



Universidade de Aveiro Departamento de Comunicação e Arte
2019

**Silvina Luísa
Rodrigues Félix
da Silva**

Design para fabrico aditivo
Contributos de uma mudança de paradigma
construtivo para a prática do designer



**Silvina Luísa
Rodrigues Félix
da Silva**

Design para fabrico aditivo
Contributos de uma mudança de paradigma
construtivo para a prática do designer

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutora em Design, realizada sob a orientação científica do Doutor Luís Nuno Coelho Dias, Professor Auxiliar do Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro, e da Doutora Violeta Catarina Marques Clemente, Professora Adjunta da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção de Aveiro – Norte (ESAN) da Universidade de Aveiro.

Apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da bolsa de doutoramento (SFRH/BD/115246/2016) financiada pelo Programa Operacional do Capital Humano (POCH) – Portugal 2020, participado pelo Fundo Social Europeu (FSE) e por fundos nacionais do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (MCTES).

Dedico este trabalho às mulheres da minha família com as quais
cresci, aprendi, chorei, mas principalmente ri.

À memória do meu pai Bento Gaspar.

o júri

presidente

Prof. Doutor João de Lemos Pinto
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Carlos Monteiro Martins
Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Prof. Doutor João Vasco de Oliveira Mateus
Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Leiria

Prof. Doutor Victor Fernando Santos Neto
Professor Auxiliar em Regime Laboral da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Eduardo Jorge Henriques Noronha
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Luís Nuno Coelho Dias
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço aos meus orientadores:

À Catarina Clemente, com quem tive o privilégio de partilhar esta “viagem”. Obrigada pelo apoio, pela disponibilidade, pela ajuda nas tomadas de decisão, pelas observações construtivas, pela amizade e pelas palavras de incentivo que me fizeram chegar até aqui.

Ao Nuno Dias, pela disponibilidade e entusiasmo que sempre colocou nesta temática, indispensável para a concretização deste trabalho.

Aos docentes Rogério Santos e Ricardo Torcato, um agradecimento muito especial, por terem sido os “homens do leme” dos projetos dos estudantes na UC de PDP II. O meu muito obrigada pela dedicação e disponibilidade incansável, que contribuíram seguramente para que os estudantes nunca perdessem o rumo.

Ao docente Eduardo Noronha, pela colaboração durante a intervenção realizada na UC de DP III.

A todos os estudantes da ESAN e DeCA, que, de forma motivada e empenhada, tornaram este trabalho possível.

Uma palavra de agradecimento muito especial ao designer Helder L. Santos que tão generosamente aceitou fazer parte deste projeto.

Uma palavra de apreço à direção da ESAN, na pessoa do professor Martinho Oliveira, pelas palavras de encorajamento e pelas conversas informais, que, indiretamente, fazem também parte deste trabalho.

À direção do curso de Design na UA, professor Nuno Dias, e à direção do curso de Design de Produto e Tecnologia, professor Ricardo Torcato, pelo consentimento para a realização dos trabalhos e pelo papel determinante para a concretização dos mesmos.

À direção do Programa Doutoral, que sempre se mostrou disponível para prontamente resolver as questões burocráticas.

Agradeço à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo financiamento através de uma Bolsa de Doutoramento (SFRH/BD/115246/2016).

Aos meus colegas deste Programa Doutoral, com os quais partilhei dúvidas, (in)certezas, (in)sucessos e momentos divertidos. Muito obrigada à Olinda, ao Ivo, à Miriam e especialmente à Marlene pelo apoio, pela companhia, mas principalmente por acreditar mais em mim do que eu própria.

Agradeço a preciosa colaboração dos meus colegas da ESAN, Liliana Pires, António João, Paulo Lima e, especialmente, Daniel Afonso pelas conversas mais “técnicas”. Ao Jorge, à Sara e à Aline um muito obrigada pela colaboração.

No plano pessoal, agradeço ao António Pedro, pelo trabalho, pelo apoio incondicional e mais uma vez pelas “horas extraordinárias”, que continuam a ser ainda mais extraordinárias. Aos meus filhos, Gaspar e David, agradeço os abraços, a (im)paciência, as distrações e os silêncios nem sempre concedidos. Deixo para o fim o agradecimento especial à minha mãe, que tudo tem feito para tornar os meus sonhos em realidade.

A todos muito obrigada.

palavras-chave

Design de produto; tecnologia de fabrico aditivo (*3D printing*); educação em design; prática projetual

resumo

A evolução da tecnologia aditiva de um sistema de prototipagem rápida para um processo produtivo efetivo promete libertar o design de produto dos constrangimentos impostos pelos processos de fabrico convencionais. Esta mudança de paradigma construtivo levou à consciencialização sobre o potencial dos processos aditivos e desafia os designers a explorar um espaço aberto de infinitas possibilidades através de uma nova linguagem estética e funcional.

Face à pertinência atual das tecnologias de fabrico aditivo e às possibilidades que estas têm vindo a auspiciar para o design, a investigação realizada pretendeu explorar as potencialidades únicas do fabrico aditivo no contexto do ensino e aprendizagem do design de produto. A investigação apresentada pretendeu contribuir para o domínio do conhecimento em design para fabrico aditivo, nas vertentes praxiológica, epistemológica e fenomenológica, apontando as potenciais mudanças na abordagem metodológica, no processo cognitivo e nos aspetos funcionais e estéticos dos artefactos desenhados para fabrico aditivo.

A partir de uma abordagem exploratória e de largo espectro focada no contexto do ensino superior em design, o estudo concretizou-se pela observação formal e documentada de um projeto de design específico para fabrico aditivo, que constituiu o estudo de caso relatado e analisado. A análise dos resultados permitiu apresentar um conjunto de contributos, considerações e possíveis abordagens relacionadas com o ensino do design para fabrico aditivo a desenvolver no futuro.

keywords

Product design; additive manufacturing (3D printing); design practice; design education

abstract

The evolution of additive technology from a rapid prototyping system towards an effective production process promises to release product design from the constraints imposed by conventional manufacturing processes. This shift of constructive paradigm led to the awareness of the potential of additive processes and challenges designers to explore infinite possibilities through a modern aesthetic and functional alternative.

Due to the current relevance of additive manufacturing technologies and the possibilities they offer, this research aims to explore the unique potentialities of additive manufacturing in the educational context of product design.

The present research has as an objective contributing towards the domain of knowledge in the design for additive manufacturing, in its praxiological, epistemological and phenomenological aspects, highlighting the potential changes in the methodological approach, in the cognitive process and in the functional and aesthetic aspects of the products designed for additive manufacturing.

From an exploratory and broad-spectrum approach focused on higher education in design, the study was conducted through formal and documented observation of a specific design project to additive manufacturing, which constitutes the reported and analysed case study. The analysis of the results presents a set of contributions, considerations and possible approaches related to teaching design for additive manufacturing, take into account in the future.

Índice

<i>Lista de figuras</i>	xix
<i>Lista de quadros</i>	xxvi
<i>Lista de gráficos</i>	xxviii
<i>Lista de siglas e acrónimos</i>	xxix
<i>Lista de anexos</i>	xxx

PARTE I

INTRODUÇÃO 1

Capítulo 1

Contextualização e caracterização global do estudo 3

1.1	Âmbito, motivação e objeto do estudo	4
1.2	Importância do estudo	5
1.3	Estrutura geral da tese	7

PARTE II

ENQUADRAMENTO TEÓRICO 9

Capítulo 2

Fabrico aditivo 11

2.1	Processos de fabrico aditivo e materiais	15
2.1.1	<i>Material extrusion</i>	19
2.1.2	<i>VAT Photopolymerization</i>	20
2.1.3	<i>Power Bed Fusion</i>	22
2.1.4	<i>Material Jetting</i>	23
2.1.5	<i>Binder Jetting</i>	24
2.1.6	Materiais para fabrico aditivo	26

Capítulo 3

Design para fabrico aditivo 29

3.1	Oportunidades para o design pelas potencialidades únicas do fabrico aditivo	30
3.1.1	Consolidação dos componentes e funcionalidade integrada	31
3.1.2	<i>Lattice</i> , design generativo e otimização topológica	32
3.1.3	Customização e personalização	34
3.1.4	Democratização do fabrico	36
3.1.5	Design para a cocriação	38

3.1.6	<i>Print on-demand</i>	38
3.2	Dar expressão à tecnologia através dos artefactos	38
3.2.1	Costumização e inspiração biomimética	41
3.2.2	Arquitetura e algoritmos matemáticos	42
3.2.3	<i>Multi-assemblies</i> e personalização	44
3.2.4	Funcionalidade integrada e transform design	47
3.2.5	Metamateriais e “meta-alimento”	50
3.3	Desafios para o design no fabrico aditivo	52

Capítulo 4

Estudos sobre design para fabrico aditivo

57

4.1	Ensino e aprendizagem do design para fabrico aditivo	61
4.2	Metodologias e pensamento em design para fabrico aditivo	65

Capítulo 5

Mapear o conhecimento em design para fabrico aditivo

77

5.1	Pela prática do design	77
5.2	Pelo pensamento durante o projeto	80
5.3	Pelos artefactos resultantes	82

PARTE III

METODOLOGIA

87

Capítulo 6

Pressupostos ontológicos, epistemológicos e metodológicos

89

6.1	Questões de investigação e objetivos do estudo	91
6.2	Matriz de investigação	92
6.3	Estudos prévios	94
6.4	Estudo de caso	95
6.5	Instrumentos de recolha	98
6.5.1	Entrevista semiestruturada	98
6.5.2	Cadernos de projeto	99
6.5.3	<i>Focus group</i>	99
6.5.4	Registos áudio das “críticas ao projeto” e <i>moodboard</i>	100
6.5.5	Ficha de recolha de dados	101
6.5.6	Observação participante da investigadora	101
6.6	Instrumentos de análise	102
6.6.1	<i>Logbook</i> adaptado e diagrama processual	102
6.6.2	Matriz de avaliação dos artefactos para fabrico aditivo	106

PARTE IV	
ESTUDO EMPÍRICO	113
<hr/>	
Capítulo 7	
Estudos prévios	115
7.1 Estudo prévio I: designer de produto	115
7.1.1 Caracterização do designer participante	116
7.1.2 Entrevista ao designer participante	117
7.1.3 Visualização dos cadernos e artefactos	124
7.1.4 Resultados considerados na preparação do estudo de caso	127
7.2 Estudo prévio II: Projeto em Design III	130
7.2.1 Descrição das sessões dinamizadas pela investigadora	135
7.2.2 Acompanhamento do projeto	145
7.2.3 Visualização dos cadernos	153
7.2.4 Perceção dos estudantes sobre o projeto de fabrico aditivo	158
7.2.5 Resultados considerados na preparação do estudo de caso	165
7.2.6 Reflexões da investigadora	167
Capítulo 8	
Estudo de caso: projeto de desenvolvimento de produto II	171
8.1 Descrição geral	174
8.2 Descrição dos projetos de acordo com as fases do modelo E.6 ²	188
8.2.1 Emergência e empatia	188
8.2.2 Experimentação	192
8.2.3 Elaboração	194
8.3 Projetos resultantes da intervenção	198
8.3.1 Projeto linha de mobiliário <i>Do-it-Yourself</i>	198
8.3.2 Pulseira para <i>kit</i> de ajudas técnicas	204
8.3.3 Resumo dos restantes projetos	210
Capítulo 9	
Análise dos dados recolhidos em design para fabrico aditivo	215
9.1 Pela prática do design e pelo pensamento durante o projeto	215
9.2 Análise dos artefactos resultantes do estudo de caso	240
9.3 Perceções dos estudantes	248
9.4 Reflexões da investigadora sobre o estudo de caso	261

PARTE V

CONCLUSÃO

265

Capítulo 10

Contributos para o ensino e aprendizagem do design para fabrico aditivo

267

Capítulo 11

Reflexão final

279

11.1 Propósito do estudo e principais contributos

279

11.2 Limitações

280

11.3 Linhas de investigação futura

281

11.4 Uma perspetiva pessoal

281

Referências bibliográficas

283

Lista de figuras

Capítulo 2

Figura 2.1	Processo aditivo de sobreposição de camadas (Redwood, Schoffer, Garret, 2017)	11
Figura 2.2	Esquematisação do depósito do material no processo FFF (Redwood, Schoffer, Garret, 2017)	19
Figura 2.3	Material de suporte solúvel que permite imprimir numa única operação esferas dentro de esferas	20
Figura 2.4	Objeto com insertos, produzidos numa única operação em FFF	20
Figura 2.5	Esquematisação da construção da peça através do processo SL (Redwood, Schoffer, Garret, 2017)	21
Figura 2.6	Objetos de geometrias complexas produzidos por SL	21
Figura 2.7	Esquematisação da construção da peça através do processo SLS (Redwood, Schoffer, Garret, 2017)	22
Figura 2.8	Objeto com múltiplas peças (<i>multi-assemblies</i>) impresso numa única operação por SLS	23
Figura 2.9	Esquematisação da construção da peça através do processo MJ (Redwood, Schoffer, Garret, 2017)	23
Figura 2.10	Conjunto de peças articuladas impressas numa única operação por MJ	24
Figura 2.11	Esquematisação da construção da peça através do processo BJ (Redwood, Schoffer, Garret, 2017)	25
Figura 2.12	Peça de geometria complexa produzida por 3D <i>Inkjet</i> (3DP)	25
Figura 2.13	Peça multicolorida impressa em <i>Binder Jetting</i> (http://moleculadigital.eu/markets/3d-printing/material-jetting.html)	25

Capítulo 3

Figura 3.1	Diferentes abordagens ao design de peças (Gibson <i>et al.</i> , 2015)	31
Figura 3.2	Estrutura em <i>lattice</i>	32
Figura 3.3	Capacete desenvolvido pela Hexo Helmet com uma estrutura alveolar hexagonal no interior para permitir uma melhor absorção do impacto e conforto térmico (https://3dprintingindustry.com/news/hexo-helmets-releases-custom-3d-printed-bicycle-helmets-with-optimized-impact-resistance-148332/)	32
Figura 3.4	Exemplo de estrutura intrincada (<i>lattice</i>): a) Homogénea; b) Heterogénea (Yang, Tang & Zhao, 2015)	33
Figura 3.5	Project TOST (<i>Topology Optimized Skateboard Trucks</i>): Peça de skate otimizada por <i>software</i> de otimização topológica e conseqüente diminuição do peso da peça (https://www.autodesk.com/redshift/skateboard-trucks-topology-optimization/)	33
Figura 3.6	Nos processos tradicionais, a complexidade e a customização implicam um acréscimo nos custos, no caso do fabrico aditivo a complexidade é “grátis” (Conner <i>et al.</i> , 2014)	35

Figura 3.7	O fabrico aditivo vs. a tradicional cadeia de fabrico e de distribuição (Koff & Gustafson, 2012)	37
Figura 3.9	No deserto, a impressora 3D de Michael Kaiser a imprimir peças a partir da matéria prima local, a areia e da fonte de energia abundante, o sol (Kaiser, 2011)	40
Figura 3.10	Peça impressa por sinterização solar (Kaiser, 2011)	40
Figura 3.8	Teste à impressora 3D em ambiente de microgravidade (<i>Made in space</i> ; http://spaceflight101.com/iss/made-in-space-1st-iss-3d-printer/)	40
Figura 3.11	Uma perna protética impressa, com um padrão rendilhado que explora as potencialidade do FA e reflete a identidade de quem a usa (Koff & Gustafson, 2012)	41
Figura 3.13	Teste à distribuição do material (cimento) no interior das paredes	42
Figura 3.12	Projeto <i>Milestone</i> (https://3dprintedhouse.nl/en/project-info/why-3d-concrete-printing/)	42
Figura 3.14	Micro-casa 3D <i>Print Urban Cabin</i> Foto de Sophia van den Hoek (https://houseofdus.com/project/urban-cabin/)	43
Figura 3.15	Micro-casa e o espaço envolvente Foto de DUS Architects (https://houseofdus.com/project/urban-cabin/)	43
Figura 3.16	Pormenor da superfície da micro-casa em PLA Foto de Ossip (https://houseofdus.com/project/urban-cabin/)	43
Figura 3.17	Digital Grottesque – Printing Architecture. Foto de Fabrice Dall’Anese (Dillenburger & Hansmeyer, 2013)	44
Figura 3.18	Imagem <i>render</i> de vestido (https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/sets/kinematics-dress/)	45
Figura 3.19	Interface do <i>software online</i> que permite a personalização o produto (https://www.shapeways.com/blog/archives/2365-nervous-system-releases-kinematics-jewelry-customization-apps-video.html)	45
Figura 3.20	<i>Software</i> que permite a personalização dos produtos <i>online</i> em cocriação com o cliente Foto de Assa_Ashuach_Studio (https://assastudio.com/services/co-design/)	46
Figura 3.21	Banco <i>One shot</i> articulado monomaterial impresso em SLS numa só operação (http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-jouin/ENS-jouin.html)	47
Figura 3.22	Articulações do banco <i>One Shot</i> que que permitem ter a sua funcionalidade integrada (http://www.patrickjouin.com/en/projects/patrick-jouin-id/1326-oneshot.html)	47
Figura 3.23	Candeeiro Bloom de Patrick Jouin, inspirado no movimento das plantas (https://www.3ders.org/articles/20120829-table-lamp%20from-a-3d-printer-that-blooms-like-a-flower.html)	48
Figura 3.24	Sistema de fixação das peças (https://www.3ders.org/articles/20180313-is-emerging-objects-cabin-of-curiosities-the-most-beautiful-3d-printed-building-ever.html)	49
Figura 3.25	Sistema de revestimento cerâmico	49
Figura 3.26	Peças funcionais de cerâmica texturadas Foto de Galerie Vivid (http://oliviervanherpt.com/functional-3d-printed-ceramics/)	49

Lista de figuras

Figura 3.27	Fechadura em monomaterial flexível NinjaFlex (Ion <i>et al.</i> , 2016)	50
Figura 3.28	Deslocação das células que permitem o movimento do trinco (Ion <i>et al.</i> , 2016)	50
Figura 3.29	Software 3D para definição da grelha do mecanismo funcional (https://hpi.de/baudisch/projects/metamaterial-mechanisms.html)	51
Figura 3.30	Ilustração esclarecedora sobre o processo de fabrico das peças (Soares & Forkes, 2014)	52
Figura 3.31	Peças escultórias produzidas tendo como inspiração as imagens microscópicas dos insectos (Soares & Forkes, 2014)	52
Capítulo 4		
Figura 4.1	Sistematização das metodologias em DfAM (Laverne <i>et al.</i> , 2015)	66
Figura 4.2	Proposta de metodologia de design para DpFA (Laverne <i>et al.</i> , 2015)	68
Figura 4.3	Proposta de modelo de DpFA (Kumke, Watschke & Vietor (2016)	69
Figura 4.4	Proposta de modelo de design para fabrico aditivo Zhu (2017)	71
Figura 4.5	Proposta de método Creative-DfAM (A.-L. Rias, Bouchard, Segonds & Abed, 2016)	73
Capítulo 5		
Figura 5.1	Modelo E.6 ² de Tschimmel (2014)	78
Capítulo 6		
Figura 6.1	Matriz de investigação	92
Figura 6.2	Parte do <i>logbook</i> adaptado para registo das categorias praxiológicas e epistemológicas	103
Figura 6.3	Parte do <i>logbook</i> adaptado para registo das vantagens e limitações do FA referidas pelos estudantes e docentes	104
Figura 6.4	Esquema explicativo do diagrama processual	105
Figura 6.5	<i>Focus group</i>	106
Figura 6.6	Lâmpada de Coralight de Helder L. Santos	108
Figura 6.7	Peça impressa do projeto de linha de mobiliário DIY	108
Figura 6.8	Matriz de avaliação dos artefactos de FA	112
Capítulo 7		
Figura 7.1	Desenhos do caderno de designer Helder L. Santos	125
Figura 7.2	Vista lateral do candeeiro <i>Quadra</i>	125

Figura 7.3	Candeeiro <i>Quadra</i>	125
Figura 7.4	Instruções de montagem das peças impressas com a bobine	126
Figura 7.5	Desenho iniciais do vaso <i>Gravity</i> onde é possível identificar as peça da bobine	127
Figura 7.6	Luminária <i>Coralight</i>	127
Figura 7.7	Vaso <i>Gravity</i> impresso em FFF	127
Figura 7.8	Primeira sessão de trabalho com os estudantes de Design do DeCA	135
Figura 7.9	Banco articulado monomaterial impresso em SLS (http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-jouin/ENS-jouin.html)	137
Figura 7.11	<i>Endless Chair</i> de Dirk Vander Kooij. Cadeira projetada para um processo de baixa resolução (https://www.radform.com/products/outdoor/endless-chair.html)	137
Figura 7.10	Desenho técnico do Banco <i>Oneshot</i> (https://www.materialise.com/en/mgx)	137
Figura 7.12	Impressão da cadeira através de braço robotizado (https://coolhunting.com/design/dirk/)	137
Figura 7.14	Uma mão robótica idealizada para realizar tarefas simples (https://www.3ders.org/articles/20140206-teen-uses-3d-printer-to-make-a--robohand-for-third-grade-boy.html)	138
Figura 7.15	Mão robótica em contexto de uso (https://www.dezeen.com/2013/05/29/3d-printed-robohand-helps-children-born-without-fingers/)	138
Figura 7.13	Mão robótica, projeto <i>Robohand</i> (https://www.makerbot.com/stories/medical/robohand-featured-on-npr/)	138
Figura 7.16	Slide da apresentação onde é possível ver um produto do projeto <i>Kinematic Nervous System</i>	139
Figura 7.17	Vestidos impressos resultado de uma parceria entre designers de moda e empresas prestadores de serviços de FA. Coleção de Daniel Widrig e Iris van Herpen (https://www.dezeen.com/2011/03/04/escapism-by-daniel-widrig-iris-van-herpen-and-mgx-by-materialise/)	140
Figura 7.18	<i>Ammonite</i> , sapatos desenhados por Fernando Romero apresentado na Semana de Design de Milão em 2015 (https://3dprintingindustry.com/news/5-pairs-of-3d-printed-shoes-youll-see-at-milan-design-week-2015-46689/)	140
Figura 7.19	Declaração de intenções preenchida pelos estudantes em DP III	142
Figura 7.20	Duas técnicas de geração de ideias referidas na apresentação	143
Figura 7.21	Ideias identificadas pelos estudantes durante a sessão criativa	144
Figura 7.22	Poster n.º 1 do projeto “Arrumação” do Grupo 1	147
Figura 7.23	Poster do projeto “Escrita” do Grupo 1	147
Figura 7.24	Posters n.º 1 e n.º 2 do projeto “Transformer” do Grupo 2	148
Figura 7.25	Dispensador de papel	150
Figura 7.27	Peça impressa em FFF desmontada	150
Figura 7.26	Peça impressa em FFF em contexto de uso	150
Figura 7.28	Modelos iniciais da peça em fabrico aditivo (esquerda) a montagem de peças por recorte a <i>laser</i> (direita)	151

Lista de figuras

Figura 7.30	Protótipo do sistema de montagem	151
Figura 7.29	Peça impressa em PLA através da tecnologia FFF	151
Figura 7.31	Impressora de tecnologia FFF onde foram produzidas as peças	151
Figura 7.32	Peça do Sistema Modular Organizacional Expositivo impressa em FFF	152
Figura 7.33	Cubo do Sistema Modular Organizacional Expositivo montado durante a apresentação final	152
Figura 7.34	Página do caderno de estudante do Grupo 1 com apontamentos sobre a sessão 2 dinamizada pela investigadora	153
Figura 7.35	Página do caderno de estudante do Grupo 2 com apontamentos da sessão 2 dinamizada pela investigadora na semana 3	153
Figura 7.36	Páginas iniciais do caderno onde são visíveis as medidas assinaladas	157
Figura 7.37	Páginas iniciais do caderno com uma referência à impressão 3D	157
Figura 7.38	<i>Focus group</i> realizado pela investigadora com o Grupo 1	165

Capítulo 8

Figura 8.1	Projeto The Third Thumb, designer Dani Clode (https://www.daniclodedesign.com/thethirdthumb)	176
Figura 8.2	Sofa So Good, designer Janne Kyttanena (https://www.jannekyttanen.com/shop/sofa-so-good)	176
Figura 8.3	Esquema do <i>project brief</i> proposto: desafio, inspiração e tecnologias de fabrico disponíveis	177
Figura 8.4	Impressora 3D Prusa de acesso livre para os alunos de PDP II	179
Figura 8.5	Folheto de divulgação da sessão com o designer convidado	181
Figura 8.6	Sessão de trabalho nas aulas práticas	182
Figura 8.7	Exemplo de <i>moodboard</i> apresentado na sessão n.º 2	182
Figura 8.8	Projetos desenvolvidos no âmbito da intervenção em PDP II	186
Figura 8.9	Um esquema apresentado pelo Grupo 2 para relacionar os três pressupostos do projeto	190
Figura 8.10	Lista de requisitos do produto identificados pelo Grupo 5 e respetivas métricas e unidades	191
Figura 8.11	<i>Moodboard</i> apresentado pelo Grupo 5 com vários exemplos de conceitos inspirados na Natureza	193
Figura 8.12	Desenho de conceito inspirado na Natureza	193
Figura 8.13	<i>Concept Screening</i> realizado pelo Grupo 8	194
Figura 8.14	Registo visuais realizados no caderno e modelo 3D desenhado no <i>SolidWorks</i>	195
Figura 8.15	Projeto Luz de presença – Protótipo impresso em FFF	196
Figura 8.16	Sessão de discussão do protótipo apresentado	196
Figura 8.17	Projeto Pinça 3D – Impressão 1	197
Figura 8.18	Desenho esquemático da pinça com anotações sobre possíveis modos de falha	197
Figura 8.19	Objeto intermédio de teste para discussão do projeto com os docentes	201

Figura 8.20	Maquete para comunicar modos de funcionamento, montagem do sistema e possíveis configurações	201
Figura 8.21	Render da peça com uma textura a simular a teia de aranha	202
Figura 8.22	Primeiro protótipo texturado apresentado aos docentes	202
Figura 8.23	Render após a utilização do software Meshmixer (http://www.meshmixer.com)	202
Figura 8.24	Protótipos em ABS impresso por FFF na impressora <i>Dimension</i>	203
Figura 8.26	Configuração de estante do projeto da Linha de Mobiliário desmontável	203
Figura 8.25	Protótipos em ABS impresso por FFF na impressora <i>Dimension</i>	203
Figura 8.27	Objetos intermédios de teste para acertar as medidas dos tubos de metal	203
Figura 8.28	Peça impressa em 3D pelo processo MJ	204
Figura 8.29	<i>Render</i> da estante montada	204
Figura 8.30	Desenho de conceito 1	205
Figura 8.31	Desenho de conceito 2	205
Figura 8.32	Conceito selecionada para avançar para a fase de Elaboração	206
Figura 8.33	Interação entre os estudantes e docentes na sessão n.º 7 sobre os protótipos de teste	207
Figura 8.34	Protótipo para testar as dimensões dos furos	207
Figura 8.35	Protótipos para testar modos de fecho	207
Figura 8.36	Problemas na impressão devido a anisotropia do processo FFF	207
Figura 8.37	Discussão em aula com os docentes sobre os testes realizados	209
Figura 8.38	Protótipos para teste de elasticidade	209
Figura 8.39	Artefacto final impresso em TPU	210
Figura 8.40	Render da proposta de sapato “NewTime” inspirado no bico da cegonha bico-de-sapato	211
Figura 8.41	Render da proposta de óculos para crianças	211
Figura 8.42	Render e pião impresso na CubeX	211
Figura 8.44	Render do produto	212
Figura 8.45	Protótipo de teste do produto em contexto de uso	212
Figura 8.43	Piã inspirado na planta <i>Protea</i>	212
Figura 8.46	Pinça impressa em FFF numa só operação	213
Figura 8.48	Protótipo de capacete impresso em escala reduzida pelo processo FFF	213
Figura 8.49	Render final do capacete	213
Figura 8.47	Ilustração do modo de funcionamento da peça	213
Figura 8.50	<i>Render</i> da proposta LotusCap	214
Figura 8.51	Protótipo produzido na impressora <i>Dimension</i>	214
Figura 8.52	Render da proposta Bamboo and water	214

Capítulo 9

Figura 9.1	Sistematização dos dados recolhidos através de <i>logbook</i> adaptado (Clemente, 2016)	216
Figura 9.2	Esquema explicativo do diagrama processual	218
Figura 9.3	Diagrama processual do Grupo 1	223
Figura 9.4	Diagrama processual do Grupo 2	224
Figura 9.5	Diagrama processual do Grupo 3	225
Figura 9.6	Diagrama processual do Grupo 4	226
Figura 9.7	Diagrama processual do Grupo 5	227
Figura 9.8	Diagrama processual do Grupo 6	228
Figura 9.9	Diagrama processual do Grupo 7	229
Figura 9.10	Diagrama processual do Grupo 6	230
Figura 9.11	Diagrama processual do Grupo 11	231
Figura 9.12	Diagrama processual do Grupo 12	232
Figura 9.13	Sessão para preenchimento da matriz de avaliação	241
Figura 9.14	Imagens de equipamentos e produtos resultantes dos quatro processos FFF, SLS, SL e MJ	253

Lista de quadros

Capítulo 2

Quadro 2.1	Comparação entre características principais do fabrico aditivo e dos processos de fabrico convencionais (Steenhuis & Pretorius, 2017)	16
Quadro 2.2	Processos e tecnologias de fabrico aditivo e respetivos materiais (Tofail et al., 2018)	17

Capítulo 5

Quadro 5.1	Fases do modelo E.6 ² e respetivos instrumentos/técnicas	79
Quadro 5.2	Taxonomia dos estilos cognitivos (Clemente, 2016)	81
Quadro 5.3	Sistematização dos dados recolhidos na literatura para introdução na matriz de avaliação de artefactos	85

Capítulo 6

Quadro 6.1	Instrumentos utilizados nos estudos prévios e no estudo de caso	97
Quadro 6.2	Instrumentos utilizados nos estudos prévios e no estudo de caso	98
Quadro 6.3	Primeira proposta para matriz de avaliação dos artefactos de FA com escala de Linkert 1-5	107
Quadro 6.4	Tópicos para o redesenho da matriz	110
Quadro 6.5	Atributos de um produto de FA distribuídos pelas respetivas complexidades	111

Capítulo 7

Quadro 7.1	Sistematização do estudo de caso descrito na investigação	116
Quadro 7.2	Sistematização do tópicos em função das três categorias da investigação	128
Quadro 7.3	Quadro-resumo da intervenção em Projeto em Design III	133
Quadro 7.4	Quadro-resumo das sessões dinamizadas pela investigadora e convidado externo	134
Quadro 7.5	Correspondência entre os produtos mencionados na apresentação, as oportunidades para o design a partir das potencialidades únicas do FA e o processo de fabrico do produto	136
Quadro 7.6	Equipamentos e processos de fabrico aditivo disponíveis à data no laboratório do Departamento de Comunicação e Arte	145
Quadro 7.7	Projetos identificados pelos estudantes após as fases de Emergência e Empatia	149
Quadro 7.8	Sistematização das dificuldades encontradas e tópicos considerados na preparação do estudo de caso	166

Capítulo 8

Quadro 8.1	Sistematização da intervenção em Projeto de Desenvolvimento de Produto II	173
Quadro 8.2	<i>Project brief</i> proposto pelos docentes aos estudantes de PDP II	174
Quadro 8.3	Quadro-resumo das 12 sessões de trabalho durante o semestre letivo e apresentação final (a cinza) realizada na época normal de exames	175

Lista de quadros

Quadro 8.4	Quadro dos equipamentos disponíveis nos laboratórios da ESAN	178
Quadro 8.5	Planeamento da UC apresentado pelos docentes no início do semestre e a correspondência às fases do modelo E.6 ²	180
Quadro 8.6	Apresentações realizadas ao longo do projeto	184
Quadro 8.7	Projetos desenvolvidos pelos estudantes na UC de PDP II e respetivas vantagens do fabrico aditivo que os estudantes identificaram	187
Quadro 8.8	Correspondência entre as tarefas realizadas pelos estudantes e as fases da Emergência e Empatia do modelo E.6 ²	189
Quadro 8.9	Correspondência entre as tarefas realizadas pelos estudantes e a fase da Experimentação do modelo E.6 ²	192
Quadro 8.10	Correspondência entre as tarefas realizadas pelos estudantes e a fase da Elaboração do modelo E.6 ²	195
Quadro 8.11	Análise do protótipo intermédio realizada pelos estudantes após a impressão do primeiro artefacto	208
Quadro 8.12	Análise do protótipo intermédio após teste de impressão 2	209

Capítulo 9

Quadro 9.1	Correspondência entre as fases, as tarefas realizadas pelos estudantes e os excertos durante as críticas ao projeto	219
Quadro 9.2	Estilos cognitivos identificados nos excertos dos estudantes e docentes durante as críticas ao projeto	221
Quadro 9.3	Vantagens para o design e limitações do FA referidas pelos estudantes e docentes durante o projeto	222
Quadro 9.4	Caracterização dos participantes segundo a sua área de formação e investigação	242
Quadro 9.5	Correspondência entre os atributos do produto e respetivas complexidades	242
Quadro 9.6	Artefactos resultantes do estudo de caso	243
Quadro 9.7	Valores relativos à complexidades atribuídos aos artefactos do estudo de caso	243
Quadro 9.8	Artefactos resultantes do estudo prévio II	244
Quadro 9.9	Valores das complexidades atribuídos aos artefactos do estudo prévio II	245
Quadro 9.10	Sessões destinadas ao preenchimento das fichas e número de fichas recolhidas e analisadas	248
Quadro 9.11	Quadro da correspondência entre as tarefas e as fases e subfases do modelo E.6 ²	250
Quadro 9.12	Tabela com a correspondência entre <i>mindsets</i> sugeridos aos alunos e a taxonomia adotada	251
Quadro 9.13	Fases do modelo E.6 ² percecionadas pelos estudantes durante o seu processo metodológico	256
Quadro 9.14	Estilos cognitivos percecionados pelos estudantes durante o processo	257

Lista de gráficos

Capítulo 9

Gráfico 9.1	Distribuição dos valores das complexidades atribuídos a cada artefacto (estudo de caso e estudo prévio II)	245
Gráfico 9.2	Distribuição dos valores quanto à originalidade, atratividade estética, finalidade e aproveitamento da tecnologia	247
Gráfico 9.3	Resultados das iterações identificadas pelos alunos durante as 13 sessões de duração do projeto	255
Gráfico 9.4	Vantagens para o produto identificadas pelos alunos na sessão 6 e no final do projeto	258
Gráfico 9.5	Limitações do fabrico aditivo percebidas pelos estudantes	259
Gráfico 9.6	Comparação dos resultados obtidos na fase 1 e fase 2 relativamente ao conhecimento sobre o processo de FA	260

Lista de siglas e acrónimos

3DP	<i>3D Printing</i>
ABS	Acrinonitila-Butadiedo-estireno
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
DpFA	Design para Fabrico Aditivo
DfAM	<i>Design for Additive Manufacturing</i>
FA	Fabrico Aditivo
FFF	<i>Fused Filament Fabrication</i>
MJM	<i>Material Jetting</i>
OT	Orientação Tutorial
PDP II	Projeto de Desenvolvimento de Produto II
PD III	Projeto em Design III
PET	Polietileno tereftalato
PLA	Poliácido Láctico
SL	<i>Stereolithography</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
TDP	Tecnologia e Design de Produto
TFA	Tecnologias de Fabrico Aditivo
TPU	Poliuretano Termoplástico
UC	Unidade Curricular

Lista de anexos

Anexo 1

Ficha de recolha de dados percepcionados pelos estudantes de PDP II

Anexo 2

Guião e transcrição da entrevista ao designer Helder L. Santos

Anexo 3

Guião e transcrição do *focus group* realizado aos estudantes de DP III

Anexo 4

Logbook de Clemente (2016) e *logbook* adaptado para a investigação

Anexo 5

Transcrição das sessões de PDP II

Anexo 6

Matriz de avaliação dos artefactos

Parte I
Introdução

Capítulo 1

Contextualização e caracterização global do estudo

A evolução da tecnologia aditiva de um sistema de prototipagem rápida para um processo produtivo efetivo promete libertar o design de produto das limitações e constrangimentos impostos pelos processos de fabrico convencionais. Esta mudança de paradigma construtivo levou à consciencialização sobre o potencial dos processos aditivos e desafia os designers a explorar um espaço aberto de infinitas possibilidades através de uma nova linguagem estética e funcional.

