	<i>MacOS, Windows, Linux</i>
Ficheiros compatíveis	<i>Ultimaker Cura: STL, OBJ, X3D, 3MF, BMP, GIF, JPG, PNG</i> Formatos de impressão: UFP

## 6.10 Poppy

Na Tabela 57 pode-se consultar as outras características de cariz mais técnico do robot *Poppy*.

Tabela 57 - Outras características técnicas Poppy (POPPY, 2020)

Características técnicas	
Peso (kg)	3,5
Sistema	<i>Odroid XU4 with Ubuntu 14.04</i>