Face à pertinência atual das tecnologias de fabrico aditivo rápido e às possibilidades que estas têm vindo a auspiciar, a investigação realizada pretendeu descortinar as principais implicações deste novo paradigma construtivo na prática do design.

A partir de uma abordagem exploratória focada no contexto do ensino superior em design, esta investigação pretendeu contribuir para este domínio de estudo nas suas vertentes praxiológica, epistemológica e fenomenológica seguindo o modelo de Cross (2006) apontando as potenciais mudanças na abordagem metodológica, no processo cognitivo e nos aspetos funcionais e estéticos dos artefactos desenvolvidos.

Na vertente empírica, a investigação concretizou-se pela observação formal e documentada de um projeto de design específico para fabrico aditivo realizado por estudantes do 1.º ciclo do ensino superior, que constituiu, nessa medida, o estudo de caso relatado e analisado. Para garantir uma recolha de dados mais proficiente foram realizados dois estudos prévios. O primeiro consistiu num estudo em âmbito profissional e o segundo realizou-se em contexto académico. Com base nestes estudos foi possível compilar informação que auxiliou para o desenho do estudo de caso.

Partindo da análise documental do estudo de caso, através da auscultação dos sujeitos e através da avaliação dos artefactos desenvolvidos, o estudo pretendeu responder à seguinte questão de investigação:

Quais os contributos da introdução do fabrico aditivo como paradigma construtivo em projetos de design em contexto académico no que se refere à metodologia projetual, ao processo cognitivo individual e aos artefactos desenvolvidos?

Face à questão colocada, foram delineados para a investigação os seguintes objetivos:

1. Observar e documentar estudos prévios e tendo em conta as informações recolhidas delinear o estudo de caso.
2. Planear um estudo de caso (projeto de design para fabrico aditivo em contexto académico) e recolher dados relativos à metodologia projetual, ao processo cognitivo e aos artefactos resultantes.
3. Recolher e analisar, a partir das perceções da investigadora, os dados da atuação dos estudantes relativamente aos pressupostos e dinâmicas subjacentes à metodologia de design para fabrico aditivo.
4. Recolher e analisar, a partir das perceções da investigadora, o processo cognitivo individual e os estilos cognitivos subjacentes à metodologia de design para fabrico aditivo.
5. Recolher e analisar as perceções dos estudantes relativamente ao processo metodológico e cognitivo experienciado pelos próprios.
6. Avaliar os artefactos desenvolvidos no que concerne às potencialidades únicas resultantes do fabrico aditivo (complexidade formal, complexidade hierárquica, complexidade funcional e complexidade material).
7. Sistematizar resultados acerca dos contributos do fabrico aditivo no design nas suas vertentes praxiológica, epistemológica e fenomenológica.

1.1 Âmbito, motivação e objeto do estudo

Este estudo partiu do contexto académico no qual a investigadora está inserida. A autora colabora com uma escola superior politécnica, enquadrada numa universidade pública portuguesa, onde tem vindo a lecionar, desde 2009, diversas unidades curriculares da área científica do design. Trata-se de uma escola que nos últimos anos tem apostado estrategicamente na área do fabrico aditivo (FA). Para além do forte investimento em equipamentos de várias tecnologias de fabrico aditivo disponíveis nos diferentes laboratórios, a escola tem vindo a acolher diversos projetos de investigação na área do fabrico aditivo e dos materiais compósitos, alguns em colaboração com o tecido industrial local. Neste contexto, e de forma a dar resposta a uma necessidade latente do setor industrial, torna-se cada vez mais pertinente entender como se desenha e como se ensina/aprende a projetar para uma tecnologia de fabrico emergente e disruptiva, livre dos constrangimentos associados aos processos de fabrico tradicionais.

A temática da investigação surgiu do reconhecimento, por parte da autora, das oportunidades para o design proporcionadas pelas tecnologias de fabrico aditivo. Sendo a área do fabrico aditivo cada vez mais emergente e as suas possibilidades para a indústria cada vez mais destacadas, esta

investigação inseriu-se no contexto da educação em design, especificamente no ensino superior, de forma a entender como se podem preparar os futuros designers para uma tecnologia emergente.

Enquanto docente e designer, a investigadora sentiu-se motivada para tentar compreender os contributos da introdução do fabrico aditivo, como processo de fabrico em projetos de design ao nível da metodologia projetual, do processo cognitivo e criativo dos estudantes durante a prática projetual e compreender o que futuramente poderá ser implementado em unidades curriculares de projeto para tornar os alunos capazes de solucionar problemas de design perante um processo de fabrico emergente. A génese deste trabalho surgiu da vontade da investigadora em investigar sobre as implicações do que se considera ser um novo paradigma construtivo, no contexto do ensino e aprendizagem do design.

O âmbito deste estudo, que se concretizou através de um estudo de caso, situa-se mais concretamente na unidade curricular (UC) Projeto e Desenvolvimento de Produto II (PDP II) da licenciatura em Design de Produto e Tecnologia da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção de Aveiro – Norte (ESAN). A UC intervencionada funciona de acordo com uma estratégia de ensino/aprendizagem baseada em projetos, através da qual os estudantes trabalharam em grupo para solucionar um problema de design. Desta forma, o projeto serve como uma oportunidade de aquisição dos conhecimentos em design, no qual o estudante aperfeiçoa as suas competências de resolução de problemas e de autonomia na aprendizagem (Williams, Tech & Seepersad, 2009). Os dados recolhidos nos dois estudos prévios, o primeiro com um designer de produtos para FA e o segundo com os estudantes de Design, permitiram delinear o estudo de caso realizado em PDP II.

1.2 Importância do estudo

Ao diferir dos processos ditos convencionais na forma como o produto se materializa, através da deposição do material, camada sobre camada, a TFA permite a produção de geometrias complexas – impossíveis de reproduzir pelos processos tradicionais –, sem necessidade de montagem, facilmente personalizáveis e produzidos na proximidade, num reduzido espaço de tempo. Considerada como uma tecnologia disruptiva, pelo rompimento com as formas “tradicionais” de idealizar e fabricar (Kietzmann, Pitt & Berthon, 2015; Koff & Gustafson, 2012; Prince, 2014) e também pela apropriação de um novo espaço criativo, prevê-se que esta tecnologia venha a revolucionar não somente o tipo de artefactos produzidos (Seepersad, 2014), mas também a forma como os designers exercem a sua prática (Kietzmann *et al.*, 2015).

É neste cenário, que se antevê de oportunidades e desafios (Despeisse & Ford, 2015), que emergem importantes possibilidades de investigação acerca

das implicações da TFA na prática do design. A este respeito, Gao *et al.* (2015) identificam “a lack of a comprehensive set of design principles, manufacturing guidelines, and standardization of best practices” (p. 65). Também Thompson *et al.* (2016) referindo-se ao fabrico aditivo, apontam para o seu impacto “on the designer, the design process, and design practice” (p. 740). Para que o design tire pleno partido da TFA, é necessário explorar e clarificar a relação entre ambos, nomeadamente no design para fabrico aditivo (DpFA), que se refere a conhecimentos, ferramentas, regras, processos e metodologias, que poderão ser substancialmente diferentes dos atuais, mas que ainda não foram completamente compreendidos, uma vez que, como referem os mesmo autores, “design for additive manufacturing is still in its infancy” (p. 753). O DpFA introduz um novo paradigma onde o processo de design é menos condicionado pelo processo de fabrico, mas é agora limitado pela capacidade criativa do designer (Barclift, Simpson, Alessandra Nusiner & Miller, 2017).

O estudo apresentado pretende contribuir para reforçar a importância da utilização das tecnologias de fabrico aditivo no contexto académico e no contexto profissional.

A utilização da tecnologia de fabrico aditivo (TFA), tecnologia generalizada de *3D printing* (3DP) como um processo de fabrico de produtos funcionais, poderá trazer, para os designers, alterações ao nível da sua metodologia projetual, do seu processo cognitivo e, também, dos produtos desenvolvidos com geometrias complexas e funcionalidades integradas. A tecnologia poderá oferecer benefícios, como o acesso rápido a produtos customizados e produzidos na proximidade, entre outras. Embora, em alguns casos, o fabrico aditivo possa ser economicamente conveniente quando comparado com os processos convencionais, os produtos devem ser desenhados ou redesenhados tendo em conta as vantagens e constrangimentos da tecnologia. Assim, apesar de serem evidentes os benefícios desta tecnologia para o design, a literatura destaca as dificuldades que os designers têm em tirar partido das suas potencialidades únicas.

No sentido de compreender os processos metodológicos e cognitivos, a literatura tem chamado a atenção para questões de ordem praxiológica, epistemológica e fenomenológica, a saber:

- “How should designers adapt or change their way of working to a process where additive manufacturing is an integrated part?” (Doubrovski, Verlinden & Geraedts, 2011a, p. 2)
- Como podem os designers ultrapassar “cognitive barriers imposed by past experience and conventional fabrication techniques”? (Thompson *et al.*, 2016)
- Ao nível dos artefactos produzidos, até onde é possível “to explore large, complex design spaces?” (*idem*)

O trabalho relatado teve a intenção de contribuir para o conhecimento em design para FA, a partir da análise praxiológica, epistemológica e fenomenológica de um projeto de design para fabrico aditivo (DpFA) em contexto académico. Nas vertentes praxiológica e epistemológica, foi analisado o processo e o pensamento em design durante a prática projetual. Na vertente fenomenológica, foram analisados os artefactos resultantes do estudo de caso, no sentido de criticar como retrataram as potencialidades únicas do fabrico aditivo.

A investigação descrita trata-se de um estudo exploratório que pretendeu explorar as potencialidades únicas do FA no contexto de ensino/aprendizagem do design e apresentar contributos, considerações e possíveis abordagens para estudos a desenvolver no futuro.

1.3 Estrutura geral da tese

A tese encontra-se organizada em 5 partes:

- A **parte I – Introdução** é constituída pelo capítulo 1, que enquadra a investigação no seu contexto, descreve as razões que a motivaram e a sua relevância. Apresenta ainda os objetivos gerais, a questão de investigação na estrutura geral da tese.
- A **parte II – Enquadramento teórico** é constituída pelos capítulos 2 a 5, que apresentam o enquadramento teórico do estudo. O capítulo 2 descreve e analisa, com base na literatura, os conceitos relacionados com o fabrico aditivo, respetivos processos e materiais. O capítulo 3 introduz os conceitos de design para fabrico aditivo, destacando as oportunidades para o design através de artefactos desenhados a pensar na tecnologia de fabrico. O capítulo 4 mostra as evidências do interesse da utilização das tecnologias de fabrico aditivo no ensino do design, onde são apresentados estudos empíricos que abordam a importância das tecnologias de fabrico aditivo no contexto educacional e apresenta estudos sobre a metodologia projetual e pensamento em design para fabrico aditivo. O capítulo 5 descreve também os instrumentos que serviram de orientação ao estudo empírico nas três categorias do conhecimento em design propostas.
- A **parte III – Metodologia** é constituída pelo capítulo 6, que apresenta e justifica as opções metodológicas, incluindo o paradigma de investigação e a metodologia utilizadas, e descreve os respetivos instrumentos de recolha de dados.
- A **parte IV – Estudo empírico** descreve o trabalho empírico realizado e é constituída pelos capítulos 7 a 10. O capítulo 7 apresenta os estudos prévios realizados que auxiliaram no desenho do estudo de caso. O capítulo 8 descreve o estudo de caso realizado em contexto académico, através do qual foram recolhidos dados para dar resposta à questão de investigação, nas

três vertentes: epistemológica, praxiológica e fenomenológica. O capítulo 9 apresenta a análise dos dados obtidos pelo estudo de caso.

- A **parte V – Conclusão** é constituída pelo capítulos 10 e 11. No capítulo 10 são apresentados os contributos para o ensino e aprendizagem do design para fabrico aditivo resultantes do estudo. O capítulo 11 apresenta uma síntese das reflexões/conclusões do estudo, apontando as principais limitações e propondo desenvolvimentos futuros.

Na última secção, encontram-se as Referências bibliográficas. Todos os anexos do trabalho, apresentados em lista, são fornecidos em suporte digital.

Parte II

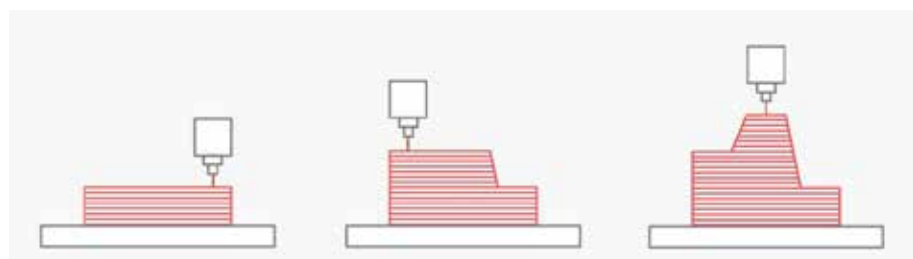
Enquadramento teórico

Capítulo 2

Fabrico aditivo

A tecnologia de fabrico aditivo ou fabrico aditivo rápido define um conjunto de processos que permitem a materialização de modelos digitais diretamente do computador através de um processo aditivo de sobreposição de material, camada sobre camada. O fabrico aditivo imprime um objeto tangível a partir de um ficheiro digital de um modelo CAD 3D que determina a forma final do objeto; de seguida, uma impressora deposita camada sobre camada (2D sobre 2D) de um material específico até obter um objeto tridimensional (Gao *et al.*, 2015). O fabrico aditivo difere dos processos tradicionais, ditos subtrativos – nos quais um bloco de material é desbastado até à forma final –, pois a peça final é obtida através do depósito do material num processo de sobreposição de camadas de baixo para cima (Figura 2.1). A máquina constrói o objeto num processo que poderá demorar horas, dependendo da tecnologia, do tamanho do ficheiro e da qualidade exigida à peça final.

Figura 2.1
Processo aditivo de sobreposição de camadas (Redwood, Schoffer & Garret, 2017)



A tecnologia de fabrico aditivo evolui dos sistemas de prototipagem rápida usados, desde a década de 80, em contexto industrial para teste e validação de forma e de conceito dos produtos desenvolvidos. No entanto, torna-se cada vez mais evidente que as novas oportunidades de design possibilitadas pelos benefícios do fabrico aditivo excedem a prototipagem rápida. Com os avanços tecnológicos e um forte investimento, um sistema de prototipagem rápida apresenta um potencial para se tornar um método de produção em série economicamente viável; particularmente para pequenos volumes de produção de produtos de consumo final (Pradel, Zhu, Bibb & Moultrie, 2018). De uma tecnologia originalmente limitada devido à fraca qualidade das peças, tem-se assistido a uma constante evolução do sistema de fabrico, particularmente ao nível dos processos de fabrico e dos materiais para impressão (Huang, Liu, Mokasdar & Hou, 2013), com sucessivos progressos ao nível da rapidez, da qualidade da superfície, das propriedades dos materiais e do

custo (Doubrovski *et al.*, 2011a). A mudança de paradigma de um sistema de prototipagem rápida para uma tecnologia de fabrico aditivo (TFA), a partir da qual são possíveis produtos finais de elevada qualidade estrutural (Thompson *et al.*, 2016) oferece ao design novas oportunidades, com potencialidades em diferentes campos (Dimitrov, Schreve & Beer, 2006), como nas áreas da saúde, aeroespacial e automóvel (Myant, Li & Wu, 2016). Com uma maior adaptabilidade, tem demonstrado ser cada vez mais uma tecnologia emergente (Prince, 2014).

Com propósitos diferentes consoante a área de intervenção, esta tecnologia tem contribuído para a construção de significativos avanços em atividades como: a arte, no desenho e fabrico de peças escultóricas construídas com base em geometrias complexas; a medicina regenerativa, com o transplante de órgãos impressos em 3D; a indústria aeroespacial; a arquitetura, na construção de maquetes tridimensionais; a moda, com peças únicas e delineadas para os corpos; a arqueologia, na reconstrução de objetos arqueológicos e de valor patrimonial; e design (Koff & Gustafson, 2012; Warnier & Verbruggen, 2014).

Em 2009, a American Society for Testing and Materials (ASTM), organização internacional que desenvolve e publica normas técnicas sobre materiais, produtos, sistemas e serviços, introduz o termo “Additive Manufacturing” para designar os processos de fabrico que têm por base uma construção aditiva (Witherell, Paul; Mahesh, Mani; Haeseong, 2017). Conhecida vulgarmente como impressão 3D (*3D printing*), a natureza emergente da tecnologia, associada a uma rápida e constante evolução, revela-se desde logo pelas diferentes terminologias para referir esta tecnologia, quer nas publicações de literatura científica da área, quer no discurso verbalizado de especialistas e não especialistas.

No presente documento, adota-se a designação de fabrico aditivo (FA) pelas razões enunciadas por Rias, Bouchard, Segonds, Vayre & Abed (2017): “from a semantic point of view, choosing 3D Printing instead of Additive Manufacturing means ignoring the European and American studies which produced the standards NFE 67-001 and ISO/ASTM 52900-15.” Para além disso, a designação FA “indicate the level of expertise regarding these technologies but more importantly the motivation, for designers, to integrate these techniques in their practice” (p. 10). Ainda assim, em publicações da área é comum o uso de termos tais como fabrico aditivo rápido, fabrico digital ou manufatura aditiva, e em inglês *additive manufacturing*, *rapid manufacturing* ou *rapid prototyping*, para designar a tecnologia.

Contrariamente a esta investigação, alguns autores optam separar a impressão 3D do termo fabrico aditivo, referindo que a impressão 3D remete para as impressoras domésticas e mais acessíveis financeiramente e o fabrico aditivo está associado à utilização de equipamentos mais sofisticados capazes de produzir produtos finais (Kudus *et al.*, 2016). Relativamente à impressão

3D (*3D printing*), a norma ISO/ASTM 52900-15 considera a sua utilização em contexto não-técnico e publica em nota:

Term often used in a non-technical context synonymously with additive manufacturing, until present times this term has in particular been associated with machines that are low end in price and/or overall capability. (p. 3)

Distinto dos processos de fabrico subtrativos e de conformação, o fabrico aditivo traz um conjunto de vantagens que o torna mais competitivo, tais como tempos de implementação no mercado, preço e qualidade. A necessidade de ferramentas para o fabrico de peças, como a produção de moldes para os processos convencionais, representa um dos fatores mais restritivos para o desenvolvimento atual de produtos (Hague, 2006). Para além dos constrangimentos inerentes às tecnologias, como por exemplo no caso da injeção de moldes, a necessidade de considerar a extração da peça condiciona o design do produto e o elevado custo do fabrico do molde pode inviabilizar a produção, caso o número de peças a produzir não justifique o investimento. A eliminação das ferramentas para produção nos processos de fabrico aditivo significa o desaparecimento de restrições e constrangimentos dos processos convencionais (Gibson, Rosen & Stucker, 2015). As restrições associadas aos processos de produção convencionais, como ter ângulos de saída, espessuras constantes da parede, linhas divisórias (Page, 2011), deixam de fazer sentido perante um processo aditivo onde os benefícios não se esgotam na produção da peça em si, mas nas “dramatic advantages that are possible in the area of design” (Hague, 2006, p. 5).

As inovações técnicas de um sistema de fabrico aditivo transformam-se em oportunidades para o design (Myant *et al.*, 2016), no entanto, para que isso aconteça é necessário estabelecer essa ligação ao design (Hopkinson, Hague & Dickens, 2005) de modo que as vantagens ao nível do fabrico se transformem em oportunidades para o design e, conseqüentemente, atributos para o produto valorizados pelo consumidor. Para se produzir o modelo físico, presentemente, é imprescindível o modelo digital, que terá de ser desenhado/modelado com a ajuda de um *software* de desenho assistido por computador (CAD).

Uma das vantagens dos processos do fabrico aditivo é a liberdade para o design (Hague, 2006). Sem as restrições de geometria dos processos convencionais, os designers tornam-se livres para idealizar e projetar qualquer geometria complexa, passível de ser produzida pela tecnologia de fabrico aditivo (TFA). Habitados a projetar para os processos convencionais, os designers necessitam de se libertar dos constrangimentos para conseguirem inventar formas quase inimagináveis (R. Hague, Campbell & Dickens, 2003). A possibilidade de fabricar objetos com geometrias complexas é uma reconhecida vantagem do fabrico aditivo e transversal a todos os processos

(Walters & Davies, 2010). Contrariamente aos processos de fabrico tradicionais, o fabrico aditivo não penaliza formas mais elaboradas, aliás oferece liberdade infinita ao design para criar um complexo labirinto de estruturas e formas numa variedade de materiais (Tofail *et al.*, 2018) sem custos adicionais (R. Hague *et al.*, 2003). O impacto da tecnologia em várias disciplinas relacionadas com o design, como o design industrial, a engenharia mecânica, a arquitetura e o design de moda, permitiram desenvolver projetos que eram inviáveis economicamente ou até mesmo impossíveis de produzir (Campbell, Bourell & Gibson, 2012).

A complexidade geométrica permitirá idealizar produtos ou peças com intrincadas estruturas internas e estruturas de malha alveolar “*lattice*” topologicamente otimizadas para aumentar a funcionalidade e o desempenho do produto (Myant *et al.*, 2016), que pode ainda ser único e customizado. A necessidade de grandes volumes de produção para rentabilizar o investimento inicial deixa de existir, e abre um leque de possibilidades para a produção de médias e pequenas séries, ou até mesmo peças únicas que podem ser customizadas de acordo com as necessidades dos consumidores (Hopkinson *et al.*, 2005).

Campbell, Bourell & Gibson (2012), a partir de uma análise visual de produtos impressos por FA, enunciam as razões por que a utilização do fabrico aditivo pode fazer a diferença: (1) a adaptação aos requisitos do consumidor, o desejo de personalizar ou customizar o produto para que este se adapte às necessidades ergonómicas do indivíduo; (2) a produção mais funcional, na qual a opção de incluir formas complexas possa significar um melhor desempenho; (3) a consolidação de peças para reduzir o número de peças a encaixar; (4) por opções estéticas aliado ao desejo de dotar o produto de atributos específicos reconhecidos como uma mais-valia pelo consumidor.

As potencialidades únicas da tecnologia de fabrico aditivo são referidas por outros autores como “design potential” (Hopkinson *et al.*, 2005), “design opportunities” (R. Hague *et al.*, 2003) ou “unique capabilities of AM” (Gebisa & Lemu, 2017; Gibson *et al.*, 2015). O foco principal do fabrico aditivo tem permanecido na customização, produzindo produtos de valor acrescentado que podem ser fabricados rapidamente (Tofail *et al.*, 2018) e recorrendo à produção de pequenas séries a preços acessíveis numa customização em massa (Myant *et al.*, 2016). A inclusão de estruturas internas complexas pode resultar numa otimização topológica da peça, em que o material é depositado apenas onde é necessário. Esta abordagem pode contribuir para uma poupança de material e, tal como a diminuição do tempo de impressão, pode ter impacto no custo final do produto. A otimização topológica pode resultar em peças mais eficientes do ponto de vista económico e ambiental. A união das partes ou dos componentes permitirá contornar a exigência de assemblar várias peças. Desta forma, consegue-se uma peça com menos superfícies de contacto, o que lhe conferirá uma maior robustez (S. Yang & Zhao, 2015).

Perante uma provável saturação das formas demasiado condicionadas pelos processos de fabrico convencionais, originando a perceção de que os objetos têm todos a mesma aparência, estas potencialidades alargam as possibilidades de uma nova linguagem estética, como por exemplo formas de aparência orgânica impossíveis de reproduzir por outros processos de fabrico industriais, adquirindo os produtos atributos apelativos esteticamente (Conner *et al.*, 2014) pela sua geometria complexa, distinta dos arquétipos convencionais.

Contudo é de referir que o fabrico aditivo não pretende substituir os métodos de fabrico subtrativo atuais, pois existem desafios tecnológicos significativos ainda por resolver (Myant *et al.*, 2016) como a reprodutibilidade e a uniformidade entre peças impressas (Tofail *et al.*, 2018). Torna-se, por isso, fundamental compreender as área de atuação e contextos para o design onde o fabrico aditivo poderá ser determinante para se conseguir um melhor produto. Para que a tecnologia encontre o seu “espaço”, é necessário mais design para fabrico aditivo, como refere Tom Page (2011, p. 9), no sentido de consciencializar empresas e consumidores para os benefícios da tecnologia:

By making more consumers aware of the possibilities of AM this may in-turn make manufactures more susceptible to moving towards Additive Technologies. If more consumer products were redesigned to illustrate the improvements, consumers will become more aware and this may spur further or faster research into using AM to manufacture end-use parts. (p. 9)

O Quadro 2.1 apresenta a comparação entre as principais características do fabrico aditivo e as das tecnologias de produção convencionais, propostas por Steenhuis & Pretorius (2017).

2.1 Processos de fabrico aditivo e materiais

Na tecnologia de fabrico aditivo, existem diferentes processos e materiais com propriedades específicas, a partir das quais se obtêm objetos distintos com características formais e funcionais diferenciadas. O conhecimento dos processos de fabrico atualmente existentes e a vasta gama de materiais disponíveis contribuem para uma escolha criteriosa, tendo em conta o que se pretende como resultado final. Cada processo de fabrico aditivo tem as suas potencialidades e limitações derivadas das propriedades dos materiais e dos equipamentos, que permitem produzir peças em metal, cerâmica, material orgânico e material polimérico. Semelhantes na forma de construção, camada sobre camada, os processos de fabrico aditivo variam no tipo de material utilizado, no endurecimento das camadas e no ligante entre cada uma (Warnier & Verbruggen, 2014). Dependendo do processo e da qualidade pretendida, o custo de um objeto impresso pode ser elevado e pouco competitivo quando

Quadro 2.1

Comparação entre as características principais do fabrico aditivo e dos processos de fabrico convencionais (Steenhuis & Pretorius, 2017)

Características	Fabrico aditivo	Processos de fabrico convencionais
Complexidade	A construção do produto é feita através da sobreposição de camadas, o que possibilita a materialização de produtos de geometria complexa, impressos numa única operação.	Os produtos complexos não poderiam ser produzidos de uma vez só, teriam de ser separados em partes para posteriormente serem montadas num produto único. Para produzir a peça final são necessárias uma quantidade de etapas.
Ferramentas de apoio ao fabrico	A tecnologia não necessita de ferramentas de apoio ao fabrico, consequentemente é relativamente barato produzir apenas uma unidade.	Muito produtos para serem impressos requerem várias ferramentas para fabricação (moldes), o que torna excessivamente dispendioso produzir apenas uma peça.
Desperdício	Como o processo construtivo é aditivo, só deposita material onde é necessário, minimizando o desperdício.	Devido à natureza subtrativa dos processos, o material removido transforma-se em desperdício.
Automatização	O processo é praticamente todo automatizado, e não tem economia de escala.	Muitos processos incluem trabalho manual e têm frequentemente economia de escala.

comparado com as técnicas de produção em grande escala. No entanto, nos últimos anos têm sido feitos largos investimentos para reduzir estes custos, acelerar a velocidade dos processos de fabrico, aumentar as áreas de impressão e encontrar novos materiais de proveniências e de propriedades distintas (Koff & Gustafson, 2012). Algumas das restrições podem ser a dimensão reduzida da área de impressão, o número limitado de materiais passíveis de serem impressos em simultâneo, o demorado tempo de impressão da peça, a dificuldade de combinar diferentes materiais na mesma peça e o custo dispendioso associado a algumas tecnologias de alta resolução. A qualidade de uma peça produzida por fabrico aditivo pode ser determinada pela existência de estruturas de suporte no processo de impressão, pelo material utilizado, pela precisão geométrica do processo, pelas propriedades mecânicas e pela qualidade do acabamento na superfície.

Em janeiro de 2012, a organização ASTM aprova uma lista de sete categorias da tecnologia de fabrico aditivo: *material extrusion* (ME), *VAT photopolymerization* (VP), *powder bed fusion* (PBF), *material jetting* (MJ), *binder jetting* (BJ), *sheet lamination* (SL) e *directed energy deposition* (DED). Das sete categorias as mais utilizadas são o *material extrusion*, *VAT photopolymerization* e *powder bed fusion* (Steenhuis & Pretorius, 2017), descritas nos pontos 3.1, 3.2 e 3.3, respetivamente. A classificação das tecnologias de fabrico aditivo apresentada neste estudo encontra-se descrita na norma ISO/ASTM 52900 – *Additive manufacturing: General principles and Terminology* (<https://www.iso.org/standard/69669.html>) de 2015.

Das sete categorias da norma ISO/ASTM 52900, os processos *direct energy deposition* e *sheet lamination* não foram descritos neste trabalho pela sua pouca utilização e pouca representatividade no design de produto. Sendo uma norma ISO, é exigida a sua atualização 5 anos após a sua publicação, o que significa que em 2020 esta norma será atualizada, e tendo em conta os investimentos financeiros e os rápidos avanços tecnológicos, são esperadas alterações nos processos associados ao fabrico aditivo. O Quadro 2.2 apresenta uma categorização dos processos de fabrico aditivo referidos na norma ISO/ASTM 52900 a partir dos autores Tofail et al. (2018).

Quadro 2.2

Processos e tecnologias de fabrico aditivo e respetivos materiais (Tofail et al., 2018)

ASTM/ tecnologias	Processos de fabrico aditivo	Breve descrição	Materiais	Vantagens	Desvantagens	Volume máximo (mm)
Material extrusion (ME)	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Fused deposition modelling</i> (FDM) · <i>Fused filament fabrication</i> (FFF) · <i>Fused layer modelling</i> (FLM) 	Consiste na extrusão de um filamento polimérico através de um bocal aquecido	Polímeros Compósitos	<ul style="list-style-type: none"> · Uso difundido; · Económico; · Escalável; · Permite construir partes totalmente funcionais 	<ul style="list-style-type: none"> · Anisotropia vertical; · Efeito de escada visível; · Desadequado para finos detalhes 	Pequeno a médio X = <900 Y = <600 Z = <900
VAT photopolymerization (VP)	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Stereo lithography</i> (SL) · <i>Digital light processing</i> (DLP) 	Consiste na solidificação de uma resina líquida fotossensível curada seletivamente através da luz	Polímeros cerâmicos	<ul style="list-style-type: none"> · Excelente grau de precisão; · Excelente acabamento superficial e nos detalhes 	<ul style="list-style-type: none"> · Limitado aos fotopolímeros; · Curto tempo de vida curto; · Fracas propriedades mecânicas; · Processo de construção lento e dispendioso 	Médio X < 2100 Y < 700 Z < 800

ASTM/ tecnologias	Processos de fabrico aditivo	Breve descrição	Materiais	Vantagens	Desvantagens	Volume máximo (mm)
Powder bed fusion (PBF)	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Selective laser sintering/melting</i> (SLS/SLM) · <i>Electron beam melting</i> (EBM) · <i>Direct metal laser sintering</i> (DMLS) 	Consiste na sinterização seletiva de determinada zonas do tabuleiro de pó através da energia térmica do <i>laser</i> , para criar um objeto sólido	<ul style="list-style-type: none"> · Metais; · Cerâmicos; · Polímeros; · Compósitos; · Híbridos 	<ul style="list-style-type: none"> · Custo relativamente baixo; · Pequena pegada ecológica; · Estrutura de suporte integrada (pó do tanque); · Vasta gama de opções de material 	<ul style="list-style-type: none"> · Processo relativamente lento; · Falta de integridade estrutural; · Limitações de tamanho; · Alta potência necessária; · Acabamento depende do tamanho inicial do pó 	Pequeno X= 200–300 Y= 200–300 Z= 200–350
Material Jetting (MJ)	<ul style="list-style-type: none"> · <i>3D inkjet technology</i> · <i>Direct ink writing</i> 	Consiste no depósito de gotículas de material de construção que são depositadas seletivamente	<ul style="list-style-type: none"> · Polímeros; · Cerâmicos; · Compósitos; · Híbridos; · Biomateriais 	<ul style="list-style-type: none"> · Alta precisão no depósito da gotícula; · Pouco desperdício; · Peças de múltiplos material; · Múltiplas cores 	<ul style="list-style-type: none"> · Requer frequentemente material de suporte; · Limitado principalmente a fotopolímeros e resinas 	Pequeno X = <300 Y = <200 Z = <200
Binder jetting (BJ)	<ul style="list-style-type: none"> · <i>3D inkjet technology</i> 	Consiste na sobreposição de camadas finas de pó intercaladas por um líquido aglutinante	<ul style="list-style-type: none"> · Metais; · Polímeros; · Cerâmicos; · Compósitos; · Híbridos 	<ul style="list-style-type: none"> · Liberdade formal para o design; · Grande volume de construção; · Velocidade rápida de impressão; · Custo relativamente baixo 	<ul style="list-style-type: none"> · Peças frágeis com propriedades mecânicas limitadas · Pode necessitar de pós-produção 	Versátil (Pequeno a grande) X =<4000 Y =<200 Z =<1000
Directed energy deposition (DED)	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Laser deposition</i> (LD) · <i>Laser engineered netshaping</i> (LENS) · <i>Electron beam melting</i> · <i>Plasma arc melting</i> 	Consiste no depósito de partículas metálicas fundidas através de um <i>laser</i>	<ul style="list-style-type: none"> · Metais; · Híbridos 	<ul style="list-style-type: none"> · Peças de alta qualidade; · Excelente para reparações de peças 	<ul style="list-style-type: none"> · Equilíbrio entre qualidade de superfície e velocidade de impressão; · Limitado a metais/híbridos baseados em metal 	Versátil X = 600–3000 Y = 500–3500 Z = 350–5000
Sheet lamination (SL)	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Laminated object manufacturing</i> (LOM) · <i>Ultrasound consolidation/ultrasound</i> · <i>Additive manufacturing</i> (UC/UAM) 	Consiste na sobreposição de folhas recortadas e coladas para formar um objeto	<ul style="list-style-type: none"> · Metais; · Polímeros; · Cerâmicos; · Híbridos 	<ul style="list-style-type: none"> · Rápida velocidade de impressão; · Custo reduzido; · Facilidade de manuseio dos materiais 	<ul style="list-style-type: none"> · Integridade das peças dependendo do adesivo utilizado; · Pode necessitar de pós-produção nos acabamentos; · Uso limitado dos material 	Pequeno X = 150–250 Y = 200 Z = 100–150

2.1.1 *Material extrusion*

Material extrusion, também conhecido como *fused filament fabrication* (FFF) ou *fused deposition modelling* (FDM), consiste na passagem de um filamento contínuo de um termoplástico através de uma cabeça extrusora, previamente aquecida (Figura 2.2). O termo FDM foi registado e protegido pela empresa *Stratasys* para um processo de sobreposição de camadas no qual um filamento termoplástico fundido é depositado, camada sobre a camada, no tabuleiro de impressão da máquina (Steenhuis & Pretorius, 2017). Por isso a adoção do nome FFF, mais genérico, mas livre.

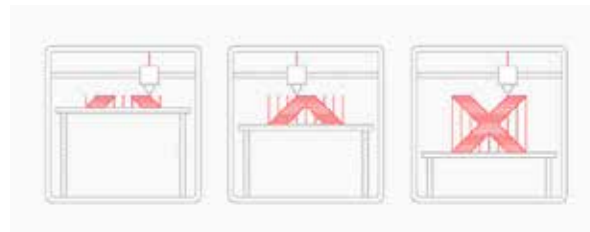


Figura 2.2

Esquematização do depósito do material no processo FFF (Redwood, Schoffer, Garret, 2017)

A termoplaticidade do filamento é uma propriedade essencial, para que os filamentos possam fundir juntos durante a impressão e, em seguida, solidificar à temperatura ambiente, após a impressão (Ngo, Kashani, Imbalzano, Nguyen & Hui, 2018) e formar um objeto tridimensional. Alguns dos termoplásticos passíveis de fabrico através deste processo são: PLA e ABS; mas também policarbonatos como PET e Nylon. Podem ainda ser processados filamentos misturados tais como compósitos à base de metal e de madeira, com o ganho de propriedades interessantes como, por exemplo, a condutividade, a resistência a temperaturas ou a condições de exterior. Devido ao material ser um termoplástico, este processo permite o fabrico de peças funcionais com uma significativa resistência mecânica; no entanto, o seu acabamento mostra um chamado “efeito de escada”, consequência da sobreposição do material.

O efeito escada próprio deste processo pode ser transformado num elemento estético do produto. No caso do processo FFF, o término das patentes e os preços competitivos levaram a uma proliferação dos equipamentos no mercado doméstico, o que tornou este processo o mais vulgarizado. As suas maiores limitações advêm das propriedades anisotrópicas (Redwood, Schoffer, Garret, 2017) devido ao processo de sobreposição de camadas, o que confere à peça uma menor resistência, sobretudo quando sujeita a forças verticais em relação ao plano da impressão, que poderão levar à separação das camadas. Dependendo do desenho da peça, o processo poderá usar material de suporte; no entanto, as estruturas de suporte podem ser otimizadas para

evitar o desperdício do material e reduzir os tempos de impressão (Myant *et al.*, 2016). O material de suporte poderá ser colocado num segundo bocal, que fará a extrusão em simultâneo com o material para a construção da peça (Gebhardt, 2012). Os equipamentos de custo mais elevado permitem uma maior definição e minimização do efeitos escada e utilizam um material de suporte solúvel (Figura 2.3), permitindo explorar formas mais complexas inseridas umas nas outras (Figura 2.4). Algumas impressoras são limitadas a determinados materiais, por isso condicionam o tipo de peça que podem produzir (rígida ou flexível), no entanto cada vez é maior a variedade de filamentos, tal como o leque de cores.



Figura 2.3
Material de suporte solúvel que permite imprimir numa única operação esferas dentro de esferas



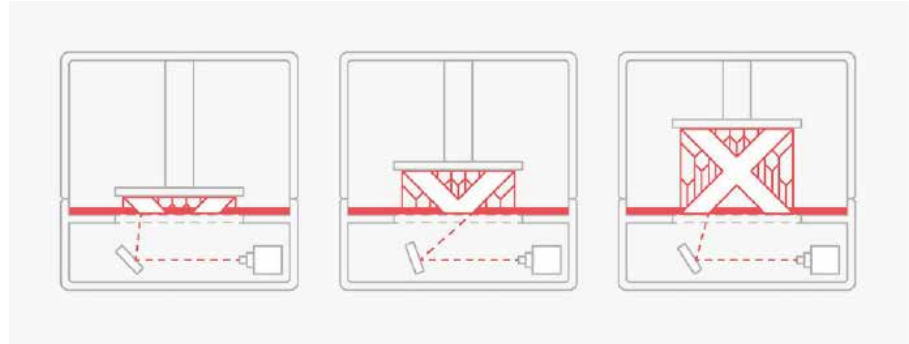
Figura 2.4
Objeto com insertos, produzidos numa única operação em FFF

2.1.2 VAT photopolymerization

Os processos mais comuns de VAT *photopolymerization* são *stereolithography* (SL) e *direct light processing* (DLP). Ambos consistem na cura de uma resina líquida fotossensível que solidifica quando exposta à luz ultravioleta (Figura 2.5). A diferença entre o SL e o DLP é o tipo de luz que se utiliza para curar a resina. No processo SL, o *laser* incide sobre a superfície da resina fotopolimerizável, que após a polimerização vai solidificando, camada sobre camada (Prince, 2014).

A resina dentro da tina que não esteve exposta à luz é removida após a impressão e reaproveitada para a utilização seguinte (Ngo *et al.*, 2018). No processo DLP, é utilizado um projetor digital que envia uma imagem de cada

Figura 2.5
Esquemática da
construção da peça através
do processo SL (Redwood,
Schoffer, Garret, 2017)



camada para a área de impressão. O processo VP, inventado nos anos 80 por Chuck Hull, foi o primeiro processo a retirar o fabrico aditivo do laboratório para a comercialização (Warnier & Verbruggen, 2014). É um processo demorado e dispendioso devido ao custo do material, no entanto consegue objetos de elevada precisão e com excelente acabamento superficial (Figura 2.6), daí a sua utilização na indústria dos moldes para o fabrico de “positivos”. A fraca resistência ao impacto e a pouca durabilidade impossibilitam o fabrico de moldes para injeção e limita o fabrico de peças funcionais. Um tratamento pós-produção, como fotocura, pode ser usado, a fim de se obter um melhor desempenho mecânico (Ngo *et al.*, 2018). As limitações estão relacionadas com a fragilidade do material fotopolimérico que utiliza e com o reduzido número de cores das resinas. A fragilidade das peças e a sua degradação expostas à luz podem ser evitadas se for dado o devido acabamento na superfície. Para além disso, as propriedades mecânicas das peças vão-se degradando ao longo do tempo devido à exposição à luz, reduzindo o tempo de vida da peça (Redwood, Schoffer, Garret, 2017).

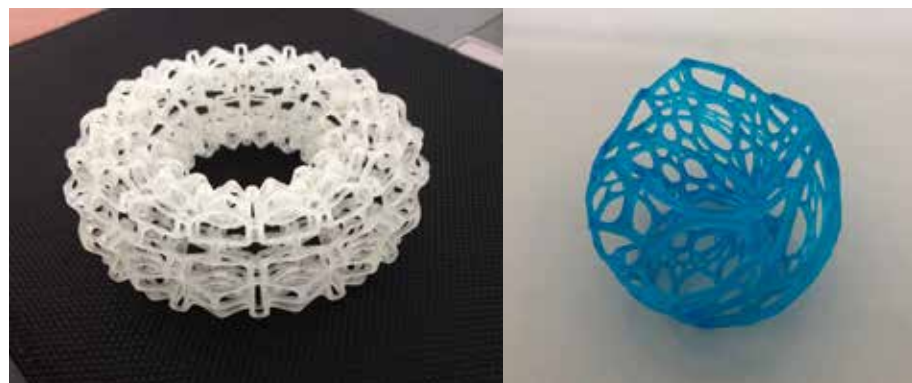


Figura 2.6
Objetos de geometrias complexas produzidos por SL

2.1.3 *Power bed fusion*

Os processos *powder bed fusion* consistem em incidir uma fonte de calor a alta temperatura numa camada fina de partículas de pó fino distribuído por uma plataforma e, através de um processo de fusão, fundir as moléculas desse material umas nas outras (Figura 2.7). Após cada passagem do *laser*, a plataforma desce e um rolo deposita uma nova camada de pó (0.08–0.12 mm de espessura) para fundir e assim, camada sobre camada, produz a peça final (Ngo *et al.*, 2018). Uma das vantagens do processo é a utilização do próprio pó como material de suporte, o que permite a sua fácil remoção após a conclusão da peça. Desta forma, o material que não é utilizado é facilmente removido da peça, normalmente por vácuo, obrigando apenas a pós-produção (Myant *et al.*, 2016). No processo *selective laser sintering* (SLS) podem ser usados vários materiais, como polímeros, metais e pós de ligas.

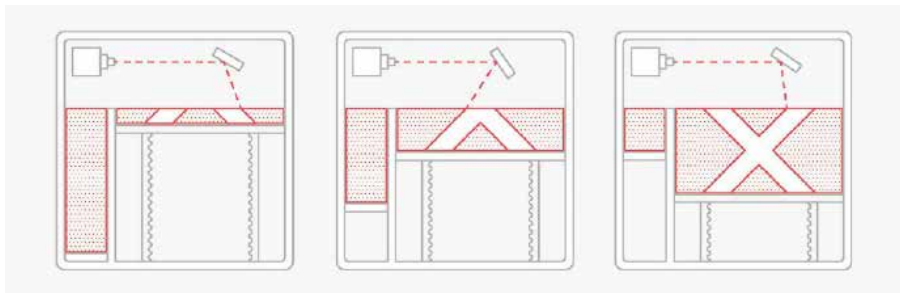


Figura 2.7
Esquematização da construção da peça através do processo SLS (Redwood, Schoffer, Garret, 2017)

Mais limitado é o *selective laser melting* (SLM), em que só podem ser usados metais. No processo poderão ser utilizados materiais como o alumínio, titânio, cobalto-cromo, em princípio qualquer metal que possa fundir, onde o fator da condutividade térmica pode ser um fator de escolha (Redwood, Schoffer, Garret, 2017). As tecnologias *direct metal laser sintering* (DMLS) e *selective laser melting* (SLM) utilizam o *laser* como fonte de calor, num processo semelhante ao SLS. Diferem do processo SLS por necessitarem de material de suporte, para além do próprio pó, devido ao risco elevado de distorção que poderá ocorrer com as altas temperaturas de fusão.

Inventado pelo professor Joe Beaman em parceria com o estudante Carl Deckard, da Universidade do Texas, na década de 80, o sistema SLS é bastante versátil e amplamente utilizado na construção de peças com geometrias complexas e com articulações integradas (Figura 2.8). Os pós para o SLS são habitualmente brancos, cinzas ou pretos, no entanto a peça poderá levar um acabamento de cor. A natureza isotrópica do processo contribui para produzir peças com as mesmas propriedades mecânicas em todos os sentidos, e por isso é o mais indicado para peças funcionais com geometrias complexas (Redwood, Schoffer, Garret, 2017).

Figura 2.8
Objeto com múltiplas
peças (*multi-assemblies*)
impresso numa única
operação por SLS

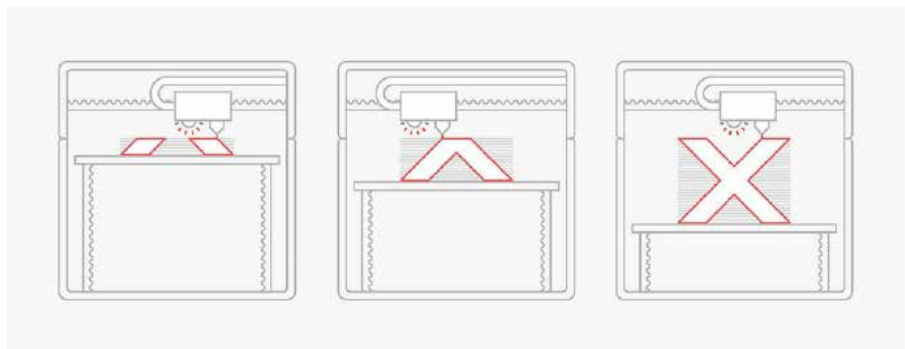


Os equipamentos relacionados com estas tecnologias estão essencialmente em contexto industrial, pois, para além de requererem competências técnicas muito específicas, permitem um elevado nível de customização e otimização topológica de peças para a indústria, que não seriam possíveis de produzir através dos processos de fabrico convencionais. A excelente qualidade de impressão é uma das principais vantagens do *power bed fusion*, no entanto, o processo é demorado e dispendioso comparativamente ao FFF e SL.

2.1.4 *Material jetting*

O processo *material jetting* (MJ) consiste no depósito de gotículas de resina por uma cabeça de impressão, semelhantes às impressoras 2D de tinta. No processo é utilizado um material fotopolimérico que solidifica num processo de cura, através de uma luz UV, camada sobre camada, até formar o objeto final (Figura 2.9) (Anthony, Evans, Rennie & Kirkby, 2011).

Figura 2.9
Esquemática da
construção da peça através
do processo MJ (Redwood,
Schoffer, Garret, 2017)



De forma a garantir uma maior precisão das peças, o material de suporte que é depositado em simultâneo com o material de construção é solúvel e facilmente removido na fase de pós-impressão (Vaezi, Chianrabutra, Mellor & Yang, 2013). A espessura de cada camada é de 0,016 mm, o que permite

superfícies com um acabamento bastante liso. Os materiais que utiliza são resinas fotopoliméricas que atingem uma baixa viscosidade quando aquecidas (30–60 °C) para conseguirem passar pelas cabeças de impressão. Uma das maiores vantagens desta tecnologia é a possibilidade de produzir peças com alta resolução e multimateriais (Myant *et al.*, 2016). Os custos são relativamente altos em comparação com o FFF e com o SL. Neste processo é possível misturar materiais para se conseguir a combinação desejada, para tornar a peça mais flexível ou mais rígida consoante a quantidade de material, permitindo assim imprimir produtos articulados (Figura 2.10), cujas componentes poderão ter diferentes propriedades mecânicas, como dureza ou plasticidade.

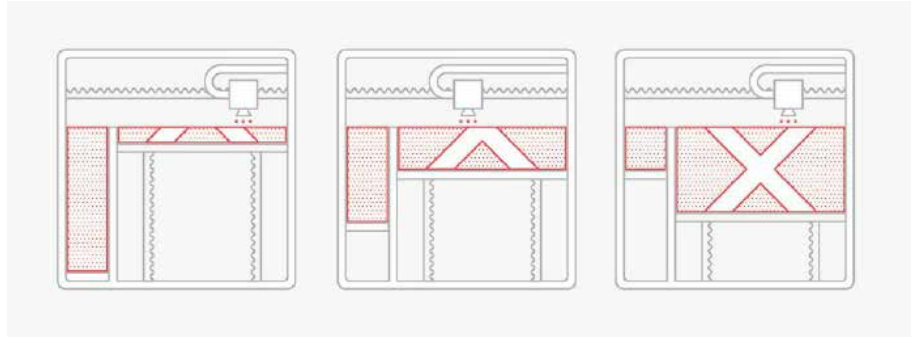


Figura 2.10
Conjunto de peças articuladas impressas numa única operação por MJ

2.1.5 *Binder jetting*

O processo *binder jetting* (BJ) foi desenvolvido por Michael Cima e Elyl Sachs na década de 90, no Massachusetts Institute of Technology (MIT). Semelhante ao SLS, também aqui uma camada fina de pó é depositada sobre a plataforma, a diferença é a união entre camadas e partículas ser feita através de uma “cola”, um material ligante depositado sobre a superfície de pó. Um procedimento que se repete até imprimir a totalidade da peça (Figura 2.11). O processo principal é o *3D Inkjet* (3DP), com a capacidade de fabricar peças de vários materiais, incluindo cerâmica (Figura 2.12), metais e polímeros com geometrias impossíveis de produzir pelos processos de fabrico convencionais (Vaezi *et al.*, 2013). Depois de concluído o fabrico, a peça é sujeita a um processo de cura para ganhar resistência.

Figura 2.11
Esquemática da
construção da peça através
do processo BJ (Redwood,
Schoffer, Garret, 2017)



Este processo pode ser dividido em duas partes: *sand binder* e *metal binder*. A tecnologia *sand binder* permite modelos completamente funcionais de cores variadas (Figura 2.13) com geometrias complexas a um custo relativamente baixo. Por permitir uma enorme variedade de cores, esta tecnologia é utilizada para peças finais e personalizadas de joalharia ou figuras humanas realistas. A tecnologia *metal binder*, tal como o nome indica, serve para produzir peças em metal. Neste processo, as peças são posteriormente sinterizadas num forno próprio, correndo o risco de encolher, algo que deverá ser acautelado na fase do design (Redwood, Schoffer, Garret, 2017).



Figura 2.12
Peça de geometria complexa produzida
por 3D Inkjet (3DP)



Figura 2.13
Peça multicolorida impressa em *binder jetting*
(<http://moleculadigital.eu/markets/3d-printing/material-jetting.html>)

O método construtivo dos diferentes processos pode ser semelhante, um conjunto de camadas sobrepostas, contudo o problema reside na multiplicidade e nas especificidades dos processos disponíveis, obrigando a considerar questões como: custo, acessibilidade à tecnologia, precisão, geometria da superfície, tamanhos das áreas de impressão, velocidade de construção e materiais que condicionaram os resultados finais.

2.1.6 Materiais para fabrico aditivo

Esta secção percorre, de forma sucinta, os tópicos relacionados com os materiais que alcançaram destaque e importância através da sua utilização no fabrico aditivo. A qualidade de uma peça produzida por FA é influenciada por um conjunto de parâmetros relacionados com o material, neste caso a matéria-prima, o processo de fabrico aditivo e o desenho de construção da peça, e por isso, tal como sugere Gebhardt (2012), “material, build process, and engineering design cannot be regarded separately but rather all of them need to be addressed” (p. 129).

Os materiais usados nos processos de fabrico aditivo dividem-se em polímeros, metais, cerâmicos e biomateriais (Doubrovski *et al.*, 2011a) e suas combinações na forma de materiais compósitos e híbridos para novas aplicações. Entre estes materiais, os polímeros têm sido largamente utilizados, provavelmente devido à sua vasta utilização nas máquinas da primeira geração, destinadas principalmente à prototipagem rápida. Contudo, atualmente é possível imprimir formas e estruturas 3D em metal, cerâmica, nanomateriais e biomateriais (Tofail *et al.*, 2018). Desde o surgimento da tecnologia que os materiais têm sido uma importante força motriz, impulsionadora do desenvolvimento. Tal como nos processos de fabrico tradicionais, a escolha do material está vinculada às restrições do processo (Doubrovski *et al.*, 2011a; Hague, 2006).

Os constrangimentos do material condicionam o design dos produtos e os seus atributos. Ao entrar em “concorrência” com os processos de fabrico convencionais, foram necessários esforços no desenvolvimento de novos materiais que melhorassem as qualidade finais do produto impresso, mas mantivessem as características necessárias do respetivo processo construtivo (Campbell *et al.*, 2012). Por isso, o investimento na área é cada vez maior para a descoberta de materiais com novas propriedades, que possam ser usados pelas tecnologias na fases de construção e na pós-produção e que reforcem as oportunidades para o design. A compreensão das propriedades e dos comportamentos dos materiais em cada processo pode ser decisiva para um projeto de design para fabrico aditivo, por isso “understanding material to material interactions and their processability are also key issues to successful part fabrication” (Tofail *et al.*, 2018, p. 35). Os polímeros terão sido dos primeiros materiais no fabrico aditivo, no entanto, a lista de materiais passíveis de serem “impressos” tem crescido nos últimos anos, desde os mais comuns, como a cerâmica, o cimento ou o chocolate, aos mais arrojados e inovadores, como o tecido humano (Koff & Gustafson, 2012) ou o pó de inseto, como estratégia de sustentabilidade alimentar.

Comportamento anisotrópico

O comportamento anisotrópico é um desafio na tecnologia de fabrico aditivo, consequência do processo construtivo. Quando a peça é construída camada sobre camada, as propriedades da peça paralelas à área de construção diferem em relação às perpendiculares. Neste caso, diz-se que a peça possui propriedades anisotrópicas. O comportamento anisotrópico resulta em diferentes comportamentos mecânicos da peça nos vários eixos de construção, o que significa que as propriedades mecânicas variam consoante a direção (Ngo *et al.*, 2018). Embora o grau de anisotropia dependa principalmente do processo de FA, o posicionamento e a orientação da peça na área de impressão e o seu design também serão determinantes e terão um impacto significativo na estabilidade da peça (Gebhardt, 2012). O processo FFF apresenta uma maior fragilidade no sentido da sobreposição das camadas, que podem separar-se quando a peça é sujeita a tensão. Em processos de fabrico aditivo, como o SL ou SLS os efeitos anisotrópicos são menos pronunciados.

* * *

De salientar que, apesar de descrever sucintamente as tecnologias e enunciar os diferentes materiais, este estudo não pretende aprofundar os progressos da tecnologia, nem a inovação no que diz respeito aos materiais. O estudo foca-se no contributo que o fabrico aditivo pode trazer para o design, em particular para o ensino/aprendizagem do design, tendo em conta as suas potencialidades e particularidades.

Capítulo 3

Design para fabrico aditivo

A evolução de um sistema de prototipagem rápida evolui para um sistema de fabrico, e alargam-se novos domínios de aplicabilidade, nomeadamente na produção de produtos de uso final (Zhu, Pradel, Bibb & Moultrie, 2017). Durante anos, designers e engenheiros foram formatados para projetar em função do que era possível de produzir pelos processos de fabrico existentes, cedendo no desenho às imposições da tecnologia.

O *design for manufacturing* (DfM) consiste em projetar produtos de forma a minimizar ou reduzir os problemas e custos inerentes ao processo de fabrico com o objetivo da otimização do componente ou do produto para o processo escolhido. Com a mudança de paradigma construtivo de um sistema de prototipagem para um sistema de fabrico, e com isso a eliminação das restrições dos processos de fabrico convencionais, torna-se cada vez mais oportuno e pertinente um design para fabrico aditivo (DpFA). O design para fabrico aditivo (DpFA), em inglês *design for additive manufacturing* (DfAM), tem como objetivo tirar partido das capacidades únicas do fabrico aditivo para (1) projetar e otimizar a peça/produto de acordo com a funcionalidade desejada para o produto final e para os requisitos do processo de FA selecionado; (2) repensar, redesenhar e refinar um componente existente/produto, utilizando as potencialidades do FA para melhorar a funcionalidade (Pradel *et al.*, 2018). A TFA pode ser utilizada durante um processo de desenvolvimento de um produto como um sistema de prototipagem rápida, com vista à materialização rápida de um protótipo para validação da forma ou de conceito. Neste caso, os constrangimentos que devem ser tidos em conta remetem para a tecnologia na qual será produzido e que pode ser aditiva, subtrativa ou de conformação. Contudo, com a alteração do paradigma construtivo e na possibilidade de produzir produtos funcionais de uso final através da TFA, os constrangimentos dos processos convencionais não se aplicam à tecnologia emergente, e podem ser até supérfluos e castradores. Para além de não contribuírem para uma otimização do produto face ao processo de fabrico, anulam o potencial da tecnologia ao desenhar produtos que facilmente seriam produzidos pelos processos convencionais. A par com a liberdade formal proporcionada pela tecnologia, surgem os desafios relacionados com um design para fabrico aditivo. Para dar respostas aos desafios, torna-se necessário incorporar o conhecimento acerca do DpFA no processo de design, e tornar os instrumentos desenvolvidos e o conhecimento encontrado acessível aos designers, como esclarece Seepersad (2014):

Additive manufacturing (AM) enables fabrication of complex structures, ranging from the overall geometry of a part to the topology of its internal architecture to the spatial distribution of its material composition. Along with this freedom of fabrication comes the challenge of designing for additive manufacturing. The challenges include representing and optimizing intricate geometries and functionally graded structures, incorporating Design for AM knowledge into the design process, and making Design for AM tools and knowledge more accessible to a broad range of expert and novice designers. (Seepersad, 2014, p. 13)

As abordagens convencionais ao design no campo do *design for manufacturing* restringiram o espaço das soluções de design, e são ainda necessários esforços para alcançar as potencialidades únicas oferecidas pelo FA (Sossou, Demoly, Montavon & Gomes, 2018).

3.1 Oportunidades para o design pelas potencialidades únicas do fabrico aditivo

A tecnologia de fabrico aditivo (TFA) eliminou as restrições de fabrico que condicionavam o desenho do produto final, dando ao designer a possibilidade de desenhar produtos customizados com funcionalidades integradas no produto, complexas na forma e eficientes na sua funcionalidade, minimizando a necessidade de montagem (Sossou *et al.*, 2018), e impossíveis de reproduzir pelos tradicionais processos de fabrico. No entanto, qualquer processo de fabrico, subtrativo ou aditivo, contém em si mesmo as suas capacidades limitadas pelos constrangimentos da natureza do processo. Por isso, as potencialidades únicas da TFA, como permitir a produção de peças únicas ou customizadas e de geometrias complexas, são oportunidades para o design, mas também estabelece novos limites, como o custo elevado nos processos de maior precisão, as reduzidas dimensões das áreas de impressão e um acabamento superficial imperfeito (Zhu *et al.*, 2017).

Contudo, com a introdução da TFA, as oportunidades para os designers inovarem tornam-se reais, porque “AM is changing not only the way we make things, but also the types of things we make” (Seepersad, 2014, p. 10). A TFA trouxe para o design oportunidades como a democratização do fabrico, o *print-on-demand*, a otimização topológica, a customização e a *mass-customization*. As oportunidades para o design foram identificadas através da revisão da literatura sobre DpFA, incluindo trabalhos de Rosen (2014), Despeisse & Ford (2015), Yang e Zhao (2015), Gao *et al.* (2015), Thompson *et al.* (2016), Gebisa (2017) e Sossou *et al.*, (2018), entre outros, onde referem vantagens, possibilidades, tendências e outras considerações relacionadas com a tecnologia.

3.1.1 Consolidação dos componentes e funcionalidade integrada

As características de complexidade geométrica e a capacidade de produzir peças únicas possibilitadas pelo FA permitem consolidar os vários componentes numa única peça mais complexa, mas mantendo o desempenho funcional (Gibson *et al.*, 2015). Uma potencialidade que permite reduzir o número de peças a assemblar, encurtar o tempo de montagem das peças e consequentemente poupar nos custos (Hague, 2006). A junção dos componentes numa única peça leva à diminuição do número de superfícies de contacto entre as várias peças, o que poderá contribuir para aumentar a robustez da peça e até obter um melhor desempenho do que o conjunto de peças assembladas (Gibson *et al.*, 2015). A Figura 3.1 mostra duas abordagens de design para um mesmo componente utilizado na indústria da aviação descrito por Gibson *et al.* (2015). A primeira abordagem mostra uma peça composta por 16 peças fabricadas por processos convencionais, com recurso a parafusos para união das peças. Em contraste, a peça à direita mostra uma abordagem que permite reduzir o número de peças, reduzir custos e eliminar tempos de montagem, a qual não será possível através de processos de fabrico convencionais, apenas por FA. A redução do número de peças pode significar uma maior velocidade na produção e uma diminuição dos custos associados, tal como um resultado mais sustentável do ponto de vista ecológico (Yang, Tang & Zhao, 2015).

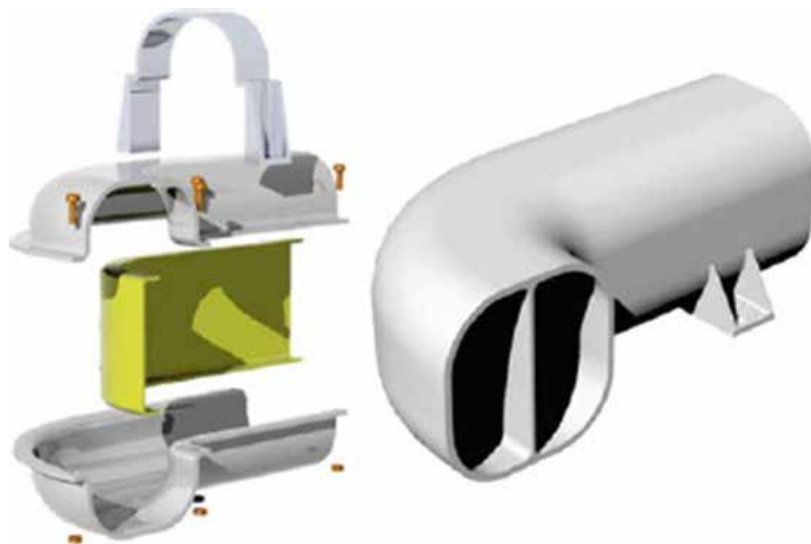


Figura 3.1
Diferentes abordagens ao design de peças (Gibson *et al.*, 2015)

3.1.2 *Lattice*, design generativo e otimização topológica

A possibilidade de construção ponto a ponto, camada a camada, permite imprimir estruturas intrincadas (*lattice*) (Figura 3.2) no interior das peças (*infill*). São normalmente geradas pelo *software*, constituídas por um padrão de células alveolares com diferentes configurações, favos de mel, quadrangulares, entre outras. As principais vantagens da utilização de *lattice* têm a ver com a redução do peso da peça e atribuição de propriedades que podem melhorar o desempenho da peça, como por exemplo a estrutura hexagonal que permite uma boa absorção da energia do impacto (Figura 3.3) e ainda um bom isolamento térmico e acústico (Sossou *et al.*, 2018).

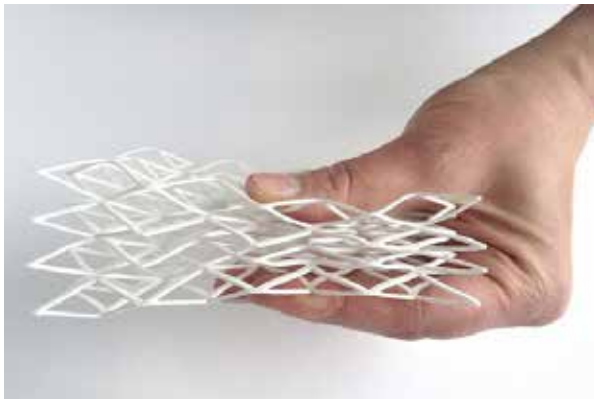


Figura 3.2
Estrutura em *lattice*
(<https://www.leolane.com/blog/tessas-weekly-picks-3d-printed-lattice-structures/>)



Figura 3.3
Capacete desenvolvido pela Hexo Helmet com uma estrutura alveolar hexagonal no interior para permitir uma melhor absorção do impacto e conforto térmico
(<https://3dprintingindustry.com/news/hexo-helmets-releases-custom-3d-printed-bicycle-helmets-with-optimized-impact-resistance-148332/>)

A utilização de ferramentas de design generativo para “gerar” um design a partir de um conjunto de parâmetros predefinidos resulta em estruturas de complexidade hierárquica com uma maior colocação do material nas zonas de maior *stress* e áreas ocas onde o material é desnecessário (Seepersad, 2014). As potencialidades do fabrico aditivo em parceria com as ferramentas

de design generativo impulsionaram o (re)desenho de componentes/produtos, permitindo objetos mais leves, otimizados ao nível da geometria com o uso eficiente do material. Uma estratégia que poderá estimular a criatividade e fomentar uma maior liberdade no design (Liu *et al.*, 2018).

Para otimizar o desempenho funcional, o material poderá ser distribuído de forma heterógena ao longo da peça. Um estudo de Yang (2015) mostra exemplos dos dois tipos de estruturas: homogénea, que mantém a geometria da estrutura ao longo da estrutura (Figura 3.4), e heterogénea, em que varia a quantidade de material depositado em cada célula.

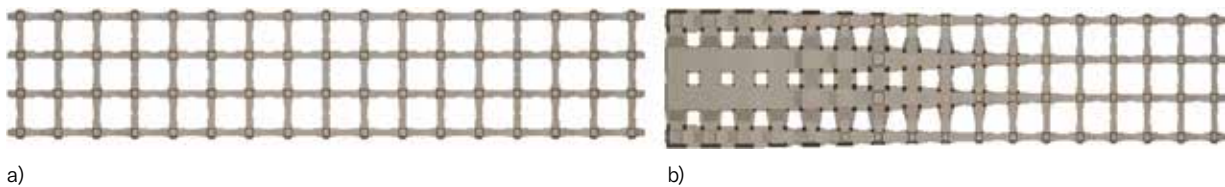


Figura 3.4 a) e b)
Exemplo de estrutura
intrincada (*lattice*):
a) Homogénea;
b) Heterogénea
(Yang, Tang & Zhao, 2015)

A otimização topológica consiste na distribuição otimizada do material dentro de uma forma exterior (Sossou *et al.*, 2018), resultando em artefactos de aparência orgânicas e de geometria complexa que respondem aos requisitos funcionais, como, por exemplo, leveza, definidos pelo projeto (Figura 3.5).

Nos últimos anos têm-se desenvolvido ferramentas para a otimização topológica e de simulação em CAD para ajudar designers e engenheiros a analisar e testar o conceito final. Os *softwares* de modelação CAD, como o *AutoDesk Fusion 360*, têm integrado nos seus interfaces opções para a otimização de produtos para o processo aditivo ou permitem instalação de *plug-ins* como o *Grasshopper* para o *software Rhinoceros 3D*, cujo objetivo

Figura 3.5
Project TOST (*Topology Optimized Skateboard Trucks*): Peça de skate otimizada por *software* de otimização topológica e consequente diminuição do peso da peça (<https://www.autodesk.com/redshift/skateboard-trucks-topology-optimization/>)



é gerar modelos paramétricos baseados em algoritmos matemáticos. Na fase da passagem para a impressora 3D, o *NetFabb*, também da *AutoDesk*, otimiza a relação entre o design e o processo aditivo. Apesar das inovações ao nível da programação e do design paramétrico, em relação ao processo de impressão de estruturas otimizadas existem ainda muitos conceitos por validar e desafios por resolver para garantir uma plena utilização das estruturas nos produtos (Liu *et al.*, 2018). Não existem dúvidas quanto à relevância da otimização topológica no DpFA, mas tal como os restantes desafios inerentes à tecnologia FA, é necessária mais investigação para tirar partido das suas potencialidades (Gao *et al.* 2015).

3.1.3 Customização e personalização

A mudança do paradigma construtivo que permitiu a produção de uma única peça sem custos acrescidos trouxe uma das grandes vantagens do processo aditivo, a customização. Esta oportunidade poderá significar uma maior aproximação de quem desenha ao cliente final (Hopkinson, Hague & Dickens) e ao local de produção. A eliminação das ferramentas de apoio ao fabrico possibilitou a produção de peças únicas sem custos acrescidos e desta forma customizados e adaptados às necessidades dos clientes, bem como personalizados pelo gosto do consumidor (Gibson *et al.*, 2015). A procura de um produto customizado e/ou personalizado é cada vez maior e potenciado por um sistema de fabrico capaz de lidar com as especificidades do indivíduo e que permite a produção de pequenas séries (Board, 2012), possibilitando infinitas variações do mesmo produto, uma customização em massa em vez da produção em massa:

products that can be custom-fit to an existing person or object, products that can be personalized based on individual or group preferences, and mass-customized products that can be produced with infinite variations. (Thompson *et al.*, 2016, p. 742).

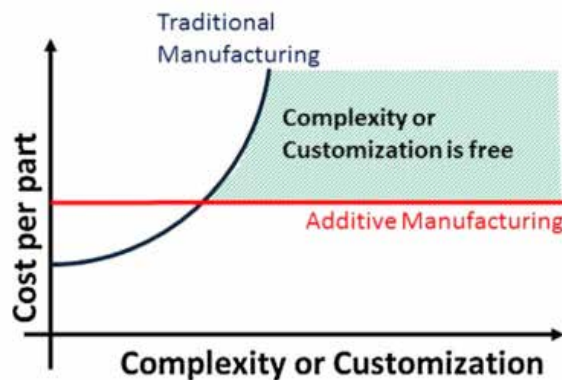
O processo aditivo considera a possibilidade de uma customização/personalização em massa, onde cada produto é único e individual e pode ser produzido de acordo com os gostos de um consumidor individual a um preço acessível (Gibson *et al.*, 2015). A customização de produtos começa a ser frequente na medicina através do fabrico de aparelhos auditivos e implantes médicos, bem como nas indústrias aeronáutica e automóvel (Diegel & Singamneni, 2010). De acordo com Petrick & Simpson (2013), a produção de peças únicas e customizadas permitirá aproximar o designer do processo de fabrico, incentivando a experimentação, tal como a proximidade ao cliente. Para os autores, a vantagem competitiva poderá estar na concretização de

projetos fáceis de produzir e montar e em projetos personalizados e complexos. A possibilidade de produzir peças únicas contribui para a existência de peças identitárias de valor simbólico que poderão prolongar também o seu ciclo de vida (Diegel & Singamneni, 2010). A produção de peças únicas customizadas seria possível com os processos de fabrico convencionais, a diferença seriam os custos financeiros que implicaria esse fabrico, um investimento que dificilmente compensaria.

A Figura 3.6 mostra um gráfico que representa o custo por peça, à medida que a customização/complexidade aumenta, no que se refere aos processos de fabrico convencionais e ao FA. Nos tradicionais processos de fabrico, o valor das peças acompanha o aumento da complexidade/customização. Com o fabrico aditivo, o custo da peça mantém-se igual, no entanto um elevado grau de complexidade da peça poderia condicioná-la a determinado processo de FA, e isso teria influência no custo da peça. Com o FA, a customização/personalização pode passar de algo desejável para algo usual de custos unitários mais elevados quando comparados com os processos existentes. Para o problema dos custo apontado como um obstáculo à utilização do processo aditivo, prevê-se uma diminuição à medida que as barreiras tecnológicas forem sendo ultrapassadas (Koff & Gustafson, 2012).

Figura 3.6

Nos processos tradicionais, a complexidade e a customização implicam um acréscimo nos custos, no caso do fabrico aditivo a complexidade é “grátis” (Conner *et al.*, 2014)



No entanto, tal como a transição de um sistema de prototipagem para um processo de fabrico aditivo resultou de uma série de fatores que combinou tecnologia e materiais, também os consumidores mudaram e despertaram para uma nova tecnologia que permite dar resposta a algumas das suas exigências atuais (Campbell *et al.*, 2012), impossíveis de realizar com os processos convencionais, como por exemplo a personalização e customização.

3.1.4 Democratização do fabrico

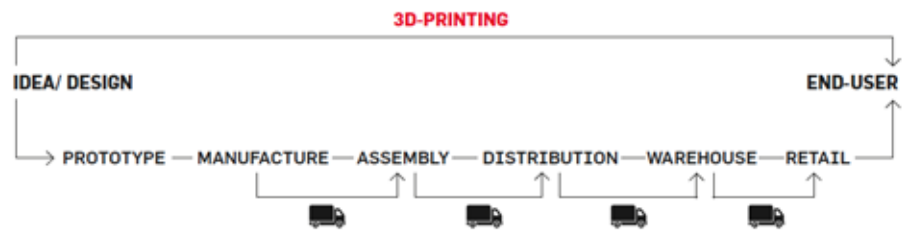
Uma das vantagens da tecnologia tem sido a facilidade na partilha dos ficheiros e do conhecimento técnico, que advém da utilização dos meios de comunicação em rede. A partilha da informação resulta da experiência dos utilizadores em fóruns e nos ficheiros CAD disponibilizados, em alguns casos gratuitamente, em bibliotecas *online* onde podem ser descarregados e apropriados. Desta forma, a tecnologia de fabrico aditivo fica entregue “nas mãos” de designers, artistas e *makers*, podendo estes criar os seus próprios produtos e inovadores modelos de negócio. Apesar dos riscos relacionados com os direitos de autor e propriedade intelectual, os designers preferem arriscar e disponibilizar os ficheiros dos seus produtos *online* criando modelos de negócio (Yap & Yeong, 2014), pois desta forma conseguem uma maior visibilidade e disseminação dos seus produtos. Embora seja difícil prever até onde irá o fabrico aditivo com as impressoras 3D domésticas, Koff & Gustafson (2012) arriscam-se a afirmar que:

consumers won't use these printers to recreate what they can already buy in stores. They will be creating things you simply can't buy, such as irreplaceable parts and personalized objects and gadgets. (p. 16)

A democratização do processo de fabrico e da partilha de ficheiros digitais de forma gratuita através de uma comunidade *online* levanta questões de direitos de autor e de obtenção de dividendos pelo trabalho desenvolvido. Num futuro próximo, “3D printing is challenging our existing paradigms of authorship, originality and property” (Warnier & Verbruggen, 2014, p. 24). Movimentos como o *Open Design* (Koff & Gustafson, 2012; Tamminen & Moilanen, 2013) defendem uma completa partilha do conhecimento, desde que este não seja utilizado para fins lucrativos e comerciais. Como qualquer tecnologia emergente, as preocupações quanto às questões legais são legítimas, e carecem ainda de soluções práticas. Tal como necessitam ainda de normas e formas de certificação de produtos por materializar (Vaneker, 2017).

As empresas de serviços de impressão, como, por exemplo, a *Shapeways* (<http://shapeways.com>), também dão o seu contributo para esta democratização, ao tornarem a produção mais acessível, personalizada e inspiradora (Koff & Gustafson, 2012). O avanço das tecnologias de fabrico aditivo poderão transformar o sistema industrial como o conhecemos hoje, as empresas começam a repensar a forma como fabricam os seus produtos e a aceitar estas tecnologias que lhe permitem cadeias de valor mais curtas e na proximidade (Figura 3.7), com entradas rápidas no mercado e processos mais colaborativos (Despeisse & Ford, 2015).

Figura 3.7
O fabrico aditivo vs. a
tradicional cadeia de
fabrico e de distribuição
(Koff & Gustafson, 2012)



Na tradicional cadeia de fabrico, os designers são os precursores da produção e os papéis e responsabilidades entre design e produção estão claramente definidos (Petrick & Simpson, 2013). Com o fabrico aditivo, o designer poderá ter um papel mais interventivo nas diferentes fases do processo de desenvolvimento do produto. O designer assume ao longo do processo diferentes papéis e responsabilidades: idealiza, desenha, concebe, testa, produz, fabrica e vende. Conceitos como “designer-maker” (Burton, 2005) ou “designer-híbrido” (Campbell, Bourell & Gibson, 2012) serão decisivos para reinventar o processo de design na descoberta de metodologias que explorem capacidades técnicas e cognitivas.

A possibilidade de “viajar” digitalmente acarreta implicações para o design do produto, pois a sua materialização num outro lugar, implica pensar o produto para que este possa ser reproduzível numa outra impressora 3D. Idealmente, o produto deverá incorporar a funcionalidade no interior do produto, eliminando a necessidade de assemblar peças. A materialização do produto em outro local implica a definição de parâmetros de impressão que devem ser também disponibilizados, em conjunto com os ficheiros STL. Os fóruns *online* funcionam como plataformas de esclarecimento de dúvidas e de procura de soluções para os erros. Através da experiência empírica, comum na comunidade de *hobbistas* por exemplo, o problema já aconteceu e foi solucionado.

Para desenharem os produtos para fabrico aditivo, os designer têm ao seu dispor programas de modelação, desde opções gratuitas disponíveis *online* como o *Google SketchUp* (www.sketchup.com) e *TinkerCAD* (<https://www.tinkercad.com>) ou programas mais avançados, como *SolidWorks*, *AutoCAD* e *Rhinoceros* (Rhino 3D), um conjunto de programas comercializados e bastantes usados nas áreas de engenharia, arquitetura e design de produto (Yap & Yeong, 2014). Cada *software* tem as suas particularidades, que o tornam mais adequados a determinadas áreas de design, tendo em conta o pensamento para modelar e o resultado final. Processos de design paramétrico e generativo através de algoritmos computacionais são uma nova ferramenta de design. Outra ferramenta são os códigos computacionais, nos quais é possível fazer variar parâmetros que geram formas alternativas e complexas, só possíveis de imprimir nas impressoras 3D. Os ficheiros STL (*STereoLithography*) foram

popularizados como ficheiros para impressão 3D a partir do qual as impressoras 3D irão gerar, através de *software* próprio e, em algumas marcas de equipamentos, exclusivo, um conjunto de instruções e códigos para imprimir (*idem*).

3.1.5 Design para a cocriação

Os produtos customizados ou personalizados implicam uma maior proximidade ao consumidor. Essa proximidade pode ser feita digitalmente através de plataformas *online*, onde é possível personalizar num processo de cocriação. Empresas de design como a *Nervous System*, para além de idealizarem o produto, desenvolveram uma plataforma *online* onde é possível definir um conjunto de parâmetros da peça a produzir dentro de um design balizado e com diferentes escolhas para o consumidor. A peça mostra um desenho inicial, mas proporciona vários fins, cada um a solução ideal na perspetiva de quem a “desenhou” (Gao *et al.*, 2015). As bibliotecas de produtos *online* são também uma forma de cocriação na medida em permitem descarregar ficheiros STL, personalizar de acordo com o que se pretende e em seguida fazer um *upload* para partilhar o novo ficheiro editado. Mesmo que a intenção não seja a comercialização do produto, nem obter qualquer benefício, levanta questões relacionadas com os direitos de autor.

3.1.6 Print on-demand

Ao longo do tempo, são cada vez mais as áreas que recorrem ao fabrico aditivo para a produção de produtos de uso final. À medida que isso acontece, altera-se a forma como os produtos são concebidos, fabricados, distribuídos e adquiridos (Doubrovski, Verlinden & Geraedts, 2011b). A possibilidade de imprimir localmente e apenas quando solicitado reduz o espaço necessário para armazenar. Os produtos convertidos em ficheiros digitais encontram-se arquivados num espaço virtual de onde a qualquer momento se podem descarregar ou colocar a imprimir (Ford & Despeisse, 2016). Para além de libertar espaço físico, a produção mediante encomenda permite uma poupança de recurso materiais, e reduz o desperdício (Doubrovski *et al.*, 2011b).

3.2 Dar expressão à tecnologia através dos artefactos

No capítulo anterior foram descritas oportunidades para o design a partir das potencialidades únicas do FA, como: possibilitar a complexidade geométrica (Koff & Gustafson, 2012); facilitar a customização e a personalização (Kudus *et al.*, 2016); reduzir as assemblagens (Koff & Gustafson, 2012), com vista a uma otimização topológica para um mínimo de desperdício de material (Sossou *et al.*, 2018). O FA permite ainda a impressão de peças únicas e *on demand*

(Gibson *et al.*, 2015), promove a proximidade ao consumidor final e viabiliza a democratização do fabrico no sentido de facilitar as cadeias de fornecimento alternativas (Koff & Gustafson, 2012).

De seguida, descrevem-se alguns produtos de diversas áreas cujos designers exploraram as potencialidades únicas do fabrico aditivo. De notar que os produtos apresentados nesta secção são apenas uma amostra dos produtos produzidos por FA em diversas áreas. Alguns dos exemplos apresentados foram desenvolvidos no âmbito de projetos de investigação com publicação em artigos com revisão científica, outros são projetos desenvolvidos em contexto profissional e empresarial cuja informação está disponível *online* em *websites* próprios ou em *websites* sobre FA. Alguns projetos são o resultado de parcerias entre o contexto académico e a indústria, com informação disponibilizada em *websites*/blogs, mas também em publicações científicas e em revistas de especialidade.

Como forma de divulgação e promoção da tecnologia, as empresas fabricantes de equipamentos investiram em parcerias com designers para explorar, idealizarem e produzirem bens de consumo, como candeeiros, bancos, sofás, que explorem ao máximo a liberdade formal potenciada pela tecnologia de FA. Os designers motivados pela tecnologia e pelo seu potencial criativo procuram encontrar um compromisso entre o desenho e a tecnologia, seja em que processo. Por isso, os resultados são, na sua maioria, artefactos originais de geometrias complexas, no entanto (ainda) difíceis de comercializar devido aos custos elevados decorrentes do processo de fabrico.

Também na investigação científica têm sido feitos avultados investimentos financeiros para levar a tecnologia de fabrico aditivo para lá dos limites inimagináveis, mesmo para fora do planeta. O projeto de investigação “3D-Printing in Zero-G” (NASA, 2014), resultado de uma parceria entre a agência americana National Aeronautics and Space Administration (NASA) e uma empresa americana *MadeINSpace*, apostou no desenvolvimento de um equipamento que permita imprimir peças em ambientes de gravidade zero (Figura 3.8).

Em 2014, os astronautas a bordo das Estação Espacial Internacional imprimiram a primeira peça em plástico através do processo FFF. O projeto teve como objetivo testar a viabilidade de recorrer a uma impressora 3D para poder fabricar ferramentas ou peças de substituição e ferramentas no espaço, e apenas quando necessárias (Koff & Gustafson, 2012). A sua aplicação seria fundamental em missões de prazos longos com restrições de peso e espaço de carga, ou para implementar em Marte. A possibilidade de imprimir *on demand* seria essencial nos planos da expansão espacial, nomeadamente no de viajar para Marte, onde se prevê, entre outras coisas, imprimir materiais de construção retirados do próprio planeta. Do mesmo modo, o projeto experimental de Markus Kayser, um designer industrial do Royal College of Arts de Londres, instalou no deserto do Saara uma impressora 3D que cria peças rudimentares



Figura 3.8
Teste à impressora 3D em ambiente de microgravidade (*Made in space; <http://spaceflight101.com/iss/made-in-space-1st-iss-3d-printer/>*)

em vidro tosco (Figura 3.9) a partir da areia e utilizando a energia solar. O deserto é um ambiente adverso à impressão, mas disponibiliza uma fonte de energia natural em excesso (luz solar) e uma matéria-prima infinita (areia). Este projeto conceptual de construção camada sobre camada através de um processo de sinterização solar (Figura 3.10) apresenta princípios ecológicos contra ao desperdício dos recursos naturais, que em alguns locais existem em abundância (Kaiser, 2011).



Figura 3.9
No deserto, a impressora 3D de Michael Kaiser a imprimir peças a partir da matéria prima local, a areia, e da fonte de energia abundante, a luz solar (Kaiser, 2011)

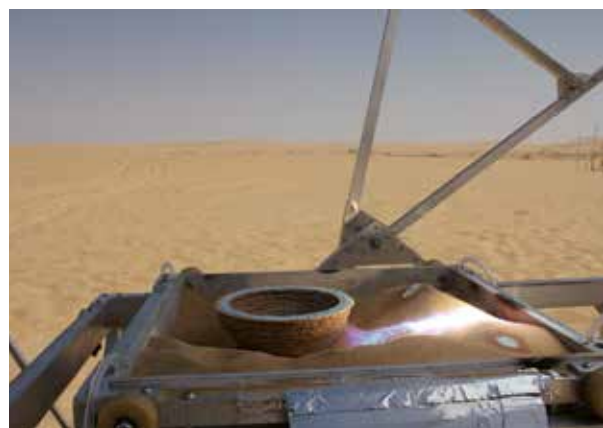


Figura 3.10
Peça impressa por sinterização solar (Kaiser, 2011)

3.2.1 Customização e inspiração biomimética

No setor da saúde, o fabrico aditivo tem dado sinais das suas capacidades, no entanto ainda está longe de uma plena aceitação e implementação. Nesse sentido, as universidades e centros de investigação de medicina regenerativa, tem trabalhado para mostrarem as potencialidades do fabrico aditivo através da criação de próteses mais adaptadas e em projetos ambiciosos como a impressão de ossos, tecidos ou órgãos para transplante (Koff & Gustafson, 2012). O objetivo destes projetos é lutar contra a escassez de órgãos doados e garantir uma maior compatibilidade com os corpos sujeitos a implante, através da impressão de células vivas em biomateriais quem mantêm as células unidas numa estrutura tridimensional. Na medicina protésica, o fabrico aditivo permitirá a produção de próteses customizadas, mais adaptadas ao indivíduo, com materiais resistentes, porém mais leves. Com o fabrico aditivo é possível produzir uma prótese perfeitamente ajustada ao corpo sem custos adicionais, potenciando não só a função prática da prótese, como também a expressão de uma identidade estética (Figura 3.11). A topologia do corpo humano possui uma enorme diversidade, e objetos funcionais ou estéticos, que necessitem de interagir com o corpo, quanto mais customizados conseguirem ser, melhor experiência proporcionarão (Warnier & Verbruggen, 2014).

Figura 3.11

Uma perna protética impressa, com um padrão rendilhado que explora as potencialidade do FA e reflete a identidade de quem a usa (Koff & Gustafson, 2012)



Para Diegel, Singamneni, Reay & Withell (2010), a customização pelo utilizador prolongará o ciclo de vida de um produto através do desejo de possuir algo seu, pela experiência no uso que este lhe proporciona e pelo seu valor simbólico e identitário. A complexidade poderá conferir características únicas ao produto, tanto em termos de forma, como da sua performance. Prevê-se que esta liberdade para o design possa resultar em peças únicas de carácter mais artístico, numa exploração das potencialidades criativas da tecnologia.

3.2.2 Arquitetura e algoritmos matemáticos

O fabrico aditivo na indústria da construção e consequentemente na arquitetura tem revelado enormes potencialidades, verificando-se melhorias significativas nos métodos atuais de construção. O fabrico aditivo tem permitido acelerar os processos construtivos e construir edifícios de formas irregulares e complexas difíceis de construir pelos processos convencionais (Bos, Wolfs, Ahmed & Salet, 2016). Um dos exemplos é o projeto *Milestone*, uma parceria entre a Eindhoven University of Technology na Holanda e a empresa de arquitetos Houben & Van Mierlo Architecten, que pretende construir cinco casas impressas por fabrico aditivo (Figura 3.12).



Figura 3.12
Projeto *Milestone*
(<https://3dprintedhouse.nl/en/project-info/why-3d-concrete-printing/>)

As casas com paredes de cimento arredondadas serão produzidas uma a uma, impressas e montadas diretamente no local (Frearson, 2016). Para concretizar o projeto, a equipa de investigadores da universidade holandesa tem procurado compreender a relação entre o design, o processo construtivo e o material, neste caso o cimento, para melhorar os diferentes métodos de distribuição do material (Figura 3.13).



Figura 3.13
Teste à distribuição do material (cimento) no interior das paredes

A sustentabilidade também é uma das vantagens do projeto, pois será utilizado muito menos cimento, o que reduz as emissões de CO² provenientes da sua produção (Bos *et al.*, 2016). Em Amesterdão, a empresa DUS Architects idealizou e imprimiu uma microcasa *3D Print Urban Cabin* com 8 m², disponível para quem quiser pernoitar na cidade (Figura 3.14 e Figura 3.15). Foi totalmente construída pelo processo FFF de fabrico aditivo, como o das impressoras domésticas, em PLA preto (Figura 3.16), tendo apenas o chão em cimento para conforto dos ocupantes.



Figura 3.14
Microcasa *3D Print Urban Cabin*. Foto de Sophia van den Hoek (<https://houseofdus.com/project/urban-cabin/>)



Figura 3.15
A microcasa e o espaço envolvente. Foto de DUS Architects (<https://houseofdus.com/project/urban-cabin/>)



Figura 3.16
Pormenor da superfície da microcasa em PLA. Foto de Ossip (<https://houseofdus.com/project/urban-cabin/>)

O projeto pretende mostrar as potencialidades do fabrico aditivo nas superfícies tridimensionais das paredes, que, segundo os arquitetos, permite que a casa tenha maior estabilidade. Para além da complexidade geométrica das paredes, este projeto pretende mostrar também a possibilidade de recorrer ao FA para construir estruturas temporárias, que após a sua utilização podem ser desmontadas e o material reutilizado para outras construções provisórias. Outros projetos semelhantes foram desenvolvidos na China, no Dubai, nas Filipinas e nos Estados Unidos (Bos *et al.*, 2016), onde nos últimos anos “imprimiram” casas-modelo, para testar a tecnologia e para mostrar o que é possível fazer em grande escala.

No projeto *Digital Grottesque – Printing Architecture*, a arquitetura adquire uma função escultórica de obra de arte e a complexidade formal possibilitada pelo fabrico aditivo é explorada ao extremo (Figura 3.17) (Dillenburger & Hansmeyer, 2013). O projeto idealizado pelos arquitetos Benjamin Dillenburger e Michael Hansmeyer consiste em duas grutas, Grotto I (2013) e Grotto II (2017), produzidas por fabrico aditivo no processo 3DP com impressão à escala real.

Ambas as estruturas são excessivamente ornamentadas, numa linguagem única que permite uma experiência imersiva numa sala de 16 metros quadrados e 3,2 metros de altura. O nível de detalhe é perturbador devido ao rigor da impressão e à resolução de um décimo de milímetro (Figura 3.17) (Dillenburger & Hansmeyer, 2013). A geometria gerada a partir de um algoritmo explora o potencial da tecnologia criando múltiplas camadas de matéria que a máquina executa de uma forma cega. Associada ao conceito do projeto surge a frase “Less is Bore” quase como uma provocação à frase emblemática atribuída ao arquiteto Mies van der Rohe, “Less is more”. A primeira estrutura, Grotto I, demorou um ano a desenvolver, um mês a imprimir e um dia a montar.



Figura 3.17
Digital Grottesque – Printing Architecture. Foto de Fabrice Dall’Anese (Dillenburger & Hansmeyer, 2013)

3.2.3 Multi-assemblies e personalização

Na indústria da moda e da joalheria, a liberdade formal do FA tem permitido aos designers criarem e experimentarem geometrias complexas, sem restrições à criatividade. Um exemplo é a empresa norte-americana Nervous System fundada em 2003 por Jessica Rosenkrantz e Jesse Louis-Rosenberg. Trata-se de uma das primeiras empresa a explorar as potencialidades do fabrico aditivo através de um sistema de design generativo para gerar objetos de geometrias complexas de inspiração biomimética. Um dos seus emblemáticos projetos, *Kinematics*, com início em 2013, é um sistema desenhado para impressão que permite formas complexas e dobráveis compostas por módulos articulados que em conjunto formam um produto. Uma das peças do projeto é o *Kinematics Dress* (Figura 3.18), um vestido desenvolvido em parceria com a Shapeways impresso em SLS e que foi premiado em 2015 pela YouFab Global Creative Awards 2015 na categoria de *Product Design*. Devido à tecnologia de fabrico,

mais nomeadamente ao processo SLS, o vestido é impresso numa única peça “amarrotada” e não requer montagem (Rosenkrantz & Louis-Rosenberg, 2007). Um forma de ultrapassar os limites da tecnologia passa por desenhar as peças de forma a que esta possa ficar compactável durante a impressão. Assim, é possível imprimir estruturas complexas que se desdobram depois na forma desejada, ficando maiores do que a área de volume de construção da máquina. Cada componente é rígido, mas todos ligados comportam-se como um tecido. Embora as peças sejam compostas por pequenos módulos ligados entre si, os produtos não necessitam de montagem, pois os mecanismos da articulação são produzidos durante a impressão da peça.

Figura 3.18

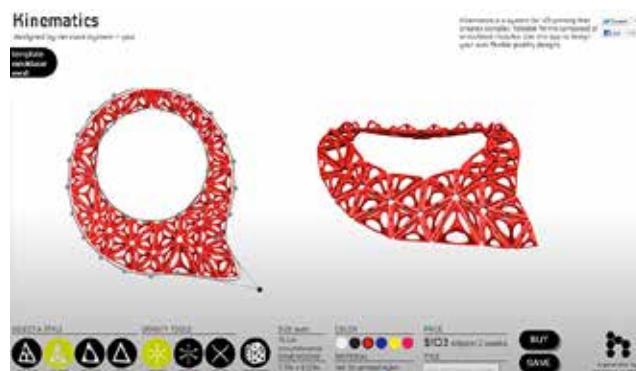
Imagem render de vestido
(<https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/sets/kinematics-dress/>)



A empresa possui também um *software online* onde os utilizadores podem produzir as próprias peças (Figura 3.19). A intervenção no processo criativo, por parte do utilizador, estabelece um fator diferenciador, dentro dos padrões de linguagem da empresa Nervous System, atribuindo à peça características únicas. A personalização tem limites e é balizada, para que as peças não percam o carácter identitário dos designers criadores. Devido à complexidade formal dos produtos, e ao elevado nível de detalhe exigido, a maioria das peças do projeto *Kinematics* são impressas pelo processo SLS.

Figura 3.19

Interface do *software online* que permite a personalização o produto (<https://www.shapeways.com/blog/archives/2365-nervous-system-releases-kinematics-jewelry-customization-apps-video.html>)



São cada vez mais as empresas que comercializam bens de consumo fabricados por FA, através de *websites* (Page, 2011), e com isso o fabrico aditivo transformou os modelos de negócio da indústria da moda. Os designers podem vender os códigos do seu design, o ficheiro STL das suas peças, para que os clientes imprimam as suas próprias roupas ou jóias onde desejarem (Yap & Yeong, 2014). Para além disso, as peças podem ser personalizadas, conferindo ao objeto impresso um valor simbólico (Diegel, Singamneni, Reay & Withell, 2010). A customização e a possibilidade de cocriação por parte de quem adquire implica que o designer idealize algo “em aberto”. O designer não desenha um resultado final, mas projeta as diferentes possibilidades do produto dentro de um espectro por ele definido.

A possibilidade de estabelecer parcerias com empresas de serviços e entregar/enviar as peças impressas aos clientes é também uma opção com mais garantias de um produto de qualidade e um maior controlo sobre o design da peça e os direitos autorais (Yap & Yeong, 2014). Um exemplo é o projeto *Helix* do Assa Studio, liderado pela designer Assa Ashuach, uma bracelete que é possível personalizar através de um *software* desenhado especificamente para alterar a configuração da peça, de acordo com as preferências de quem compra (Figura 3.20). Apesar de a personalização ser limitada à cor e às variações em altura ao longo da peça, consegue-se uma peça original com uma estética única e elegante:

By experimenting with advanced design and production technologies (...) Assa Ashuach redefines both the form and function of everyday products and furniture, while developing a surreal new design aesthetic. Alice Rawsthorn, crítica de design, autora e *former director* do London Design Museum (<https://assastudio.com>).



Figura 3.20
Software que permite a personalização dos produtos *online* em cocriação com o cliente. Foto de Assa_Ashuach_Studio (<https://assastudio.com/services/co-design/>)

3.2.4 Funcionalidade integrada e *transform design*

Grande parte da promoção e divulgação dos processos de fabrico aditivo tem sido feita por empresas prestadoras de serviços relacionados com impressão de objetos por encomenda, como é o caso da Shapeways (www.shapeways.com) e da Materialise. A empresa belga Materialise (www.materialise.com), fundada em 1990, teve como objetivo encontrar novos usos e aplicações que tirem partido da emergente tecnologia do fabrico aditivo. Desde aí, tem desenvolvido soluções de *software* e de serviços de impressão para ajudar os seus clientes na transição para um processo de fabrico digital. O MGX é uma iniciativa que, segundo os seus criadores, pretende “Pushing the boundaries of conventional design” (MGX, 2011). Como estratégia de divulgação e promoção dos seus serviços convidou designers, artistas e arquitetos com reconhecimento internacional, como Ron Arad e Zahad Hadid, para exploraram criativamente a flexibilidade e a versatilidade do processo aditivo e ultrapassarem as barreiras dos processos convencionais. Com um portefólio de produtos inspiradores, alguns são verdadeiras peças de museu. Como é o caso do banco *One Shot* (2005) (Figura 3.21) do designer francês Patrick Jouin exposta no MoMA em Nova Iorque, uma das primeiras peças do processo aditivo a integrar a coleção de um museu (MGX, 2011). Um banco dobrável, monomaterial, neste caso poliamida, impresso por SLS, cuja particularidade é ser produzido numa única operação (*one shot*) com os mecanismos integrados na estrutura de forma quase invisível (Figura 3.22) e sem recurso a rebites ou parafusos (Yanko Design, 2007). Consiste num estrutura de elementos articulados que podem ser fabricados apenas por fabrico aditivo e que dificilmente seria reproduzível pelos processos de fabrico convencionais.



Figura 3.21
Banco *One Shot* articulado monomaterial impresso em SLS numa só operação (<http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-jouin/ENS-jouin.html>)



Figura 3.22
Articulações do banco *One Shot* que permitem ter a sua funcionalidade integrada (<http://www.patrickjouin.com/en/projects/patrick-jouin-id/1326-oneshot.html>)

O processo SLS permite articulações ocultas e integradas (Figura 3.22), por isso o banco é impresso dobrado, o mais compacto possível, para ocupar o mínimo de espaço na máquina. Outro produto também do mesmo designer é o candeeiro de mesa *Bloom* (Figura 3.23). Pode-se dizer que são objetos desenhados para fabrico aditivo, tendo em conta que dificilmente seriam reproduzidos pelos processos de fabrico convencionais. O candeeiro *Bloom*, de inspiração biomimética, é uma abordagem de inspiração biónica usada para encontrar soluções conceptuais a partir das funcionalidades encontradas na Natureza. Para além da geometria complexa, as articulações ocultas permitem que a peça se “transforme” através de movimento mecânico de imitação da Natureza.



Figura 3.23
Candeeiro *Bloom* de Patrick Jouin, inspirado no movimento das plantas (<https://www.3ders.org/articles/20120829-table-lamp%20from-a-3d-printer-that-blooms-like-a-flower.html>)

No últimos anos, graças à fabricação aditiva, têm surgido peças em cerâmica com geometrias complexas e texturas geométricas superficiais, difíceis de reproduzir pelos processos convencionais. Devido à especificidade dos materiais cerâmicos, estes tornam-se difíceis de usar na construção de peças por fabrico aditivo. No entanto espera-se que, ultrapassadas as dificuldades inerentes à tecnologia e ao material em si, sejam encontrados novos caminhos para explorar através de uma cerâmica mais artística e de peças únicas. Os projetos de cerâmica da Emerging Objects (<http://www.emergingobjects.com>) e do designer Olivier van Herpt (<http://oliviervanherpt.com>) são dois desses exemplos. Os produtos apresentados no portefólio do coletivo Emerging Objects mostram algumas estruturas modelares construídas de forma aditiva que, depois de montadas, criam uma envolvência de luz e sombra, verdadeiras experiências imersivas, como o *Project Bloom* (Figura 3.23) entre outros. A parede *Seed Stitch* (2016) (Figura 3.24) é um protótipo para um sistema de

revestimento cerâmico impresso. Inspirado nas malhas do tricô, cada uma das partes que compõem a parede é impressas individualmente com elementos de design intencionais conseguidos pelos caminhos percorridos pela máquina de extrusão. No final, as peças são penduradas numa parede com um perfil em “J” (Figura 3.25) que também pode ser impressa num material translúcido para permitir a retroiluminação.



Figura 3.24
Sistema de fixação das peças
(<https://www.3ders.org/articles/20180313-is-emerging-objects-cabin-of-curiosities-the-most-beautiful-3d-printed-building-ever.html>)



Figura 3.25
Sistema de revestimento cerâmico
(<https://www.3ders.org/articles/20180313-is-emerging-objects-cabin-of-curiosities-the-most-beautiful-3d-printed-building-ever.html>)



Figura 3.26
Peças funcionais de cerâmica
texturadas. Foto de Galerie Vivid
(<http://oliviervanherpt.com/functional-3d-printed-ceramics/>)

Apaixonado pela cerâmica e pelo seu potencial experimental quando associado à tecnologia de fabrico aditivo, o designer Olivier van Herpt desenvolveu uma linha de peças funcionais em cerâmica, *Functional 3D Printed Ceramics* (2012-2019) (<http://oliviervanherpt.com>), construídas de forma aditiva, numa impressora Delta adaptada por si (Figura 3.26). A coleção de peças cerâmicas recupera os antigos padrões de tecelagem dos artesãos. O designer defende a singularidade de cada peça e o retorno a uma estética manual, permissiva ao erro, só que desta vez executada pela máquina:

3D printing ceramics has the potential to bring back the unique and individualized objects that artisans make. But, this time it is a machine who manufactures the final product.

Olivier van Herpt in (<http://oliviervanherpt.com>)

3.2.5 Metamateriais e “meta-alimento”

Tendo em conta a possibilidade de o fabrico aditivo imprimir estruturas intrincadas dentro das paredes externas da peças, uma equipa de investigadores do Hasso-Plattner Institute (Ion *et al.*, 2016) decidiu idealizar estruturas internas através dos metamateriais. Os metamateriais são materiais cujas propriedades resultam de uma estrutura pré-desenhada, e não do material que os forma. São geralmente constituídos por grelhas, por padrões repetitivos formados a partir dos materiais convencionais (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Metamaterial>). Para demonstração das possibilidades do metamaterial projetaram uma fechadura de porta monomaterial (Figura 3.27). A Figura 3.28 mostra a deslocação das células pelo movimento do manípulo. O mecanismo do metamaterial consiste num conjunto de células 3D impressas por fabrico aditivo e organizadas segundo uma grelha.

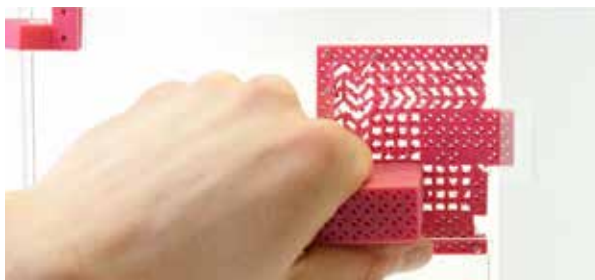


Figura 3.27
Fechadura em monomaterial flexível NinjaFlex (Ion *et al.*, 2016)

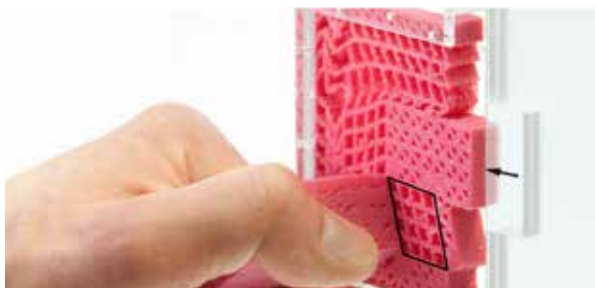


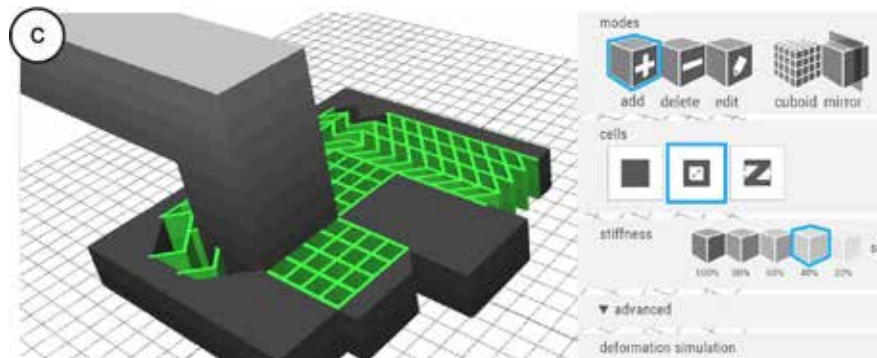
Figura 3.28
Deslocação das células que permitem o movimento do trinco (Ion *et al.*, 2016)

Ao deslocar a maçaneta da porta, a estrutura de células movimenta-se no interior da peça de forma a mover também o trinco que irá permitir abrir a porta. O protótipo foi impresso em FFF numa impressora Ultimaker 2 usando o filamento flexível NinjaFlex. Por comparação aos mecanismos convencionais, estes mecanismos permitem integrar a funcionalidade dentro do produto e apresentam várias vantagens, como: não necessitarem de montagem de peças e poderem ser produzidos em impressoras 3D com um material único e de uma única vez (Ion *et al.*, 2016). No entanto, tem as suas limitações e os resultados seriam melhores se fosse utilizada uma impressora multimaterial, pois permitiria alcançar diferentes propriedades mecânicas ao longo da

peça. O mecanismo funcional pode ser montado pelo utilizador com a ajuda de um *software* 3D (Figura 3.29), que, para além de permitir colocar células com diferentes comportamentos ao longo da grelha, permite também aplicar forças e simular a deformação do objeto.

Figura 3.29

Software 3D para definição da grelha do mecanismo funcional (<https://hpi.de/baudisch/projects/metamaterial-mechanisms.html>)



O projeto *Insects au gratin* procura abordar novas formas de ingestão de insetos por considerá-los um alimento altamente proteico e futuramente uma alternativa nutricional (Soares & Forkes, 2014). Apesar da utilização de impressoras 3D para imprimir comida não ser novidade, utilizar um material produzido de pó de insetos é inovador e pode transformar hábitos alimentares prejudiciais à sustentabilidade do planeta. Com base no princípio de que a ingestão de alimentos está diretamente relacionada com a perceção sensorial dos alimentos, e para que o seu valor nutricional não seja desperdiçado, o estudo pretende atribuir uma forma atrativa à matéria orgânica produzida a partir de vários insectos:

that consumer response to the sensory properties of food (particularly appearance, flavour, aroma, taste and texture) is an important factor in determining the success of new products. (Soares & Forkes, 2014, p. 3)

Ao combinar a entomofagia com tecnologias emergentes no fabrico de alimentos é possível transformar a experiência da ingestão de algo que, na sua forma natural, provoca repulsa em algo belo e desejável aos sentidos. Num processo desenvolvido em laboratório, os insetos comestíveis são desidratados e moídos até ficarem em pó, uma espécie de farinha de insecto que é posteriormente misturada com elementos para obter a consistência necessária e permitir uma solidificação rápida e permanente (Figura 3.30). A forma/estrutura final do artefacto é desenhada em computador e posteriormente impressa. O resultado são peças escultóricas (Figura 3.31) inspiradas em imagens microscópicas de insetos.

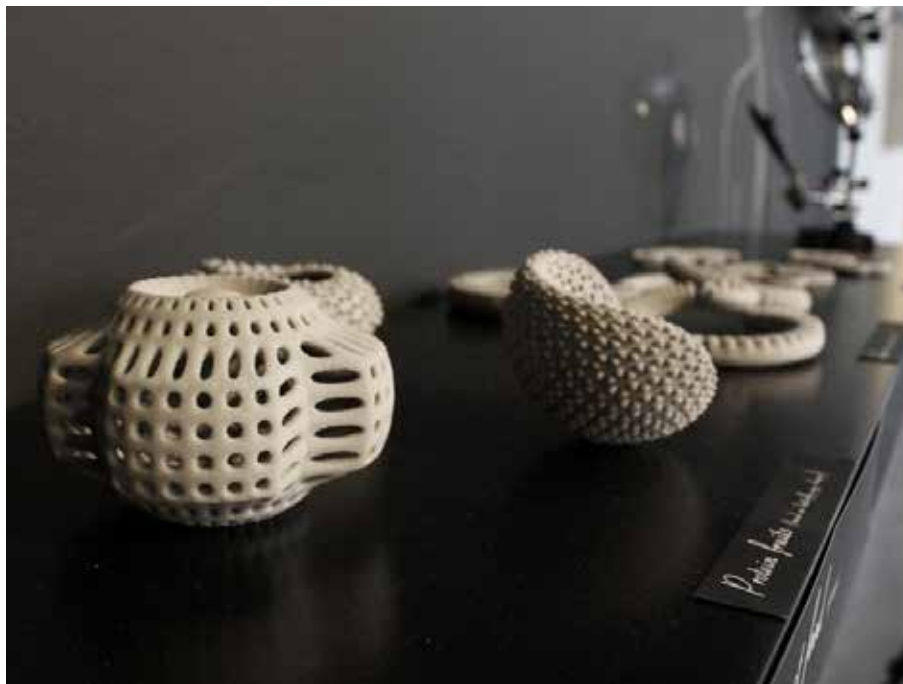
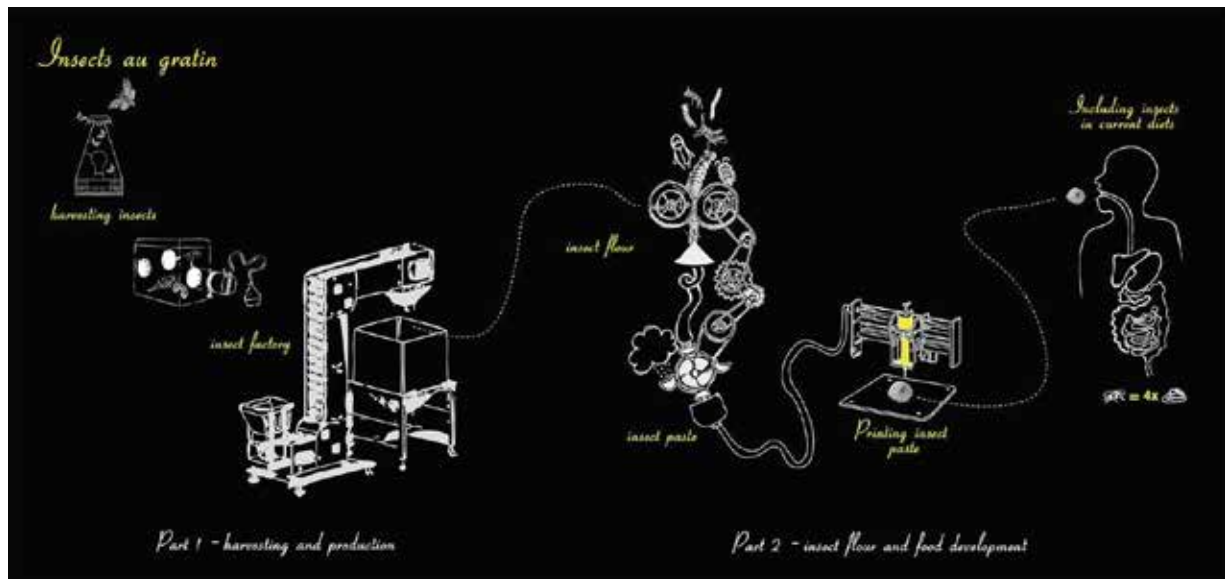


Figura 3.30
Ilustração esclarecedora sobre o processo de fabrico das peças (Soares & Forkes, 2014)

Figura 3.31
Peças escultóricas produzidas tendo como inspiração as imagens microscópicas dos insetos (Soares & Forkes, 2014)

3.3 Desafios para o design no fabrico aditivo

Com a passagem de um sistema de prototipagem rápida para um processo de fabrico de produtos funcionais, a TFA passou a ser utilizada em contextos bastantes díspares, desde impressões 3D de peças no espaço, até impressões de formas complexas a partir de pó de insectos. O preço dos equipamentos e do investimento também poderá variar, desde impressoras domésticas de FFF a preços mais acessíveis até impressoras “profissionais” de elevado custo na indústria especializada. As potencialidades únicas do FA e a possibilidade de customização irão permitir economias de escala e economias de uma unidade. As empresas continuarão a produzir em grande escala, obtendo os lucros através de uma maximização do volume produzido. Para situações onde a customização e personalização forem desejáveis, ou o volume de produção não justificar o investimento inicial, ou o produto final possuir um grau de complexidade que não consiga ser produzido pelos processos de fabrico convencionais, então o fabrico aditivo terá aí a sua vantagem competitiva, tornando-se uma opção viável (Petrick & Simpson, 2013).

No entanto, tal como referido por Spallek & Krause (2018), existem ainda barreiras e atitudes, como a desconfiança ou algum ceticismo na indústria, a ultrapassar, para conseguir uma utilização plena da TFA. A encruzilhada onde o FA se encontra, entre uma tecnologia emergente sensacionalista mas pouco comprovada como processo de fabrico, tem de, no parecer de Tofail *et al.* (2018), “must move towards a technology that can demonstrate the ability to produce real, innovative, complex and robust products” (p. 22).

É possível aumentar a utilização de peças produzidas por FA nas grandes áreas industriais, como no ramo automóvel, para otimização dos processos e uma conseqüente rápida entrada no mercado; nas companhias aeroespaciais, interessadas na capacidade de produzir peças de geometrias complexas, otimizadas para minimizar o peso, e de funcionalidade integrada; na área da medicina, que pode através destas tecnologias desenvolver produtos customizados para responder assertivamente às necessidades das pessoas (Campbell *et al.*, 2012). O envolvimento das tecnologias em áreas fundamentais do contexto industrial contribuiu para a evolução tecnológica dos processos e para o desenvolvimento de novos materiais, através dos quais se perspetivam novas áreas de aplicabilidade. Por outro lado, as empresas revelam-se cautelosas face a um processo de fabrico ainda exigente em termos financeiros e carecedor de conhecimento prático capaz de tirar partido das potencialidades anunciadas (Myant *et al.*, 2016).

As empresas de produção possuem cada vez mais secções dedicadas à exploração de novos processos na procura de inovar, para fazer face a um mercado competitivo, pois reconhecem que “AM is still considered as a new

technology which has to be learn, experimented and integrated” (A. L. Rias *et al.*, 2017, p. 101).

Embora a tecnologia de FA tenha contribuído para uma redução significativa dos constrangimentos dos processo produtivos convencionais, ela apresenta ainda limitações, como os materiais disponíveis, limitações dos processos como espessuras mínimas de parede, a precisão dimensional, velocidade de construção, baixas propriedades mecânicas e o acabamento na superfície.

O processo de fabrico aditivo (*3D printing*) tem sido amplamente divulgado nos meios de comunicação social, que descrevem o fabrico aditivo como uma tecnologia capaz de produzir qualquer coisa. Uma afirmação que Seepersad (2017) considera enganadora. Apesar das restrições de o processo de fabrico não serem as mesmas, existem outras (Zhang, Bernard, Gupta & Harik, 2014) para as quais os designers devem estar cientes, pois projetar para um processo de fabrico implica conhecer as suas potencialidades, mas também limitações, associadas principalmente à tecnologia do processo:

Designers will be free to design any complex geometry they can desire and Rapid Manufacturing will be able to make them. (Hague, 2003, p. 346)

Designers need comprehensive practical knowledge of a manufacturing process in order to design parts that are not only feasible to fabricate but also economical and reliable (...) technology may afford unprecedented three-dimensional design freedoms but that those freedoms must be balanced with significant restrictions on the types of features that can be built. (Seepersad, 2017, p. 310)

No entanto, os desafios do DpFA não passam apenas pelo entendimento das restrições impostas pelo modo de fabrico. As dificuldades residem em explorar “new design spaces, in innovating new product structures, and in thinking about products in unconventional ways” (Gibson *et al.*, 2015, p. 413), que, na realidade, são oportunidades. Para Rosen (2014), os caminhos futuros para a investigação no DpFA apresentam-se em duas categorias: na criatividade e na engenharia do design:

creativity, where new design spaces are explored and the field of industrial design plays a major role; and engineering design, where technical designers seek to achieve product functionality by tailoring geometry and materials and multiple size scales, from material microstructure to geometry meso-structure, to part macrostructure. (p. 231-232)

Contudo esta investigação assenta nos contributos da tecnologia para a prática do design mais do que nas restrições ou limitações da TFA, pois sendo uma tecnologia emergente muitas questões estão ainda em aberto e serão provavelmente resolvidas num futuro próximo. O que reforça a importância em explorar a tecnologia, mais do que a condicionar, como refere Rosen (2007):

Design for additive manufacturing should be concerned with the exploration of expanded design spaces, rather than the focus on constraints imposed by the manufacturing processes, as is typical of DFM methods. (p. 414)

Capítulo 4

Estudos sobre design para fabrico aditivo

Este capítulo pretende apresentar uma perspetiva geral sobre o panorama atual da investigação em design para fabrico aditivo, com destaque para a aplicação do FA no contexto académico, mais especificamente no ensino superior. Entre os estudos reportados é consensual a importância de se encontrarem métodos, estratégias, modelos teóricos que auxiliem os designers a ultrapassar as barreiras cognitivas impostas pelos processos de fabrico subtrativos tradicionais.

Os produtos apresentados anteriormente na secção 3.2 ilustram as capacidades únicas da tecnologia do FA, e o modo como os designers procuraram explorar as potencialidades num compromisso entre o design e a tecnologia. Da observação dos casos apresentados, seja em contexto académico ou industrial, é notória a intenção de explorar e experimentar os limites da tecnologia. Em alguns casos, a peculiaridade da estética sobrepõe-se à funcionalidade ou ao custo associado. Contudo, e apesar de existir um entendimento prévio sobre o funcionamento dos processos aditivos, não é fácil para os designers tirar partido das potencialidades únicas do FA (Gao *et al.*, 2015; Spallek & Krause, 2018). Nos últimos cinco anos, houve um aumento significativo do número de estudos académicos na literatura com publicação científica sobre DpFA (Pradel *et al.*, 2018), que destacam o carácter emergente da tecnologia e propõem novos desafios para o futuro.

Para além das potencialidades, a tecnologia possui também constrangimentos e limitações que devem ser consideradas, como referem Zhang, Bernard, Gupta & Harik (2014), e acrescentam que o pouco conhecimento dos designers sobre a tecnologia resulta da dificuldade em acompanhar o rápido progresso tecnológico dos últimos anos: “(..) the designers would probably don’t know enough AM processing knowledge due to the fast development of AM Technologies” (p. 150). Perante a necessidade de familiarizar cada vez mais os designers com estas tecnologias, mesmo reconhecendo que a célere evolução pode rapidamente tornar esse saber obsoleto, têm-se assistido nos últimos anos a um aumento do número de publicações sobre vários aspetos do DpFA, com intervenções em contextos académico com vista a uma aplicabilidade prática em estúdios de design e na indústria (Zhu *et al.*, 2017).

Considerando o DpFA um território do design emergente, a investigação e o desenvolvimento têm estado atentos, tanto no lado de design como do processo construtivo, com o intuito de colocar estas vantagens para o design aplicadas em produtos do mercado (Thompson *et al.*, 2016).

Para a realização da pesquisa foram consultadas diversas plataformas de conteúdos científicos disponíveis *online*, tais como Google Scholar,

Academia, B-on, Elsevier, Scopus e ResearchGate. Os artigos que articulam projetos de design com a TFA são ainda escassos, e na sua maioria publicados em revistas da área do design e da engenharia de fabrico com um forte destaque na componente técnica e tecnológica do processo de fabrico, dando uma menor importância ao design de produto nas suas vertentes conceptual, cognitiva e fenomenológica. A pesquisa inicial foi realizada entre abril e junho de 2016, tendo depois sido revista e atualizada na fase final da escrita do documento. Numa primeira fase, os descritores de pesquisa foram estudados de forma isolada e em inglês, como “additive manufacturing”, “product design”, “design education”, e posteriormente combinados, “design for additive manufacturing”, “design education for additive manufacturing”, “design methods for additive manufacturing”, “design cognition for additive manufacturing”. Posteriormente foram também pesquisados os termos em português já combinados, como “design para fabrico aditivo” e “metodologias de design para fabrico aditivo”. Pelos resultados podemos concluir que as publicações na língua português que relacionam o design com o fabrico aditivo incidem na sua maioria nos processos, nas tecnologias e nos materiais, com algumas diretrizes sobre design.

Alguns estudos considerados anteriormente abordaram questões mais abrangentes relacionadas com o FA, nomeadamente no que diz respeito às potencialidades únicas do processo aditivo, às oportunidades para o design (Gibson, Rosen, Stucker 2010) e às suas aplicações práticas através de produtos resultantes (Thompson *et al.*, 2016). Outros autores propõem metodologias que otimizem o design dos componentes/produtos para a tecnologia emergente (Kumke, Watschke & Vietor, 2016; Laverne, Segonds, Anwer & Le Coq, 2015) na procura de estabelecer diretrizes de design para o sucesso dos produtos finais (Gebisa & Lemu, 2017; Seepersad, 2014; S. Yang & Zhao, 2015). O processo criativo e motivação (A. L. Rias *et al.*, 2017) aparece também referido nas publicações, mas são inexistentes as publicações que relatam o pensamento em design para FA.

A maioria dos artigos consultados para esta revisão da literatura foram publicados em *Proceedings* de conferências internacionais como “CIRP Annals – Manufacturing Technology”, “International Conference on Engineering Design”, “Design Conference Innovative Product Creation”, e em revistas internacionais com arbitragem científica, como “Journal of Mechanical Interactions of an additive manufacturing program with society Design”, “Virtual and Physical Prototyping”, “Additive Manufacturing” e “Journal of Computational Design and Engineering”. Foram também analisados artigos compilados em livros de áreas temáticas, como “Additive Manufacturing” ou “Emotional Engineering”. Foi também efetuada uma pesquisa nas revistas da área científica específicas do design, como a “Design Studies” entre 2010 e 2018 foram publicados 9 artigos relacionados com *Additive Manufacturing*, mas sem que

este fosse referenciado no título ou como palavra-chave do artigo. O termo *3D Printing* também foi pesquisado nas publicações dos últimos oito anos, de onde surgiram 21 artigos, mas apenas um referenciava o termo no título. Um artigo de Özkil (2017) apresenta um estudo empírico realizado sobre a plataforma de partilha *online* de ficheiros para imprimir Thingiverse (<https://www.thingiverse.com>) com o objetivo de compreender o fenómeno, investigar como os projetos evoluem em rede e descobrir necessidades latentes que derivam de diferentes comunidades ou regiões geográficas. Quanto à revista “Design Issues” foi utilizada a mesma data retrospectiva e os resultados evidenciam a ausência de artigos sobre *design for additive manufacturing*. Em relação ao *3D Printing*, foram identificadas 19 publicações com referência no texto, contudo nenhuma surge no título do artigo.

De seguida descrevem-se dois estudos recentes (Pradel *et al.*, 2018; Spallek & Krause, 2018) consultados que tiveram como objetivo avaliar o grau de conhecimento dos designers sobre o FA. O estudo realizado por Pradel *et al.* (2018) pretendeu avaliar o conhecimento e a experiência dos designers em relação à TFA. Com uma abordagem metodológica mista, que incluiu um questionário *online* de perguntas abertas e fechadas realizado a 110 designers (industriais e de produto) e entrevistas semiestruturadas a 18 designers com experiência profissional entre 3 a 30 anos. Dos 110 designers participantes que responderam ao questionário apenas 23 foram ilegíveis, pois possuíam experiência prévia em desenhar peças finais para FA. Após a análise dos dados recolhidos pelos questionários e pelas entrevistas, o estudo conclui que os designers na sua atividade prática continuam a associar o FA a uma tecnologia de prototipagem rápida, para ser usada apenas durante o desenvolvimento do processo, mas também como processo de fabrico do produto final. A possibilidade de produzir peças com geometrias complexas é assumida como a principal razão para recorrerem à tecnologia FA, no entanto as principais barreiras que impedem uma utilização mais frequente são o custo e a desconfiança em relação à repetibilidade e a qualidade das peças e o seu desempenho mecânico. Os designers reconhecem que desenvolvem as peças para FA com base nos seus conhecimentos prévios, a partir do qual encontram as suas próprias diretrizes ou “regras de design”. No entanto, as regras mostram-se na sua maioria preocupadas em garantir a “impressão” sem contemplar as capacidades únicas do FA e as vantagens que a sua inclusão poderia representar para o produto final. O estudo apresenta uma visão geral sobre o conhecimento e a experiência prática dos designers no contexto do FA, no entanto deixa a ressalva sobre a necessidade de pesquisas futuras e mais aprofundadas em determinadas áreas.

O conhecimento sobre FA dos designers foi também analisado por Spallek & Krause (2018) através de um questionário espontâneo efetuado *online*, realizado entre fevereiro de 2017 e abril de 2017 e distribuído para

uma rede de contactos que incluía a indústria, redes do mundo académico e do fabrico aditivo. O questionário apresenta duas versões, uma versão curta (duração de 8 minutos), com um total de 81 respostas, e outra versão longa (duração de 15 minutos), com 91 respostas. As versões diferem no número de perguntas e na profundidade da informação recolhida. À versão curta de vinte e cinco perguntas de escolha múltipla centradas na experiência com o FA e nos conhecimentos dos designers sobre os campos de aplicabilidade da tecnologia, o questionário acrescentava as restantes vinte e cinco perguntas da versão longa que permitiam avaliar um conhecimento mais aprofundado dos participantes sobre as diretrizes e os diferentes processos de FA. Num total de 172 respostas e depois da análise do resultados, conclui que os designers têm um conhecimento ainda superficial sobre a tecnologia, e carecem de conhecimento mais aprofundado ao nível do detalhe do produto, especialmente ao nível da diferenciação das tecnologias e das restrições gerais. Os designers expressam interesse em explorar a complexidade formal que a tecnologia permite, pois a opção “High geometrical freedom” teve a maior percentagem de respostas, cerca de 90%, e mais uma vez, à semelhança do estudo de Pradel, a razão para não utilizar está relacionada, para 80%, com o “Uneconomical cost of high quantity” e em seguida com a “Insufficient part properties” e os “High costs of production”. O estudo revela ainda que os designers mais experientes e com mais conhecimentos em relação às TFA sentiam-se mais confiantes nas tomadas de decisão, “about making decisions on final part productions with AM, and the more definite they stated their intention of fabricating final parts with AM in the next years” (p. 357).

A falta de experiência em FA dos designers, com experiência profissional ou não, e a rápida evolução da tecnologia têm dificultado a utilização desta tecnologia, sem ser como forma de prototipagem dos produtos desenhados no decurso do projeto pelos designers. Os designers podem ter a noção das potencialidades da tecnologia, no entanto não sabem como poderão incorporá-las nos seus projetos (Blösch-Paidosh & Shea, 2017). Os artigos que avaliam o grau de conhecimento e experiência prática relacionada com o FA tida pelos designer fornecem conhecimento válido para o desenvolvimento de métodos de DpFA, tal como refere Spallek & Krause (2018): “the current experiences and knowing of designers concerning additive manufacturing technologies and, hence, provides a foundation for the development of DfAM methods” (p. 347).

As barreiras à adoção da TFA resultam do desconhecimento e algum ceticismo perante a tecnologia (Spallek & Krause, 2018), que poderão ser ultrapassados através de programas curriculares ou cursos em contextos académicos direcionados para o fabrico aditivo (Seepersad, 2014). Tal como reconhece Anthony, Evans, Rennie & Kirkb (2011), “Designers, be they students or those in the early stages of their career, need to understand the potential that such technologies offer” (p. 317).

4.1 Ensino e aprendizagem do design para fabrico aditivo

A ausência de familiaridade com as tecnologias de FA é vista como um entrave à sua adoção (Williams *et al.*, 2009). Num *workshop* da National Science Foundation sobre a “AM Education” participaram membros da indústria, da academia e do governo com o objetivo de necessidades educacionais e oportunidades de trabalho relacionadas com o FA. Da discussão, resultou num conjunto de pressupostos que a educação para o FA terá de abranger: (1) processos de AM e relações de processo/material, (2) conhecimentos em engenharia com ênfase na área dos materiais e no processo de fabrico, (3) competências profissionais para resolução de problemas e pensamento crítico, (4) práticas e ferramentas de design que aproveitem a liberdade de design possibilitada pelo FA e (5) equipas multifuncionais e técnicas para estimular a criatividade (Gao *et al.*, 2015).

A crescente procura por engenheiros, designers e investigadores na área do fabrico aditivo (Myant *et al.*, 2016) contribuiu para a integração da tecnologia de fabrico aditivo nos programas educativos a vários níveis de ensino (Ford & Minshall, 2017). A mudança de paradigma construtivo do sistema de prototipagem rápida para um processo de fabrico aditivo fez ressaltar uma vazia no ensino de competências relacionadas com o FA, como evidenciam Ford & Minshall (2017) e Gao *et al.* (2015):

The emergence of additive manufacturing and 3D printing technologies is introducing industrial skills deficits and opportunities for new teaching practices in a range of subjects and educational settings. (Ford & Minshall, 2017) (p. 1)

Due to the rapid acceleration of industrial interest and recent adoption of AM technologies, there exists a significant need for educating a workforce knowledgeable about how to employ AM. (Gao *et al.*, 2015) (p. 81)

Por isso, torna-se pertinente a implementação da TFA no plano educacional das universidades e politécnicos, procurando incluí-las em unidades curriculares onde estas possam ter especial enfoque e a sua inclusão ser um contributo para a aprendizagem dos estudantes de design de produto. Ford & Minshall (2017) apresentam um estado da arte sobre a utilização da TFA no ensino, no sentido de sistematizar e elucidar sobre todas as potencialidades, multidisciplinariedade nos diferentes graus de ensino, deste o 1.º ciclo até ao ensino superior, incluindo também a importância de dotar os docentes de *know-how* sobre o assunto. O estudo pretende dar respostas às perguntas “Onde” e “Como” estão a ser usadas as tecnologias de fabrico aditivo no ensino. As universidades surgem como locais onde as

tecnologias de FA estão a ter um forte impacto quer no desenvolvimento de sistemas de impressão, modelos científicos e testes a protótipos, quer através do uso do fabrico aditivo para a aprendizagem baseada em projetos, e na integração dos currículos para o desenvolvimento de competências relacionadas com o FA, ou através do desenvolvimento de novos cursos de introdução ao tópico.

Nos últimos anos, institutos como o MIT (Massachusetts Institute of Technology) e universidades como a Universidade do Texas nos Estados Unidos ou a Universidade Loughborough em Londres no Reino Unido apostaram no fabrico aditivo, quer ao nível do ensino das competências com cursos, licenciaturas e pós-graduação com temáticas alargadas relacionadas com o FA, quer como área estratégica para a investigação com a criação de centros de investigação e desenvolvimento.

Entraves à introdução da TFA no contexto académico, que inviabilizavam a aprendizagem, como a ausência de laboratórios equipados com as tecnologias para experimentação, a ausência de conhecimentos técnicos ao nível dos docentes, a indisponibilidade financeira para a aquisição de consumíveis, vão desaparecendo (Ford & Minshall, 2017). Com uma progressiva diminuição dos custos dos equipamentos e consumíveis, as instituições de ensino superior têm a oportunidade de adquirir equipamentos e de incluir novas metodologias de ensino em UC ou cursos extracurriculares relacionados com o fabrico aditivo, permitindo também aos docentes adquirir competências na área, quer ao nível técnico quer criativo. As universidades têm investido também em ambientes informais de aprendizagem, inspirados pelos movimentos *Makers* onde os estudantes exploram de forma livre várias ferramentas de fabrico aditivo, principalmente do processo FFF. Para além de proporcionarem uma aprendizagem livre sobre a tecnologia, contribuem também para uma cultura de empreendedorismo e inovação (Gao et al, 2015). Outros estudos apontam também para um entusiasmo e uma forte motivação dos estudantes para a TFA (Junk & Matt, 2015) devido à quantidade de informação e discussão sobre fabrico aditivo nos vários contextos da sociedade atual.

Relativamente à forma como está a ser utilizado o FA no contexto educacional, os autores Ford & Minshall (2017) apresentam dois modos de atuação do fabrico aditivo distintos, uma integração ativa e uma integração passiva. Na integração ativa, pretende-se o desenvolvimento e implementação de cursos e projetos que tenham um foco explícito no ensino das competências da TFA. Por contraste, uma integração passiva envolve o uso da TFA durante o curso ou incluídas em projetos com o objetivo de apoiar o ensino de outras matérias, como por exemplo recorrer ao fabrico aditivo para a materialização de artefactos que ajudem os estudantes a visualizarem estruturas moleculares (Cooper & Oliver-Hoyo, 2017).

Tendo em conta o enquadramento e os objetivos de investigação foram analisados artigos que tivessem uma integração ativa do FA e fossem (1) estudos empíricos realizados em contexto académico ao nível do ensino superior (2) na área de desenvolvimento de produto e design industrial (3) em UC, cursos ou *workshops* com estratégias de aprendizagem por projeto (4) de design para fabrico aditivo e (4) cujo resultado final do projeto fosse materializável num produto (quase final) produzido por fabrico aditivo. A maioria dos estudos realizados em contexto académico ao nível do ensino superior aponta para o desconhecimento das tecnologias como uma das principais barreiras à sua utilização, por isso procuram encontrar estratégias pedagógicas através de cursos numa aprendizagem por projeto (Seepersad, 2014).

Go & Hart (2016) apresentam um estudo empírico com dados recolhidos a partir de um curso sobre fabrico aditivo do MIT (Massachusetts Institute of Technology) com a duração de 14 semanas com 30 estudantes do ensino superior, sendo 20 da área da engenharia mecânica. Durante a primeira fase, cerca de cinco semanas são apresentados conceitos básicos sobre as tecnologias de FA (FFF, SLA e SLS/SLM) e outros conceitos-chave como “design for additive manufacturing (DfAM)” ou “digital assembly” ou “economics of AM”. Em paralelo foram organizadas palestras com a indústria, académicos e especialistas em FA. No final das aulas introdutórias, os alunos desenvolveram o projeto de uma ponte, seguido de outro com um *brief* aberto, “an open-ended challenge that would embrace the design freedom of AM”. No segundo projeto, os estudantes puderam ser mais criativos e explorar algumas das potencialidades do FA. No final, a maioria dos projetos resultou em inovações tecnológicas relacionadas com o processo de fabrico. O *feedback* dos estudantes foi positivo, apontaram apenas questões relacionadas com os prazos e referiram considerar o *brief* “aberto” mais apropriado para um contexto de investigação. No final, o artigo conclui a necessidade da multidisciplinidade num curso relacionado como o FA, “AM education, (...), is truly multidisciplinary, and that education programs must embrace this context” (Go & Hart, 2016, p. 87).

William *et al.* (2009) concebem uma proposta de curso com incidência no design para fabrico aditivo para aumentar o grau de conhecimento sobre FA ao nível do ensino superior e perante a necessidade de uma educação para a tecnologia. A relevância do estudo para a investigação passa pela importância que os autores atribuem ao DpFA e pela forma como associam as tarefas a desempenhar durante os projetos à metodologia comum de design:

1. Identificar oportunidades: nesta fase, os estudantes conhecem as áreas de maior aplicabilidade e adequação do FA. Conhecem técnicas para identificar oportunidades de desenvolvimento de produtos por FA e as necessidades do cliente;

2. Planeamento e orçamentação do projeto para FA: para esta fase propõe que os estudantes aprendam técnicas de planeamento e orçamentação de projetos para estimativa de custos específicos para FA;
3. Geração de conceitos para FA: nesta fase os estudantes devem focar-se nas vantagens do FA (por exemplo, customização, baixos volumes de produção, redução de peças a assemblar e geometria complexa);
4. Design integrador do FA: nesta fase propõe a aprendizagem de como otimizar a estrutura do produto para FA. As considerações de tolerância para as várias características de peças (por exemplo, furos, encaixes, dobradiças vivas, etc.) devem ser exploradas e estudadas;
5. Detalhar o produto para FA: esta fase foca-se em estratégias comuns de construção de peças de FA tendo em conta erros prováveis causados pela orientação de peças, dificuldades na sobreposição entre camadas e limitações relacionadas com a resolução das tecnologias de FA.

A correspondência entre uma metodologia de design típica com as tarefas a desempenhar num projeto de DpFA poderá ajudar na familiarização com o processo de DpFA, para os autores mais exigentes ao nível das competências técnicas. Na perspetiva dos estudantes, o projeto foi desafiador e motivante e reforça a necessidade de os estudantes de assumirem uma atitude mais pró-ativa, perante um problema que está “em aberto”:

Unlike other design projects in the curriculum, students must adopt a very entrepreneurial perspective to identify and justify an appropriate AM-related design opportunity. The design problem is not provided or strictly bounded. (p. 89)

Ainda assim, Zhu *et al.* (2017) referem a dificuldade em encontrar designers com experiência no design para fabrico aditivo. Uma observação que reforça a necessidade de implementar nos planos curriculares dos cursos em design conteúdos e estratégias de ensino relacionadas com o DpFA:

Finding designers with experience of DfAM was a significant challenge, as very few designers had actually designed products specifically for AM due to the fact that AM technologies, as emerging series production methods, are still relatively immature. (p. 329)

4.2 Metodologias e pensamento em design para fabrico aditivo

Na literatura, são vários os autores que refletem sobre as potencialidades únicas do FA e as vantagens que poderá trazer para os designers (Gao *et al.*, 2015; Gibson *et al.*, 2015; Hague *et al.*, 2003), concluindo sobre a necessidade de novos métodos e estratégias que permitam aos designers tirar partido das vantagens proporcionadas. Os estudos que descrevem as capacidades únicas do FA procuram consciencializar e encorajar os designers a projetarem de uma forma mais eficiente (Pradel *et al.*, 2018). Outros estudos focam-se em métodos para redesenhar produtos já existentes com vista a uma otimização através do FA (Hallgren, Pejryd & Ekengren, 2016), melhorar o desempenho funcional de um componente/peça através da otimização topológica possibilitada pelo FA (Primo, Calabrese, Del Prete & Anglani, 2017) ou para uma consolidação dos componentes (Sossou *et al.*, 2018; S. Yang, Tang & Zhao, 2015).

Com base nos pressupostos do FA, têm surgido estudos mais focados que apresentam propostas de metodologias de design para fabrico aditivo com base nas potencialidades do FA como oportunidades para um projeto em design (Kumke *et al.*, 2016; Laverne *et al.*, 2015). No contexto geral, a maioria dos estudos sobre metodologias de DpFa apresentam modelos que ajudam os designers a assegurar a qualidade da impressão de componentes ou partes dos produtos, mais na fase de detalhe do produto. Metodologias que contêm todo o processo de design são ainda escassas (Laverne *et al.* 2014), por isso a partir dos estudos recolhidos e analisados, destacam-se os modelos que associam na sua metodologia de DpFA um processo metodológico mais comum em projetos de design de produto. Deu-se preferência a estudos que incluíssem um maior número de fases de um projeto em design.

Numa segunda parte da secção estão descritos os estudos encontrados que relacionam o DpFA e o pensamento em design. No entanto, a ausência de estudos na literatura tem demonstrado que, ao contrário da recolha de dados sobre o processo de design para fabrico aditivo que tem sido estudado, no que diz respeito à cognição em design para fabrico aditivo é necessária mais investigação. Uma primeira tentativa de encontrar uma ferramenta mais conceptual para o DpFA foi feita por (Rosen, 2007), que propôs um abordagem biomimética, com o objetivo de auxiliar os designers a procurar soluções e princípios de engenharia nos sistemas da Natureza.

Em relação ao contributo do FA para o design de produtos inovadores, Laverne, Segonds, Anwer & Le Coq (2015, p. 121701) consideram que “Design for additive manufacturing (DfAM) is nowadays a major challenge to exploit properly the potential of AM in product innovation and product manufacturing”. Por isso, o estudo apresenta um método de DpFA composto por quatro etapas que pretende ajudar os designers a definir melhor nas fases iniciais as características de design, tendo também em conta as restrições do FA.

Para exemplificar e validar o método proposto, é descrito um estudo de caso exploratório em contexto educacional.

Sendo que o design para fabrico aditivo representa um conjunto de métodos e técnicas capazes de orientar os designers no decurso de um projeto para fabrico aditivo, Laverne *et al.* (2015) dividem os métodos em design para fabrico aditivo em duas categorias: “Design Assessment” para uma avaliação com critérios definidos, como o custo ou a manufacturabilidade; e “Design Making” para projetar. Estas categorias destinam-se a orientar os designers ao longo do projetos, definindo diretrizes ou características do design. A categoria “Design Making”, que impulsiona o avanço do projetos, divide-se em “Opportunistic DfAM” e “Restrictive DfAM”, tal como se apresenta na Figura 4.1.

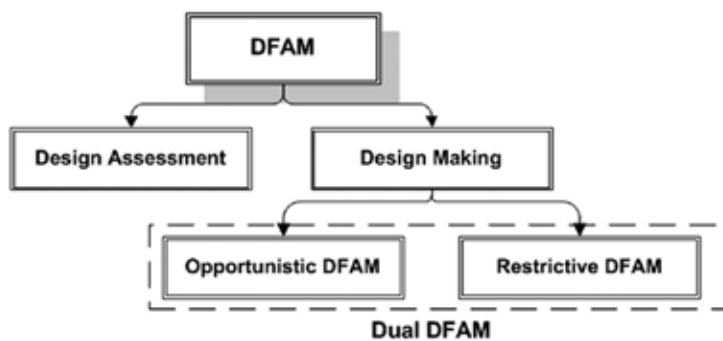


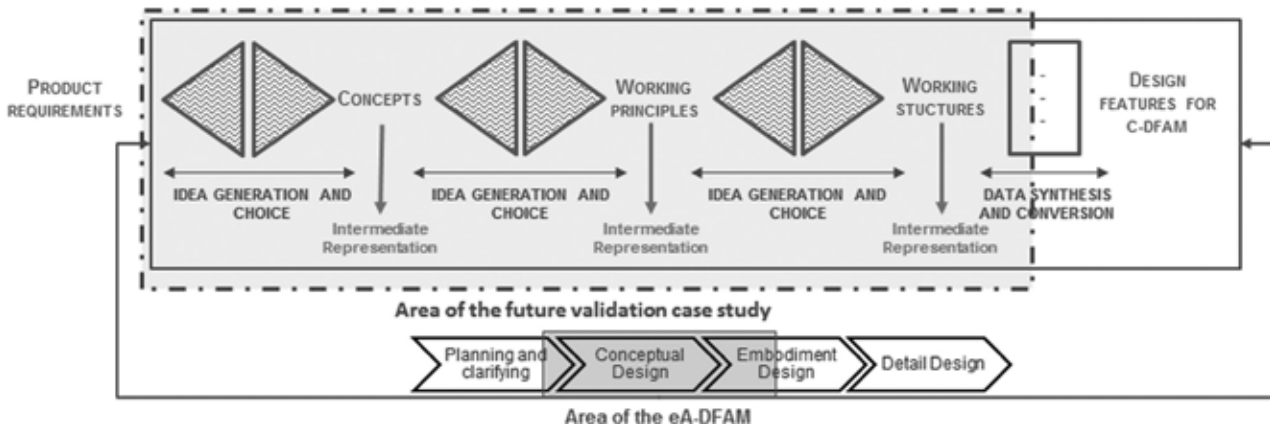
Figura 4.1
Sistematização das metodologias em DfAM (Laverne *et al.*, 2015)

Os métodos DpFA Oportunidade (*Opportunistic DfAM*) servem para auxiliar os designers a explorar a complexidade geométrica e/ou a complexidade material facultada pela TFA. Assim, têm como objetivo explorar conceitos e formas inovadoras com uma abordagem mais criativa. Quando não existem limites de forma e uma livre distribuição do material, esta categoria inclui métodos de DpFA para a otimização topológica através de estrutura de malha integradas, ou através de características específicas de cada tecnologia, entre outros. Ao contrário, os métodos DpFA Restrições (*Restrictive DfAM*) mostram os limites da TFA, como os materiais possíveis e suas propriedades, características técnicas dos equipamentos e a exequibilidade do produto.

Os dois métodos complementam-se num conceito mais alargado designado por Dual DpFA (*Dual DfAM*), método que os autores consideram mais apropriado para designers. O potencial do FA é utilizado de uma forma mais realística e viável, pois permite no final obter um artefacto exequível e com

menos perdas de tempo nas fases iniciais do projeto durante o seu processo de desenvolvimento. Tendo em conta que, num processo em design, em cada fase existe uma constante alternância entre o modo de pensamento divergente e o modo de pensamento convergente, este método remete para essa dicotomia fundamental no processo metodológico em design. O estudo distingue um processo de DpFA para um componente, o qual denomina de C-DfAM (*component-based DfAM*), e para um conjunto de componentes que necessitam de ser “assemblados”, neste caso A-DfAM (*Assembly based DfAM*) (Figura 4.2), menos referido na literatura, mas fundamental para o desenvolvimento de produtos inovadores e que deve ser aplicado nas fases iniciais do projeto.

Desta forma, o estudo propõe um modelo eA-DfAM (*Early Assembly-DfAM*) orientado para as fases iniciais, e destina-se a incentivar a criatividade dos designers para um FA otimizado. O modelo deve ser utilizado após a definição dos requisitos dos produtos. Para validação do projeto, é realizado um estudo de caso durante um *workshop* de três horas com alunos do secundário que consistia em desenvolver uma solução inovadora para um robot. Os grupos eram multidisciplinares e compostos de 6 pessoas, incluindo designers, engenheiros e especialistas em ergonomia. Durante a intervenção foi avaliado verbalmente o conhecimento de cada grupo sobre o FA e no final os participantes responderam a um questionário para autoavaliarem o seu desempenho durante o *workshop*. O modelo foi implementado na fase de geração de ideias para o desenvolvimento de conceitos. No final avaliaram o número de ideias (fase divergente) e os desenhos que resultaram das sistematização das ideias (fase convergente) e analisaram a relações entre os conhecimento do FA e as ideias originais geradas. Da análise dos resultados, o estudo mostra que o conhecimento sobre FA não influencia o número de ideias do grupo. Quanto à originalidade, os grupos com um maior grau de conhecimento em FA fomentaram mais a criatividade no conceitos apresentados com funcionalidades, materiais e texturas relacionados com o FA, no entanto conseguiram um número inferior de produtos passíveis de serem fabricados. A análise dos questionários individuais mostram que as restrições associadas ao FA eram uma barreira para o desenvolvimento de conceitos e num contexto mais exploratório as restrições não impulsionam a exploração de ideias inovadoras. Embora o estudo tenha sido realizado numa amostra reduzida, destaca-se o método Dual DpFA como o mais apropriado para uma abordagem inovadora e sistémica do produto, não esquecendo a importância que tem o conhecimento sobre a TFA no processo de geração de ideias, recorrendo às oportunidades e integrando as restrições.



Outro modelo foi apresentado por Kumke, Watschke & Vietor (2016), em reação à dificuldade dos engenheiros em projetarem tirando partido do potencial do FA:

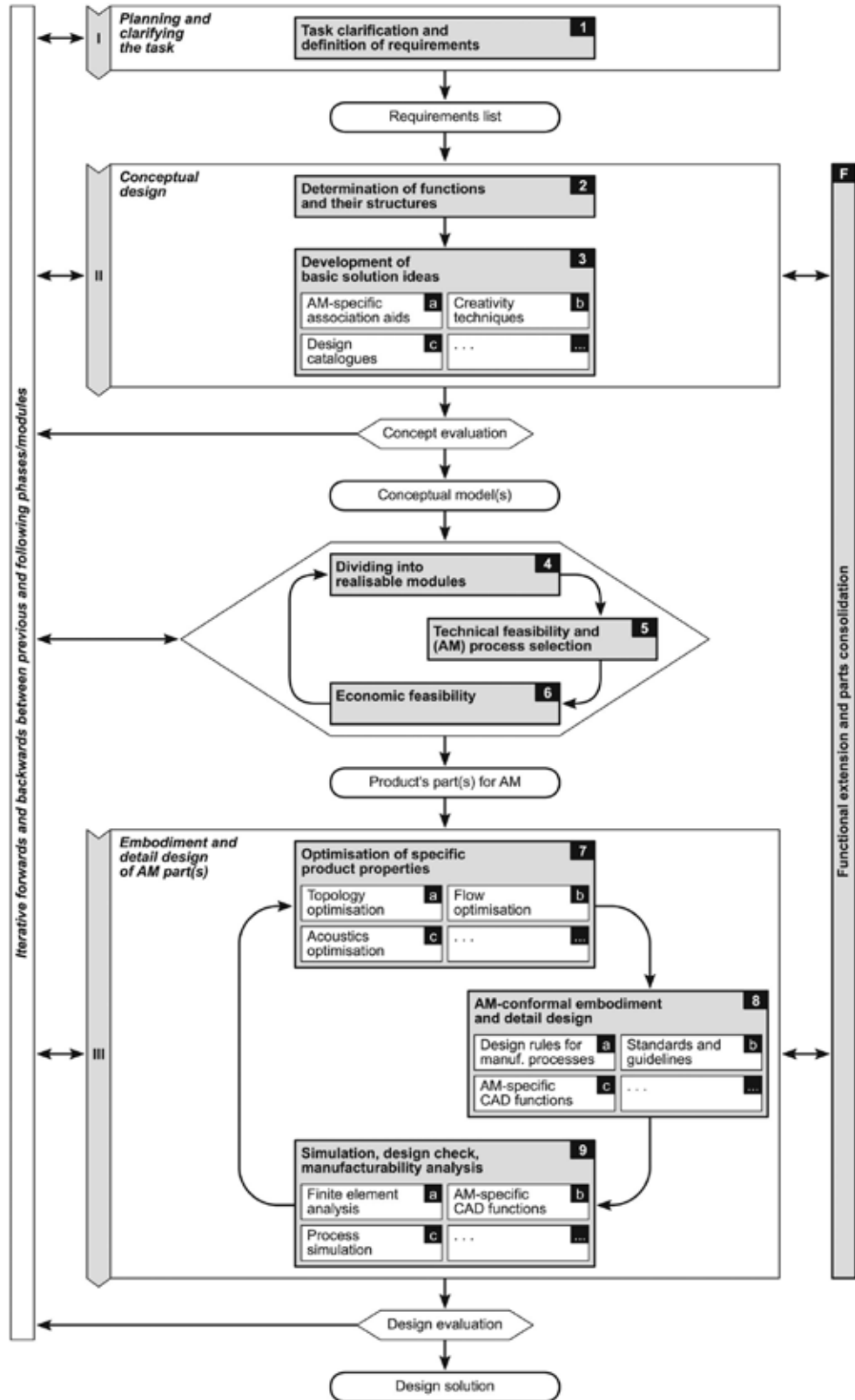
Figura 4.2
Proposta de metodologia de design para DpFA (Laverne et al., 2015)

Additive manufacturing (AM) offers numerous benefits for innovative design solutions. However, engineers are currently not supported in identifying and incorporating these potentials systematically in their design solutions. (p. 3).

Para o autor, o DpFA está relacionado com todo o processo de desenvolvimentos de um produto e oferece abordagens para todas as fases. Por isso, o autor propõe uma combinação de abordagens de DpFA já existentes. A partir da literatura recolhe várias metodologias de outros investigadores, independentemente do tipo de produto e do processo, que agrupa em: diretrizes/regras de design para FA, uso do potencial do FA, e abordagens e metodologias combinadas. A partir das limitações que identificou, delineou o seu modelo (Figura 4.3), ao qual acrescentou requisitos que considerou fundamentais. O modelo deveria ser abrangente de forma a envolver todo o processo de design, modular para garantir que novas abordagens ou técnicas possam ser facilmente integradas e usadas tanto por novatos como por especialistas e válidas para diferentes tipos de produtos.

O modelo estabelece três fases de design de produto: I. Planeamento e definição; II. Design de conceitos; III. Elaboração e detalhe; e inclui em cada uma das fases, especialmente nas fases II e III, os contributos que o FA poderá trazer para o projeto em determinada etapa. Na fase de Design de conceitos, o módulo 3 foca-se no desenvolvimento de ideias através da associação de ideias/produtos relacionados com a TFA. Na fase de Elaboração e detalhe, existe uma maior intervenção do FA para a otimização do produto (módulo 7) com a integração das regras do processo de FA (módulo 8). A estrutura em módulos pretende que possa ser usado consoante o grau de inovação previsto para o produto, a experiência de quem o vai usar e dos objetivos de design

Figura 4.3
Proposta de modelo
de DpFA (Kumke,
Watschke & Vietor,
2016)



definidos como por exemplo tornar o produto mais leve. O modelo é aplicado em contexto prático, onde um participante com pouca experiência em FA teria de redesenhar um componente, com vista a minimizar o peso da peça. No final, o estudo revelou que designers e engenheiros com pouca experiência em FA conseguiram produzir um produtos *FA-optimal*, se orientados por um processo que introduz, de forma faseada e assertiva, o conhecimento sobre a TFA. Em comparação às abordagens anteriores, o estudo conclui que, devido à abrangência e modularidade, o modelo conseguiu uma fácil integração das ferramentas e métodos de DpFA essenciais em determinadas fases. No entanto, conclui também a necessidade de uma investigação mais exaustiva através de mais casos de estudo.

Outro modelo de DpFA para componentes/produtos finais a destacar é o proposto por Zhu *et al.* (2017). Segundo os autores, a maioria dos métodos encontrados na literatura concentra-se na fase de detalhe, com as características que devem ter para garantir o fabrico do produto. O que, na perspetiva dos autores, “not enable designers to fully benefit from unique AM capabilities” (p. 327). Por isso, o estudo apresenta uma proposta de modelo de DpFA com uma visão holística sobre o projeto, para o qual considera as liberdades de design vantagens e restrições do FA para projetar produtos funcionais. À semelhança do modelo de Kumke, Watschke & Vietor (2016), este modelo proporciona uma orientação válida nas diferentes etapas do projeto. O esquema apresentado (Figura 4.4) mostra um método de design linear, para o qual foram previamente identificados os requisitos do produto. O modelo foi desenvolvido a partir de dados recolhidos através de entrevistas a designers com experiência profissional (3-30 anos) e a especialistas em fabrico aditivo. As onze entrevistas semiestruturadas permitiram recolher dados qualitativos que foram posteriormente analisados. O modelo sistematiza um conjunto de considerações coerentes com a informação recolhida durante as entrevistas.

Contrariamente ao modelo anterior, a escolha do processo de fabrico surge após a definição dos requisitos, onde uma primeira apreciação considera as várias tecnologias de fabrico disponíveis (TFA, CNC, injeção por moldes, entre outras) e decide em função dos requisitos necessários ao produto (geometria do produto, material da superfície, volumes de produção e orçamento) se avança para fabrico aditivo ou não. Onde, ainda dentro do mesmo módulo, seleciona em função das potencialidades e limitações do processo de fabrico, como precisão, propriedades e disponibilidade dos materiais, acessibilidade da máquina, velocidade de impressão, entre outras. A seleção do processo de fabrico surge após a determinação da lista de requisitos do produto, justificada pelos autores com a necessidade de estar sempre presente enquanto se projeta: “Designers need to keep AM process characteristics in mind while selecting a manufacturing process and designing the product for the selected process”. Um processo com especificidades

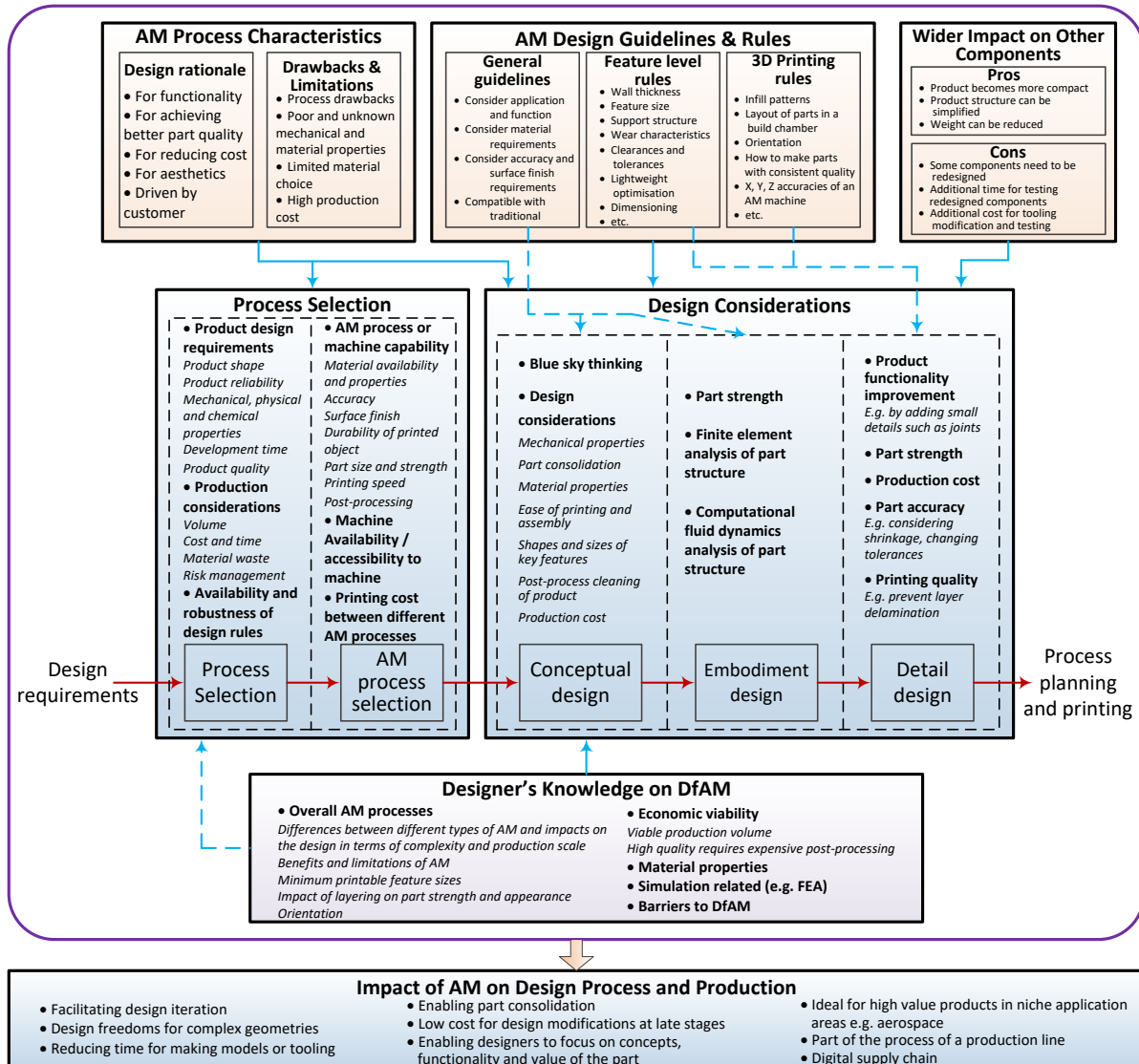


Figura 4.4
Modelo de design para
fabrico aditivo proposto
por Zhu (2017)

para explorar e limitação para contornar “These characteristics have both an upside that designers need to effectively utilise and a downside that needs to be circumvented” (p. 333).

A seguir à seleção do processo seguem as considerações relacionadas com o design, que devem ser usadas em cada uma das fases (conceção, elaboração e detalhe) para facilitar o processo e retirar vantagens do FA. Para além do processo de design, o modelo inclui outros parâmetros que se relacionam através de setas em traço contínuo se a influência é direta, ou a tracejado se a influência é indireta. Os módulos incluem as características do processo de FA, diretivas e regras de design, repercussão nos outros componentes. Conforme indicam os resultados da análise de conteúdo das

entrevistas, a compreensão dos diferentes processos de FA é fundamental. Entender os processos de FA inclui as vantagens, como a complexidade e o reduzido número de exemplares, e as desvantagens associadas ao número limitado de materiais e ao limites da impressão. Quanto ao impacto do FA no processo de design, os autores concluem que:

a majority of the interviewees indicated that the use of AM has changed their design process and practice. Products are designed in a more efficient and cost effective way and components can be simplified and combined, eliminating the need for tooling and assembly, and consequently reducing lead time. (p. 335)

Na base do modelo, surgem questões relacionadas com o impacto do FA no processo de design: facilitar a iteração entre as diferentes fases do processo de design; libertar os designers dos constrangimentos dos processos de fabrico convencionais e permitir gerar formas de geometria complexas; permitir a consolidação das partes e uma otimização topológica a partir das quais os artefactos ganham uma nova estética vinculada às potencialidades da tecnologia.

A diferença que se destaca entre os dois modelos apresentados reside na seleção do processo de fabrico e no momento do processo que é efetuada a seleção. O modelo de Kumke, Watschke & Vietor (2016) não prevê a escolha inicial do processo de fabrico aditivo, essa variável surge apenas na fase de elaboração e detalhe do produto, ao contrário do modelo de Zhu *et al.* (2017), no qual a decisão quanto ao processo de fabrico surge após a determinação da lista de requisitos. São abordagens diferentes, que poderão ter impacto no desenrolar do processo, se, por exemplo, considerarmos que a introdução tardia do processo de fabrico poderá condicionar todo o trabalho que foi realizado anteriormente em termos de design do produto. Os modelos referidos anteriormente introduzem a primeira abordagem ao FA após a definição da lista de requisitos.

Como área emergente, é evidente o aumento do número de publicações nos últimos anos, no entanto, a maioria dos estudos analisados concluem a pertinência de mais investigação em métodos, técnicas e ferramentas para aproximar os designers do fabrico aditivo e capacitá-los de forma a valorizar o contributo da TFA na prática do designer (Pradel *et al.*, 2018). Ao nível do processo em design (praxiologia) são vários os exemplos de modelos que, através da revisão da literatura ou da análise de conteúdos recolhidos, procuram sistematizar a informação e gerar linhas orientadores para otimizar o produto para FA. Contudo, no que diz respeito ao pensamento em design para FA, os estudos são ainda escassos ou mesmo inexistentes durante um projeto de DpFA.

Dos escassos estudos relacionados com o pensamento criativo em design, destaca-se a abordagem proposta por Rias, Bouchard, Segonds & Abed (2016), que pretende estimular a geração de conceitos inovadores para fabrico aditivo. Após a análise dos métodos existentes na literatura e depois de os categorizar, o estudo constatou a ausência de procedimentos orientados para a geração de conceitos para FA que resultassem em produtos criativos, úteis e reais, afirmando que “the cited methods don’t lead to creative concepts” (p. 418).

O Creative-DfAM (Figura 4.5) foca-se na fase de geração de ideias, que subdivide em 5 fases, alternando entre momentos de divergência e convergência, desde a fase 1 – identificação das funcionalidades até à fase 5 – avaliação do conceito. Na primeira fase, o modelo prevê a aquisição de conhecimento através de uma pesquisa de exemplos relacionados com o produto a desenvolver, de artefactos impressos por FA e de outros domínios que possam ativar a mente do designer para ser criativo. Pretende desta forma incitar a criatividade dos designers, através da associação entre produtos 3D com outros domínios, que poderá ser, por exemplo, a Natureza através da biomimética. O modelo destina-se exclusivamente a produtos para fabrico aditivo e pretende impulsionar possíveis colaborações de I&D entre empresas interessadas em FA e os designers. Para verificar a aplicabilidade prática, o estudo propõe um projeto de design cujo *brief* consistia em gerar um conceito criativo de uma lâmina de turbina para produzir em FA. As ideias e os conceitos gerados são avaliados por um grupo de especialistas, tais como designers experientes, gestores de projetos inovadores segundo os critérios de originalidade, aplicabilidade à indústria do fabrico aditivo e valor atribuído pelo cliente. A proposta teve a intenção de aumentar o número de ideias criativas geradas durante o processo. A utilização de uma associação forçada no projeto “help designers to generate creative concepts without limiting themselves or prematurely eliminating some ideas” (p. 418). Em vez de eliminar a ideia, os designers são convidados pelo método a explorá-la. Apesar de ilustrado apenas com um exemplo, revelou ser útil na medida em que possibilita mais um caminho a seguir para a investigação em design relacionada com o design para o fabrico aditivo. O estudo propõe desenvolvimentos futuros nos quais inclui a criação de um *toolkit* de estímulo à criatividade e a sua utilização e implementação no contexto industrial.

Figura 4.5
Proposta de método
Creative-DfAM (Rias,
Bouchard, Segonds &
Abed, 2016)



Apesar de pouco explorada, a relação emocional da TFA com os designers é estudada por Rias, Bouchard, Segonds & Abed (2016), ainda assim poderá ter impacto no desempenho criativo dos designers quando projetam para FA. O estudo teve como objetivo identificar as motivações que levam um designer a recorrer ao FA durante a sua prática. Para além das motivações externas, como por exemplo razões de ordem económica, existem as motivações intrínsecas que podem levar a um *mindset* que facilite a idealização de conceitos para FA. As motivações intrínsecas estão relacionadas com as experiências individuais e são mais difíceis de investigar. Para isso, os autores consideram essenciais quatro elementos-chave de realização pessoal com o FA: a satisfação da curiosidade perante a novidade dos processos de FA, a satisfação de conseguir modelar formas complexas através de um *software* CAD que exige algum conhecimento, a procura de uma nova estética nos objetos e a oportunidade de materializar os produtos. Contudo, o estudo refere que, para que isso seja possível, três condições terão de existir para os designers: recorrer a um vocabulário mais técnico, substituir o termo *3D printing* por fabrico aditivo, utilizar um modelo de processo de design que integre uma abordagem criativa, tendo os autores sugerido o seu próprio modelo, *Creative-DfAM*. A terceira condição é o uso de objetos intermédios impressos por FA durante o processo de desenvolvimento do produto. Objetos tangíveis, como modelos e protótipos, são frequentemente usados pelos designers para validar algumas soluções de design. Com o FA, estes objetos estão próximos do produto final, podem ser manipulados, experimentados e serão produzidos através dessa mesma tecnologia, o que permite uma antecipação de como se concretizará no produto final. Relativamente aos objetos intermédio produzidos por FA, o estudo conclui que estes servem de estímulo à experimentação durante as sessões criativas, despertando sensações positivas nos estudantes.

Os modelos apresentados são ainda propostas que visam introduzir uma metodologia de DpFA num processo metodológico de design. No entanto, tal como é referido nas conclusões dos estudos, as propostas apresentadas carecem ainda de validação dentro do contexto para o qual foram desenhadas. A natureza prescritiva que os métodos de DpFA apresentam poderá não ser adequada para pequenas equipas de design, tal como refere (Pradel *et al.*, 2018):

Another limitation lies in the prescriptive nature of the proposed DfAM approaches. (...) prescriptive design methodologies find fewer applications in industrial contexts because they do not easily match the specific processes or approaches being used in industry. Such prescriptive processes might find some traction in firms (often larger firms) with more rigid procedures but are less compatible with the needs of smaller design teams. Again, this supports the need for more evidence on the adoption and use of different methodologies in professional design practice. (p. 169)

Perante isso, foram suscitadas dúvidas sobre se a utilização de um modelo de DpFA prescritivo, mais “fechado” e focado na tecnologia de fabrico, poderia, de alguma forma, condicionar a recolha de dados sobre os contributos da introdução do FA no contexto do ensino/aprendizagem em design onde decorre a investigação descrita. Como solução, optou-se por procurar um modelo geral validado em contexto académico (Clemente, Tschimmel & Vieira, 2017) para orientar na sistematização dos dados recolhidos quanto à metodologia, durante as atividades em projeto para fabrico aditivo.

A importância dada pelo modelo de Laverne (2015) à dualidade Oportunidade/Restrição é transposta para uma metodologia de design que combina em cada fase do projeto momentos de Exploração (divergente) com momentos de Escolha ou Avaliação (convergente) nos quais, perante as hipóteses, se converge para uma possível solução. Desta forma, tornou-se importante mapear o processo metodológico dos estudantes durante a intervenção, recorrer a um modelo de Design Thinking, que tivesse explícita a alternância entre divergente e convergente em cada uma das fases do projeto, razão pela qual foi escolhido o modelo Evolution 6² (E.6²) que se encontra descrito no capítulo 5, secção 5.1.

Para recolha de dados no que se refere ao pensamento em design, e perante a ausência na literatura de modelos cognitivos aplicados em projetos DpFA, optou-se por utilizar o instrumento *Logbook* desenvolvido por Clemente (2016) em articulação com o modelo E.6². O instrumento *Logbook* adaptado e a taxonomia de estilos cognitivos adotada para seguir o processo cognitivo dos estudantes durante os projetos de DpFA encontram-se descritos no capítulo 5, secção 5.2.

Dos estudos realizados em contexto de ensino e das propostas de metodologias para DpFA apresentadas recolheram-se dados que foram posteriormente considerados no planeamento do estudo de caso: a utilização de um *project brief* aberto para motivar os estudantes (Go & Hart, 2016); incentivar aos estudantes uma recolha de imagens de produtos produzidos por FA (Kumke *et al.*, 2016; A.-L. Rias, Bouchard, Segonds & Abed, 2016); e utilizar um painel de especialistas para analisar os artefactos resultantes do projeto de DpFA segundo um critério de originalidade (A. L. Rias *et al.*, 2017).

Capítulo 5

Mapear o conhecimento em design para fabrico aditivo

Os modos de conhecimento próprios associados ao design são descritos por Cross (2006), para os quais define três categorias do conhecimento em design: nas pessoas, através de estudos empíricos sobre pensamento em design (epistemologia); nos processos, ligado ao estudo das metodologias e das técnicas que auxiliam o designer durante a prática projetual (praxiologia); e, por último, nos artefactos, retratados pelos seus atributos como a forma, os materiais e acabamentos (fenomenologia). Nas três secções seguintes apresentam-se os referenciais que nortearam a investigação apresentada no que concerne aos três modos de conhecimento em design acima enunciados. Para tal, foi necessário recorrer a instrumentos já desenvolvidos e de preferência validados na literatura, que permitissem orientar o trabalho da investigadora em cada uma das categorias propostas.

5.1 Pela prática do design

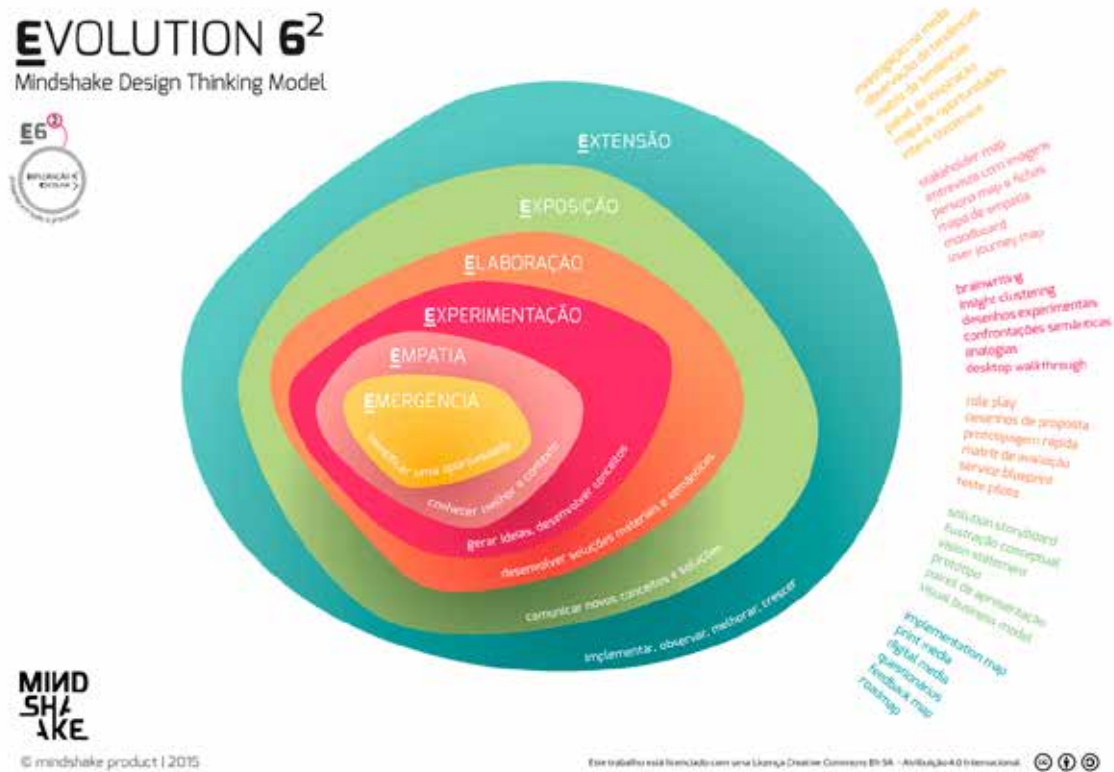
A maioria das metodologias em design descrevem a natureza iterativa do processo em design e resultam, na sua maioria, da observação da atividade projetual durante a prática e da análise de protocolos verbais (Abdelhameed, 2009). A iteração num processo de design pode acontecer através da repetição das tarefas, que podem ser realizadas em equipa, ou das atividades cognitivas do designer enquanto executa as tarefas (Jin & Chusilp, 2006). A iteração no processo é reconhecida pela alternância de tarefas que são notórias, “on the other hand, mental iteration is less explicit because it occurs inside designers’ mind” (Jin & Chusilp, 2006, p. 26). No entanto, o processo iterativo do pensamento em design pode ser observado através dos desenhos, “sketchs” e pela análise de protocolos (Cross, 2001b; Jin & Chusilp, 2006).

O modelo de *Design Thinking* escolhido teve como propósito orientar na sistematização dos dados recolhidos quanto à metodologia durante as atividades do projeto para fabrico aditivo. A orientação teve a ver com a necessidade de categorizar as tarefas desenvolvidas pelos estudantes, no decurso do projeto, de acordo com as fases de um modelo formal de projeto em design.

O modelo de *Design Thinking Evolution* 6² (Figura 5.1) desenvolvido por Tschimmel em 2012 e registado em 2015 sob *Creative Commons Attribution 4.0 International License* (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) representa o processo criativo como um processo evolutivo e iterativo que se divide em 6 fases. A designação “6²” relaciona-se com a coexistência, em cada fase, de momentos de divergência e convergência, que o modelo

designa respetivamente por Exploração e Escolha. A fase da Emergência (E1) situada no centro do modelo consiste na identificação e definição de uma oportunidade através de técnicas de observação e pesquisa. Na segunda fase, denominada de Empatia (E2), são realizadas várias técnicas para conhecer o contexto, que poderão ser as necessidades e desejos do público-alvo, e no caso da investigação descrita, entender também o contexto da tecnologia de fabrico. De seguida a fase da Experimentação (E3), na qual é suposto gerar uma grande quantidade de ideias e, através do desenho exploratório e experimental, desenvolver conceitos para o problema encontrado. Na fase Elaboração (E4) o projeto avança para uma fase de maior rigor e detalhe, onde é necessário prototipar e testar o conceito selecionado através de modelos e *mock-ups* com vista a uma solução final. Na Exposição (E5) comunica-se o produto recorrendo a uma estratégia de comunicação apropriada. Por último, na Extensão (E6) é feita a implementação com vista a uma proposta de melhoria à solução encontrada. Na investigação realizada em contexto educativo, a fase da Extensão tornou-se difícil de monitorizar, pois a maioria dos projetos termina no produto ou protótipo final, sem validar a sua utilização junto do público-alvo.

Figura 5.1
Modelo E.6² de Tschimmel (2014)



O modelo atribui a cada uma das fases técnicas/instrumentos (Quadro 5.1), com objetivos e resultados diferentes ou que considera ser os mais adequados à fase em questão, no entanto todos poderão ser utilizados em qualquer uma das 6 fases.

Quadro 5.1 Fases do modelo E.6² e respetivos instrumentos/técnicas

Fases do modelo E6 ²	Instrumentos/técnicas atribuídas a cada fase do modelo E.6 ²
1. EMERGÊNCIA Identificação da oportunidade	Investigação nos <i>media</i> Observação de tendências Matriz de tendências Painel de inspiração Mapa de oportunidades <i>Intent statement</i>
2. EMPATIA Conhecer melhor o contexto	<i>Stakeholder map</i> Entrevista com imagens <i>Persona map</i> e fichas <i>Moodboard</i> <i>User journey map</i>
3. ELABORAÇÃO Gerar ideias, desenvolver conceitos	<i>Brainwriting</i> <i>Insight clustering</i> Desenhos experimentais Confrontações semânticas Analogias <i>Desktop walkthrough</i>
4. EXPERIMENTAÇÃO Desenvolver solução materiais e semânticas	<i>Role play</i> Desenhos de proposta Prototipagem rápida Matriz de avaliação <i>Service blueprint</i> Teste piloto
5. EXPOSIÇÃO Comunicar novos conceitos e soluções	<i>Solution storyboard</i> Ilustração conceptual <i>Vision statement</i> Protótipo Painel de apresentação <i>Visual business model</i>
6. EXTENSÃO Implementar, observar, melhorar, crescer	<i>Implementation map</i> <i>Print media</i> <i>Digital media</i> Questionários <i>Feedback map</i> <i>Roadmap</i>

5.2 Pelo pensamento durante o projeto

Durante o processo de desenvolvimento de um produto, o designer mobiliza diferentes estilos cognitivos que se adequam à tarefa a desempenhar. Por exemplo, numa fase de geração de ideias, espera-se que um designer conceba uma enorme quantidade de ideias, e para tal terá de adotar um estilo de pensamento imaginativo; se tiver de escolher a melhor ideia e concretizá-la terá de ter um pensamento mais determinado e concentrado, ou mais holístico quando estiver de olhar para o processo como um todo. Os diferentes *mindsets*, ou estados mentais, que o designer mobiliza dependem do contexto externo, mas principalmente de fatores internos relacionados com personalidade, perfil cognitivo e experiência prévia.

A taxonomia de estilos baseada em profissões desenvolvida por Clemente (2016) foi delineada para incentivar os estudantes a refletirem sobre o seu próprio processo cognitivo durante a prática projetual. Para efetuar o registo da sua perceção sobre o estilo cognitivo mobilizado, o estudante deveria utilizar o *Logbook*, um instrumento individual de registo do projeto de design. O Quadro 5.2 apresenta a taxonomia que serviu para recolher dados relativos à cognição dos estudantes durante um projeto de DpFA.

Os estilos de pensamento definidos por Clemente (2016) poderão ser mobilizados em diferentes fases do projeto, no entanto algumas fases do processo de design são mais recorrentes e fazem mais sentido para obter resultado esperado. É o caso do estilo de pensamento Empático, cuja mobilização faz sentido acontecer nas fases iniciais do projeto, quando se pretende conhecer o público-alvo e o contexto no qual o produto irá servir. De seguida descrevem-se de forma sucinta, os estilos de pensamento e a respetiva profissão:

- Imaginativo (artista) – Deve ser acionado sempre que for necessário gerar uma grande quantidade de ideias. Este estilo de pensamento deverá ser mobilizado, por exemplo, em sessões de *brainstorming* onde se pretende que surja um grande número de ideias. Como um artista que utiliza a criatividade para gerar ideias inovadoras.
- Focado (atleta olímpico) – Para ter uma visão clara para não perder de vista o objetivo final, é necessário pensar de um modo Focado, com entendimento do que se atingir, como um atleta com o objetivo de chegar à meta.
- Determinado (cirurgião) – Deverá ser mobilizado para tomar uma decisão rápida, mesmo que o problema ainda não esteja completamente definido, tal como um cirurgião que toma as decisões com base na experiência e na intuição.

Quadro 5.2 Taxonomia dos estilos cognitivos (Clemente, 2016)

Estilo de pensamento (profissão)	Ações	Mindset
Imaginativo (Artista)	<ul style="list-style-type: none"> Gerar uma grande quantidade (uma “torrente”) de ideias Identificar possibilidades, aquilo que podia ser 	O estudante gerou muitas ideias inovadoras
Focado (Atleta Olímpico)	<ul style="list-style-type: none"> Manter em foco o objetivo Distinguir o essencial do acessório Ter uma visão clara do <i>output</i> pretendido 	O estudante focou-se no que era importante e conseguiu distinguir o essencial do acessório
Determinado (Cirurgião)	<ul style="list-style-type: none"> Executar atividades para atingir objetivos Tomar em consideração prazos e eventos Tirar partido das competências de cada membro da equipa 	O estudante tomou decisões com base na intuição e fez avançar o projeto
Empático (Antropólogo)	<ul style="list-style-type: none"> Colocar-se no papel do outro Identificar e avaliar o estado emocional do outro Relacionar várias informações acerca de um contexto para conseguir uma imagem holística 	O estudante colocou-se no lugar do público-alvo
Analítico e Avaliativo (Juiz)	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar ideias segundo critérios prédefinidos Comparar o que se tem, face aos objetivos pretendidos 	O estudante tomou decisões com base em dados e critérios bem definidos
Holístico (Viajante Profissional)	<ul style="list-style-type: none"> Ver o processo como um todo Compreender a estrutura do problema Determinar a próxima etapa do processo 	O estudante viu o projeto como um todo e definiu qual a etapa seguinte
Reflexivo (Escritor de Viagens)	<ul style="list-style-type: none"> Analisar o processo de aprendizagem percorrido Refletir sobre as experiências, transformando-as em conhecimento útil 	O estudante refletiu sobre o projeto e retirou conhecimento útil para a sua vida profissional

- Empático (antropólogo) – Colocar-se no local do outro para melhor compreender o contexto, e para quem se está a projetar. Ter vontade de conhecer, o que implica possuir um espírito curioso e uma mente livre de ideias pré-concebidas.
- Analítico e avaliativo (juiz) – Um estilo de pensamento mobilizado em diversas fases do projeto, sobretudo nos momentos de decisão. Em momentos cruciais que podem determinar o rumo do projeto é necessário ter a capacidade de formular critérios e tomar decisões fundamentadas pelos mesmos critérios.

- Holístico (viajante profissional) – Está relacionado com a aptidão para planear, gerir e controlar o processo. Um tipo de pensamento que deverá estar presente em todas as fases do projeto.
- Reflexivo (escritor de viagens) – Ter a capacidade de transformar a experiência vivida em conhecimento útil. A reflexão sobre a experiência vivenciada gera o conhecimento que poderá ter aplicação em projetos futuros.

Para dar resposta à questão de investigação no que se refere à epistemologia, a investigadora utilizou o *Logbook* numa versão adaptado como instrumento para registo da cognição dos estudantes durante o projeto. Na versão adaptada do *Logbook*, descrita no capítulo da metodologia na secção 6.6.1, foi acrescentado um novo campo relacionado com as potencialidades únicas e limitações do fabrico aditivo.

5.3 Pelos artefactos resultantes

Considerando que “o conhecimento de design reside nos próprios objetos: nas formas, materiais e acabamentos que incorporam atributos de design” (Cross, 2006, p. 101), a análise da forma e configuração dos artefactos quando desenhados para um processo de fabrico aditivo contribui potencialmente para o conhecimento fenomenológico em design. No entanto, para serem relevantes num contexto de investigação, os artefactos devem ser avaliados, interpretados e enquadrados através de um contexto teórico (Mäkelä, 2007).

Para tal, foi desenvolvida no âmbito deste trabalho uma matriz de avaliação dos artefactos produzidos por FA. A matriz proposta foi desenvolvida com base no conceito de “matriz de avaliação de produto”, uma ferramenta de seleção, usualmente aplicada na prática projetual em design para avaliar uma série de conceitos com o objetivo de escolher um conceito vencedor. No projeto a matriz cruza as características dos conceitos propostos com os requisitos identificados pelos potenciais beneficiários (Milton & Rodgers, 2013). Neste caso, os requisitos identificados pelos potenciais beneficiários são as potencialidades únicas do FA relatadas na literatura técnica e as oportunidades para o design que estas representam.

As oportunidades para o design associadas às potencialidades únicas do fabrico aditivo anteriormente descritas na costumização, a funcionalidade integrada, a complexidade e a democratização do fabrico podem significar novos atributos para o artefacto com um conjunto de vantagens estéticas, funcionais, económicas, ergonómicas e emocionais (Thompson *et al.*, 2016). Assim, as oportunidades para os designers materializam-se através dos artefactos produzidos, porque “AM is changing not only the way we make things, but also the types of things we make” (Seepersad, 2014, p. 10). Para tal os designers necessitam de repensar o processo de fabrico para tirar partido das

potencialidades únicas do fabrico aditivo, tal como repensar o objetivo para usar a tecnologia de forma a maximizar o desempenho do produto e produzir através do fabrico aditivo produtos originais, de características inovadoras, mas realistas. A relação entre custo de montagem e processo de fabrico pode ser superada quando é possível imprimir produtos de geometrias complexas.

Para Gibson *et al.* (2015) “the capabilities of additive manufacturing technologies provide an opportunity to rethink DFM to take advantage of the unique capabilities of these technologies” (p. 399). A liberdade formal que a tecnologia oferece aos designers acontece devido às suas capacidades únicas, as quais incluem (Gibson, Rosen & Stucker, 2010):

- **Complexidade formal**

Devido ao processo construtivo de camada sobre camada, a complexidade formal (*shape complexity*) possibilita a construção de geometrias complexas sem custos adicionais. As geometrias complexas dificilmente produzidas pelos sistemas de fabrico convencionais conferem aos objetos uma nova linguagem estética. Possibilitam também as formas de aparência orgânica de inspiração biomimética, usar a natureza como modelo, observar as suas geométricas incomuns de padrões e texturas para através da tecnologia reproduzir em formas de aparência orgânica esteticamente apelativas.

- **Complexidade funcional**

A complexidade funcional (*functional complexity*) permite ter as funcionalidade integradas: as peças e os mecanismos funcionais podem ser fabricados durante o processo de impressão. Por isso, está relacionada como a possibilidade de imprimir peças articuladas numa única operação, e dessa forma, minimizar o número de peças para montar, reduzir os custos de montagem e diminuir o tempo de montagem (S. Yang & Zhao, 2015).

Durante o processo construtivo da peça, antes de terminar o contorno exterior desta, é possível ter acesso à parte interna do produto. Por isso, de uma forma fácil, dependendo dos processos de FA, a inserção de elementos no interior, como componentes eletrónicos (Gibson *et al.*, 2015), pode reduzir o número de peças a montar e influenciar os custos de montagem.

- **Complexidade hierárquica**

A complexidade hierárquica (*hierarchical complexity*), semelhante à complexidade formal, refere-se às características que permitem a liberdade de formas, através da possibilidade de integrar geometrias complexas em toda a estrutura interna, como preencher partes do produto com estruturas intrincadas ou celulares semelhantes a favos de mel. As estruturas em *lattice* permitem tirar vantagens de geometrias internas que melhoram o desempenho do produto e reduzem o material necessário (Sossou *et al.*, 2018; S. Yang *et al.*, 2015).

Quadro 5.3 **Sistematização dos dados recolhidos na literatura para introdução na matriz de avaliação de artefactos**

Potencialidades únicas do fabrico aditivo	Oportunidades para o design	
Complexidade formal	Produção de pequenas séries	Costumização Personalização Satisfação do consumidor <i>Mass-customization</i>
	<i>Design freedom</i>	Inspiração na Natureza Explora formas inovadoras Geometrias complexas Nova linguagem estética Texturas originais
Complexidade funcional	Funcionalidade integrada	Funções integradas Sem necessidade de montagem Menos tempo de montagem Componentes incorporados Simplifica as cadeias de distribuição Minimiza o número das partes Mecanismos operacionais
Complexidade hierárquica	Estruturas em <i>lattice</i> (estética)	Estruturas leves Melhorias estéticas Menos desperdício Design multifuncional Boa absorção da energia
	Otimização topológica	Menos material Menos custos Depósito do material otimizado Melhorar determinadas funções
Complexidade material	Multimaterial	Sem necessidade de montagem Funções integradas Sem pós-produção

Parte III
Metodologia

Capítulo 6

Pressupostos ontológicos, epistemológicos e metodológicos

No capítulo anterior foram apresentados argumentos, através da revisão da literatura, que validam, no contexto atual, a pertinência de uma investigação que estabelece a ligação entre as tecnologias de fabrico aditivo e a área disciplinar do design nas suas três áreas de conhecimento: praxiologia, epistemologia e fenomenologia. Neste capítulo são apresentadas e justificadas as opções metodológicas da investigação relatada, ao nível do paradigma investigativo, da metodologia, dos métodos adotados e dos instrumentos utilizados para a recolha e análise de dados.

De acordo com a categorização de Frayling (1994), Cross (2007), Friedman (2008), Findelli, Brouillet, Martin, Moineau & Tarrago (2008), posteriormente adaptada e ampliada por Clemente, Tschimmel & Pombo (2107), o estudo relatado constitui uma investigação sobre design (“research about design”).

A investigação sobre design caracteriza-se, sobretudo, por não contemplar projetos de design em que investigador é, ao mesmo tempo, autor. O investigador poderá, neste caso, ser um observador externo de um ou vários projetos de design: “it is possible for an external observer to do research into how”, a designer “is working on his or her work (...) to make a contribution to common knowledge” (Bayazit, 2004, p. 16). Em alternativa, pode debruçar-se sobre o estudo de “other people’s designing, artefacts” ou sobre “people who use artefacts” (Pedgley and Wormald, 2007, p. 71). Ainda, sob a perspetiva de Frayling (1993), que a ela se refere como “research into design”, este tipo de investigação pode incluir estudos teóricos sobre o design sob diversas perspetivas: histórica, social, ética, cultural, entre outras. Assim, assume-se que a investigação sobre design pode ser conduzida por investigadores que não são necessariamente designers, segundo pressupostos ontológicos, epistemológicos e metodológicos provenientes de outras disciplinas. Tal como enunciado por Frayling (1993): “That kind of research “is straightforward, because there are countless models – and archives – from which to derive its rules and procedures” (p. 5).

Naturalmente, para que seja considerada academicamente aceitável terá de respeitar os requisitos da “boa investigação”: ser intencional, inquisitiva, informada, metódica e comunicável e, ao mesmo tempo, produzir conhecimento relevante para o domínio do design em pelo menos uma das suas vertentes (praxiológica, epistemológica e fenomenológica) (Cross, 2007).

No presente estudo, a investigadora não assume o papel de designer mas antes o de observadora de projetos de design, desenvolvidos por estudantes, procurando descrever, compreender e construir conhecimento com

base nessas observações. A partir dos dados recolhidos, procura “melhorar a prática individual, contribuindo para a descrição e compreensão de situações concretas” (Coutinho, 2015, p. 30). Deste modo, e tal como proposto por Clemente *et al.* (2018), trata-se de uma investigação “about design” que se inscreve no paradigma Construtivista ou Interpretativo.

A posição ontológica do construtivismo é o relativismo, ou seja, a visão de que a realidade é subjetiva e difere de pessoa para pessoa e, por essa razão, existem tantas realidades quanto os indivíduos. A epistemologia construtivista é subjetivista admitindo-se que, em relação ao mesmo fenómeno, pessoas diferentes podem construir significados diversos. Portanto, a metodologia interpretativa é direcionada para compreender os fenómenos sob a perspetiva de um indivíduo, valorizando-se o papel do investigador como construtor do conhecimento. A teoria é do tipo interpretativo, ou seja, não é anterior aos dados, mas surge deles. Assim, a investigação qualitativa procura “descobrir significados nas ações individuais e nas interações sociais a partir da perspetiva dos atores intervenientes no processo” através do método indutivo, “que faz com que a construção da teoria se processe (...) a partir do próprio terreno, à medida que os dados empíricos emergem”. Deste modo, privilegiam-se métodos e técnicas “cujo objetivo é recolher dados no meio natural em que ocorrem” (Coutinho, 2015, pp. 28, 30), incluindo métodos como o estudo de caso, fenomenologia, hermenêutica e etnografia e técnicas como entrevistas, grupos de foco ou *think aloud protocols* (Coutinho, 2015, p. 17).

O estudo relatado assenta numa abordagem qualitativa que se concretizou através de um estudo de caso com estudantes de um curso de design de produto do ensino superior politécnico, no sentido de explorar o contributo da TFA na prática projetual e cognição em design e sobre os atributos dos produtos desenhados especificamente para tecnologia aditiva. Em preparação do estudo de caso, foram realizados dois estudos prévios, um primeiro focando a atividade profissional de um designer com trabalho relevante na área do fabrico aditivo e um segundo incidindo sobre a observação de um grupo de estudantes de design no decurso de uma unidade curricular de projeto. Uma justificação metodológica mais detalhada da utilização de estudos prévios e de um estudo de caso é apresentada, respetivamente, nas secções 6.3 e 6.4.

Como técnicas de recolha de dados foram utilizadas, nos estudos prévios, entrevistas e *focus group* e, no estudo de caso, as transcrições de registos áudio da atividade projetual dos estudantes em contexto de sala de aula, os cadernos de projeto individuais dos estudantes e os produtos finais resultantes dos projetos realizados pelos alunos. Os dados recolhidos foram analisados pela investigadora com recurso a instrumentos especificamente desenvolvidos para o efeito: o diagrama processual e a matriz de avaliação de artefactos produzidos por FA, conforme descrito nas secções 6.6.1 e 6.6.2.

Complementarmente, e de acordo com a terminologia adotada por Coutinho (2015), pode ainda dizer-se que a investigação relatada se pode classificar como sendo:

- idiográfica, quanto à conceção do fenómeno social;
- aplicada, quanto à finalidade;
- descritiva, quanto à manipulação de variáveis e quanto ao objetivo;
- exploratória, quanto à finalidade.

A investigação diz-se idiográfica na medida em que, ao focar-se num estudo de caso, “ênfatisa o individual e particular, sem pretender chegar a leis gerais”, o que implicaria a utilização de métodos quantitativos (p. 41). Diz-se também aplicada, uma vez que “está encaminhada para a resolução de problemas práticos” e não para a produção de teoria, como acontece na investigação pura. Dado que não são manipuladas variáveis, como acontece na investigação experimental, o estudo diz-se descritivo. Ao mesmo tempo, o estudo é igualmente descritivo porque “procura descrever fenómenos”. Finalmente, trata-se de uma investigação de natureza exploratória, “de carater provisório na medida em que se realiza para obter um primeiro conhecimento da situação que se quer estudar” (Coutinho, 2015, p. 41). Desta forma, a investigação desenvolve-se num espectro mais alargado (tocando as três áreas do conhecimento em design) mas pouco aprofundado, uma vez que o principal objetivo é apontar caminhos para investigações futuras.

6.1 Questões de investigação e objetivos do estudo

A investigação apresentada tem como propósito explorar os contributos da TFA na prática do designer através de um estudo de caso centrado na prática projetual em contexto educativo e nos artefactos resultantes dessa mesma prática. Face às oportunidades do FA para o design relativamente aos outros processos de fabrico, pretendeu-se compreender de que forma a metodologia de projeto e o pensamento em design durante a prática projetual, designadamente num processo de DpFA, terão de se adaptar e reinventar para tirar partido das potencialidades da TFA e criar produtos inovadores. As implicações da TFA na prática do designer são avaliadas de acordo com as categorias para o conhecimento em design propostas por (Cross, 2006, p. 101).

- Epistemologia do design – estudo dos modos de conhecer específicos do design;
- Praxiologia do design – estudo das práticas e dos processos em design;
- Fenomenologia do design – estudo da forma e configuração dos artefactos.

Desta forma, a investigação descrita procurou dar resposta à seguinte questão:

- Quais os contributos da introdução do fabrico aditivo como paradigma construtivo em projetos de design no contexto académico, no que se refere à metodologia projetual, ao processo cognitivo individual e aos artefactos desenvolvidos?

6.2 Matriz de investigação

Para Choguill (2005) uma matriz de investigação é um instrumento que obriga o investigador a refletir sobre o sentido do estudo proposto, assegurando uma ligação lógica e consistente entre a operacionalização do estudo e os resultados a obter. Visualmente resulta num sistema de colunas e linhas

Figura 6.1
Matriz de investigação

Questão de investigação	Natureza da investigação					
	Cross (2006)	Clemente (2017) a partir de Frayling (2003) e Findelli <i>et al.</i> (2008)	Coutinho (2015)	Paradigma	Metodologia	Método
Quais os contributos da introdução do fabrico aditivo como paradigma construtivo em projetos de design no contexto académico no que se refere:						
· à metodologia projetual?	Praxiológica (Cross, 2001)	Investigação “sobre” o design	Idiográfica Aplicada Descritiva Exploratória	Construtivista / interpretativo	Qualitativa	Estudo de caso
· ao processo cognitivo individual?	Epistemológica (Cross, 2001)					
· aos artefactos finais?	Fenomenológica (Cross, 2001)					

“into which the components of a research project fit, including the goal, objectives, definitions, hypotheses, variables, methods of analysis and anticipated conclusions” (2005, p. 615). A matriz da investigação (Figura 6.1) permite uma melhor compreensão da abordagem metodológica do estudo apresentado, estabelecendo as respetivas ligações entre os objetivos traçados, as fontes de dados e os instrumentos/técnicas de recolha e tratamento de dados.

Desenhada a partir da questão de investigação e do seu desdobramento nas três categorias propostas por Cross (2006), “process, people and products”, são apresentadas na primeira coluna as categorias: metodologia projetual, processo cognitivo individual e artefactos desenvolvidos. Com base nestas três formas de conhecimento em design foram traçados os respetivos objetivos e identificadas as fontes de dados: o processo de design evidenciado nas suas interações semanais com os docentes e nos respetivos dossiers de

Objetivos	Fonte dos dados	Instrumentos/técnicas de recolha de dados	Instrumentos/técnicas de análise de dados
Recolher as perceções dos sujeitos relativamente aos pressupostos, dinâmicas, potencialidades e constrangimentos subjacentes ao design para fabrico aditivo em contexto de ensino e aprendizagem	<ul style="list-style-type: none"> Processo em projeto de estudantes de design 	<ul style="list-style-type: none"> Registo áudio das “críticas ao projeto” Ficha de recolha de dados Dossier do projeto (relatório) 	<ul style="list-style-type: none"> Diagrama processual adaptado a partir de <i>logbook</i> (Clemente, 2016)
Recolher as perceções dos sujeitos relativamente ao processo cognitivo, e em particular aos estilos cognitivos, subjacentes ao design para fabrico aditivo em contexto de ensino e aprendizagem		<ul style="list-style-type: none"> Registo áudio das “críticas ao projeto” Ficha de recolha de dados 	
Avaliar os artefactos desenvolvidos pelos sujeitos em contexto de ensino e aprendizagem em design para fabrico aditivo, no que concerne às potencialidades únicas do fabrico aditivo (complexidade formal, funcional, hierárquica e material)	<ul style="list-style-type: none"> Artefactos 	<ul style="list-style-type: none"> Preenchimento da matriz por um painel de especialistas 	<ul style="list-style-type: none"> Análise da matriz preenchida

projeto, como fontes de dados para os primeiros dois objetivos, e os artefactos resultantes impressos através de FA, como fonte de dados para o terceiro. Com vista à recolha e tratamento de dados, foram utilizados diversos instrumentos e técnicas, tais como o registo áudio, o preenchimento de fichas por estudantes, a consulta dos dossiers de projeto e o preenchimento da matriz de avaliação de conceitos por um painel de especialistas.

6.3 Estudos prévios

Nesta investigação foram utilizados dois estudos prévios, a partir dos quais foram recolhidos dados para delinear o estudo de caso consequente. Nos estudos prévios foi realizada uma primeira abordagem à introdução do fabrico aditivo nos projetos de design, primeiramente na prática de um designer profissional e posteriormente em contexto académico.

O estudo prévio I consistiu na realização de uma entrevista semiestruturada a um designer de produto experiente tendo em vista a recolha de elementos relacionados com a prática projetual individual no desenho de produtos para fabrico aditivo. O guião (Anexo 2) para a entrevista semiestruturada foi desenhado de modo a recolher as perceções do designer relativamente às dinâmicas, potencialidades e constrangimentos subjacentes ao design para fabrico aditivo. O sujeito participante foi o designer Helder L. Santos, licenciado em Design Industrial pela Universidade de Aveiro em 2002, com experiência na área do design de produto. Nos últimos anos tem desenvolvido e disponibilizado *online* vários produtos para serem produzidos por fabrico aditivo, no seu caso em FFF, pois é, atualmente, o sistema de impressão economicamente mais acessível e disseminado. Para além da entrevista foram utilizados os seguintes instrumentos de recolha de dados: cadernos de projeto, cedidos pelo próprio, onde está representado o processo metodológico e criativo dos projetos do designer para fabrico aditivo, e os respetivos artefactos, alguns deles disponíveis no seu portefólio *online*.

O estudo prévio II decorreu em contexto académico com estudantes do 2.º ano da licenciatura em Design da Universidade de Aveiro, e teve como objetivo, entre outros, avaliar a aceitação e motivação dos alunos para trabalhar com a TFA. O estudo realizou-se no ano letivo de 2016/2017 na unidade curricular (UC) de Design de Produto III (DP III) lecionada no Departamento de Comunicação e Arte (DeCA) da Universidade de Aveiro. O grupo participante foram os 53 estudantes inscritos na UC que trabalharam em grupos de 6 alunos num projeto de design de produto sob a orientação de dois docentes com formação de base em design. Apesar de as ações terem sido direcionadas a todos os estudantes presentes na sala, foram apenas recolhidos dados a partir dos grupos que recorreram às tecnologias de fabrico aditivo disponíveis. Foram utilizados os seguintes instrumentos: a observação participante

da investigadora, os cadernos individuais de projeto dos grupos, *focus group* com os grupos de estudantes que apresentaram produtos impressos pela TFA, e os respetivos artefactos finais.

A análise da informação recolhida nos dois estudos prévios permitiram encontrar tópicos a explorar no estudo de caso que se realizou também em contexto académico numa instituição do subsistema politécnico integrada na Universidade de Aveiro. O subsistema politécnico caracteriza-se por um tipo de ensino mais direcionado para a vertente prática, comparativamente com o ensino universitário, o que possibilita uma maior proximidade entre docentes e estudantes.

6.4 Estudo de caso

O estudo de caso é uma estratégia de investigação empírica comumente utilizada quando se pretende explorar, descrever e explicar o como e o porquê de fenómenos, em que o investigador assume pouco ou nenhum controlo. Consiste no estudo intensivo, detalhado e aprofundado de uma entidade bem definida e limitada no contexto e no tempo. O caso é observado no seu contexto natural, preservando-se o seu carácter único e complexo, através de um trabalho de campo. Para esse efeito, recorrem-se a todos os métodos que se revelem apropriados, e a múltiplas fontes de evidência (Coutinho, 2015).

A investigação relatada focou-se no estudo do caso do processo de design para fabrico aditivo de uma turma de estudantes do 2.º ano do curso de Design de Produto e Tecnologia da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção de Aveiro – Norte (ESAN) da Universidade de Aveiro, no contexto da UC de Projeto e Desenvolvimento de Produto II (PDP II) limitando-se, temporalmente, ao 2.º semestre do ano letivo 2017/2018

Relativamente à tipologia do estudo de caso realizado, e de acordo com a classificação de Coutinho (2015), pode dizer-se que se trata de um estudo de caso:

- único, uma vez que se ocupa de um único caso; note-se que, apesar de o estudo prévio II e o estudo de caso terem sido ambos realizados em contexto académico, é importante clarificar que, no âmbito desta investigação, não houve intenção de comparar os dados recolhidos, pelo que não se trata de um estudo de caso comparativo;
- global, porque a turma foi analisada como um todo, ou uma única unidade de análise (e não dividida em diversas unidades de análise com características específicas);
- exploratório e descritivo, quanto aos objetivos, já que procurou proporcionar conhecimento acerca do caso estudado através do relato e descrição dos factos, tal como sucederam.

Num estudo de caso, a constituição da amostra é sempre intencional e neste em específico tratou-se de uma amostra de conveniência, uma vez que a escola onde a investigadora exerce funções como docente tinha a possibilidade de disponibilizar o contexto necessário e adequado à recolha de dados num período de tempo coincidente com o calendário da investigação. O grupo participante era constituído por 25 estudantes inscritos na UC e divididos em grupos de 2 alunos (apenas um grupo tinha 3 elementos), sob a orientação de dois docentes, um da área disciplinar das ciências de engenharia e o outro com formação e experiência profissional em design.

Os instrumentos de recolha de dados foram o registo áudio das “críticas ao projeto”, complementado pelos *moodboard* dos estudantes e respetivos *dossiers* de projeto, bem como as fichas de recolha de dados e os artefactos desenvolvidos, produzidos por fabrico aditivo.

A variedade de instrumentos de recolha de dados resultou das especificidades de cada caso. Os instrumentos escolhidos tiveram em conta as particularidades inerentes à prática projetual dos participantes ao nível metodológico, a disponibilidade dos participantes e o contexto das intervenções. O Quadro 6 sistematiza os instrumentos utilizados nos estudos prévios e no estudo de caso.

Quadro 6.1 Instrumentos utilizados nos estudos prévios e no estudo de caso

		Estudos prévios		Estudo de caso
		Designer Helder L. Santos	PD III	PDP II
Âmbito		Profissional	Académico	Académico
Sistema de ensino		--	Universitário	Politécnico
Ano curricular		--	2.º	2.º
Semestre letivo		--	2.º	2.º
Unidade curricular		--	Projeto em Design III	Projeto de Desenvolvimento de Produto II
Contexto		Sessão presencial com a investigadora	Aulas práticas	Aulas práticas e orientação tutorial (OT)
Instrumentos de recolha	Praxiologia (processo/ metodologia)	<ul style="list-style-type: none"> · Cadernos de projeto · Entrevista semiestruturada 	<ul style="list-style-type: none"> · Cadernos individuais de projeto · <i>Focus group</i> com os alunos · Observação participante da investigadora 	<ul style="list-style-type: none"> · Registos áudio <i>Moodboards</i> · Cadernos individuais do projeto · Fichas de recolha de dados · Observação participante da investigadora
	Epistemologia (pessoas/ designers)			
	Fenomenologia (produtos/ artefactos)	<ul style="list-style-type: none"> · Produtos disponíveis no portefólio <i>online</i> 	<ul style="list-style-type: none"> · Artefactos impressos 	<ul style="list-style-type: none"> · Artefactos impressos
Instrumentos de análise		<ul style="list-style-type: none"> · Análise do conteúdo da entrevista · Observação do conteúdo dos cadernos e artefactos para FA disponíveis no portefólio <i>online</i> 	<ul style="list-style-type: none"> · Análise do conteúdo do <i>focus group</i> · Observação do conteúdo dos cadernos · Matriz de avaliação dos artefactos para FA 	<ul style="list-style-type: none"> · Análise do conteúdo e sistematização em <i>logbook</i> a partir dos registos áudio · Observação do conteúdo dos cadernos e <i>moodboards</i> · Análise dos dados recolhidos na ficha · Matriz de avaliação dos artefactos produzidos por FA

6.5 Instrumentos de recolha

Nesta secção descrevem-se os instrumentos de recolha de dados, tendo em conta a sua aplicação em cada caso. Uma das principais preocupações da investigadora foi procurar escolher instrumentos que não impusessem práticas demasiado morosas ou trabalhosas que pudessem comprometer a motivação de os participantes aderirem ao estudo, tirando partido das práticas já habitualmente utilizadas em contexto de sala de aula, tal como os cadernos de projeto, *moodboard* e “críticas ao projeto”.

Com o designer participante no estudo prévio, a recolha de dados realizou-se através de uma entrevista presencial com a investigadora, seguida de uma sessão expositiva destinada aos sujeitos participantes no estudo de caso, sobre os seus projetos e produtos desenhados para o processo FFF. O Quadro 7 estabelece a relação entre os diferentes casos e os respectivos instrumentos.

Quadro 6.2 Instrumentos utilizados nos estudos prévios e no estudo de caso

	Entrevista semiestruturada	Cadernos de projeto (alunos/designer)	Focus group (alunos)	Registos áudio (críticas ao projeto e moodboard)	Ficha de recolha de dados	Matriz de avaliação dos artefactos	Observação participante da investigadora
Estudo prévio I	X	X					
Estudo prévio II		X	X			X	X
Estudo de caso		X		X	X	X	X

6.5.1 Entrevista semiestruturada

As entrevistas não estruturadas a designers reconhecidos e com experiência são consideradas por Cross (2006) como um método de investigar em design “which sought to obtain these designers’ reflections on the processes and procedures they use – either in general, or with reference to particular works of design” (p. 30). A opção por uma entrevista semiestruturada permitiu combinar uma estrutura de perguntas organizadas e predefinidas com a liberdade de abordar novos assuntos e de colocar novas perguntas geradas a partir das respostas do entrevistado (Thomas, 2009). Para tal, foi idealizado um guião (Anexo 2) com um conjunto de questões pensadas para explorar sobre os

métodos em design e o processo criativo do designer, bem como os artefactos por si desenhados para fabrico aditivo. A entrevista conduziu o designer a uma autorreflexão retrospectiva sobre o seu processo metodológico e cognitivo durante o projeto e o contributo/impacto do FA nos produtos desenhados. A entrevista foi registada em áudio e teve a duração de cerca de 120 minutos. A sua transcrição foi validada pelo entrevistado e encontra-se no Anexo 3.

6.5.2 **Cadernos de projeto**

Tendo em conta que a atividade de um designer enquanto projeta é provisória, rápida e efémera, torna-se de todo pertinente a adequação dos instrumentos de recolha de dados. Para Pedgley (2007), um processo de design implica atividade cerebral, capacidades cognitivas como pensar, imaginar e decidir, tal como atividades “práticas” e mais perceptíveis como recolher e sistematizar a informação, desenhar e modelar, sendo algumas delas mais fáceis de recolher e mais perceptíveis na sua análise.

Foram consultados os cadernos individuais de projeto dos dois trabalhos decorrentes em contexto académico (estudo prévio II e estudo de caso) e os cadernos disponibilizados pelo designer profissional (estudo prévio I). Os cadernos de projeto permitiram observar dados sobre o processo dos estudantes durante a prática projetual, no que se refere a tarefas realizadas, dados analisados, imagens recolhidas e desenhos experimentais que realizaram durante as diferentes fases dos projetos.

6.5.3 **Focus group**

O método de recolha de dados *focus group* consiste numa “discussão-guiada” (Coutinho, 2015), moderada pelo investigador, a um grupo de pessoas cuidadosamente selecionadas, por características ou competências em comum, para debaterem de forma informal questões sobre o tema proposto, “to get at the understandings, beliefs and values of the participants” (Thomas, 2009, p. 170). No decurso da investigação foram realizadas três sessões de *focus group*.

No estudo prévio II, foram realizados dois *focus group* com vista à auscultação das perceções dos grupos de estudantes que desenharam produtos para fabrico aditivo acerca do contributo da TFA no projeto proposto. As sessões foram realizadas no final do projeto proposto, dinamizadas pela investigadora e tiveram, aproximadamente, a duração de 45 minutos por grupo, num total de 90 minutos. As transcrições das duas sessões validadas pelos intervenientes e o guião do *focus group* encontram-se no Anexo 4.

A terceira sessão de *focus group* reuniu dois participantes com experiência em fabrico aditivo, que, a partir de dois produtos produzidos pela TFA, avaliaram um conjunto de parâmetros representativos das potencialidades

únicas do fabrico aditivo, a incluir na matriz de avaliação dos artefactos. A sessão teve a duração de cerca de 60 minutos e resultou num conjunto de recomendações e propostas de melhoria a implementar na versão final da matriz.

6.5.4 Registos áudio das “críticas ao projeto” e *moodboard*

As críticas ao projeto ou “design reviews” são uma prática pedagógica bastante comum nas unidades curriculares de projeto de design, e consistem em breves reuniões entre os estudantes e os docentes, individualmente ou em grupo, para discutir a evolução do projeto (Cardoso *et al.*, 2014). No estudo prévio II e no estudo de caso, ambos realizados em contexto académico, os estudantes apresentavam e discutiam o projeto, semanalmente, com os docentes, com vista à validação do trabalho desenvolvido até à data e à definição de orientações para as etapas seguintes. O registo áudio destas interações fez-se exclusivamente no estudo de caso (PDP II), onde todos os estudantes, organizados em grupos de dois, desenharam produtos para fabrico aditivo. Na UC de PDP II onde foi realizado o estudo de caso, é prática habitual da UC os estudantes discutirem o trabalho na presença de um *moodboard* que serve de painel de inspiração e simultaneamente como suporte de comunicação do projeto aos docentes. De acordo com as indicações dos docentes, o *moodboard* era atualizado semanalmente através de textos, imagens, palavras-chave, ideias e *mindmaps*. Para os estudantes, o *moodboard* ajuda a sistematizar o trabalho desenvolvido durante a semana, e para os docentes auxilia a avaliação do progresso do trabalho em curso. Numa fase final do projeto, as interações passaram a realizar-se junto ao computador, com um ficheiro CAD aberto no monitor, e no final, com a ajuda de modelos/protótipos físicos impressos.

A investigadora registou em suporte áudio todas as sessões, que tiveram uma duração de 3 horas (aulas práticas e de orientação tutorial), durante 13 sessões num total de cerca de 41 horas (aproximadamente) de interação entre os estudantes e os dois docentes. O registo áudio foi posteriormente transcrito e analisado. Note-se que os assuntos abordados no contexto de sala de aula cujo conteúdo a investigadora considerou irrelevante para a investigação em curso foram eliminados da transcrição. Em alguns casos, em paralelo com o registo áudio, foi necessária a visualização do respetivo *moodboard* por parte da investigadora, para compreender melhor a ideia ou o pensamento que o aluno pretendia comunicar. Nestes casos foram acrescentadas notas à transcrição.

6.5.5 Ficha de recolha de dados

No estudo de caso, a fim de recolher as perceções dos estudantes quanto à metodologia de projeto e ao seu processo cognitivo ao longo da prática projetual, aplicou-se a ficha que se encontra no Anexo 1. As fichas de recolha de dados foram preenchidas pelos estudantes individualmente em contexto de sala de aula duas vezes no decurso do projeto. A ficha foi aplicada pela primeira vez, individualmente, na quinta semana de aulas, tendo a maioria dos grupos explorado, de forma sequencial ou alternada, as duas primeiras fases do modelo E6², Emergência e Empatia. A segunda ficha foi preenchida pelos estudantes na última sessão destinada às apresentações finais.

A ficha teve como objetivos a auscultação dos estudantes de modo a: (1) identificar as fases do modelo E⁶ (Emergência, Empatia, Experimentação, Elaboração, Exposição) e as respetivas subfases (Exploração e Avaliação) já percorridas; (2) identificar os *mindsets* alcançados até à data; (3) avaliar o conhecimento sobre as tecnologias de fabrico aditivo mais comuns; e (4) identificar quais as vantagens e desvantagens da TFA reconhecidas pelos estudantes para o produto que estão a desenvolver. A análise dos dados recolhidos encontra-se na secção 9, que descreve a intervenção em PDP II.

6.5.6 Observação participante da investigadora

No estudo prévio II e no estudo de caso, a investigadora esteve presente como observadora, no entanto assumiu diferentes posturas consoante a informação que pretendia obter. No estudo prévio II na UC de PD III, os estudantes não conheciam a investigadora, tendo sido apresentada pelo docente responsável da UC. A investigadora explicou o propósito do seu estudo e quais as suas intenções e justificou a sua presença na sala de aula. A investigadora dinamizou quatro horas e meia em três sessões nas semanas 1, 3 e 5 calendarizadas para o projeto, tendo estado presente na maioria das sessões até ao final do semestre, incluindo a apresentação final do projeto. A primeira sessão teve uma duração de duas horas, e procurou incentivar os estudantes a aceitarem o desafio proposto e desenharem um produto para fabrico aditivo. As seguintes intervenções tiveram a duração de uma hora cada, onde foi apresentado o modelo de *Design Thinking Evolution 6*² e algumas técnicas para a fase de geração de ideias que os estudantes poderiam recorrer.

No estudo de caso da UC de PDP II, os estudantes já conheciam a investigadora, enquanto docente da ESAN. Na primeira sessão, a investigadora deu a conhecer aos estudantes as suas intenções, a razão da sua presença habitual nas aulas e assumiu um papel menos participativo, procurando intervir apenas quando solicitada pelos alunos ou docentes para esclarecer algo relacionado com a sua investigação ou quando considerou que o seu conhecimento ao

nível da tecnologia, metodologia ou experiência profissional poderia ser uma mais-valia para o trabalho em discussão e contribuir para o seu avanço e aperfeiçoamento. No decurso da investigação, a investigadora manteve um diário de campo onde foi registando semanalmente, após cada sessão que esteve presente ou dinamizou, os acontecimentos mais significativos, bem como os seus pensamentos, perceções e reflexões. Desta forma, pode afirmar-se que a participação da investigadora esteve, de acordo com Coutinho (2005), entre a observação reativa, que significa “que o investigador identifica, explica aos participantes quais as suas intenções, mas assume sempre o seu papel de investigador, não tentando mudar o rumo natural dos acontecimentos” (p. 138), e a observação semiparticipante. Em algumas situações a investigadora foi meramente uma observadora, e em outras sentiu necessidade de intervir, de forma a dar o seu contributo nos projetos em curso.

6.6 Instrumentos de análise

Nesta secção descrevem-se os instrumentos de análise, o diagrama processual e a matriz de avaliação dos artefactos que permitiram analisar os dados recolhidos no estudo de caso. Os instrumentos de análise foram adaptados de instrumentos utilizados previamente em contexto de ensino/aprendizagem do design por projeto como o *logbook* (Clemente, 2016) ou concebidos pela investigadora, como a matriz de avaliação de artefactos produzidos por FA. A primeira proposta da matriz com a qual foi realizado um teste-piloto com especialistas de FA encontra-se publicada no livro de Atas de Conferência Internacional.

6.6.1 *Logbook* adaptado e diagrama processual

A investigadora procurou não interferir, ou interferir o mínimo, no desenrolar do projeto, por isso, a fim de minimizar a quantidade de tarefas adicionais solicitadas aos estudantes, a investigadora recolheu dados, ao nível da prática projetual e do pensamento em design, através das críticas aos projetos sem interferir no desenrolar do projeto. O registo áudio registou as breves interações semanais entre estudantes e docentes, ao longo do projeto, com os objetivos de recolher dados referentes à praxiologia e epistemologia.

Quanto às fases do modelo E.6², as transcrições dos registos áudio e a consulta dos cadernos individuais de projeto e *moodboards* permitiram identificar o tipo de tarefas que os estudantes haviam realizado durante a semana findada. Algumas das informações relatadas pelos estudantes foram posteriormente validadas através da leitura do dossier do projeto (relatório) entregue aos docentes na última aula.

Para a análise dos dados foi utilizado um *logbook* adaptado de Clemente (2016). Da auscultação das verbalizações dos estudantes durante o projeto, foi possível para a investigadora identificar, a partir da sua percepção, em que fase do modelo E.6², Emergência, Empatia, Experimentação, Elaboração e Exposição, os grupos de estudantes se encontravam e os estilos cognitivos que os estudantes mobilizaram em cada sessão. A Figura 6.2 mostra o desenho do *logbook* adaptado onde a investigadora registou os dados relacionados com a metodologia e o pensamento dos estudantes de cada grupo de trabalho, decorrentes de cada sessão/aula.

SESSÃO N.º		FASE / sub-FASE							ESTILOS COGNITIVOS																												
1		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																			Do
2		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
3		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
4		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
5		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
6		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
7		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
8		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
9		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
10		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
11		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
12		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
13		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
14		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	
15		F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	F	s-F	Es																		Do	

Figura 6.2
Parte do *logbook* adaptado para registo das categorias praxiológicas e epistemológicas

Como seria expectável, visto se tratar de um projeto de DpFA, estudantes e docentes mencionaram nas suas comunicações durante a prática projetual as vantagens e limitações do FA para a proposta de produto que desenvolveram. No *logbook* adaptado (Figura 6.3), a investigadora registou os tópicos referidos e identificou quem mencionou, estudante (Es) ou docente (Do). A importância de separar teve a ver com a necessidade de registar em que fase do projeto os estudantes introduziram o fabrico aditivo no seu processo.

SESSÃO N.º	Vantagens do FA	Es		Do	Limitações do FA	Es		Do
1								
2								
3								

Figura 6.3

Parte do *logbook* adaptado para registo das vantagens e limitações do FA referidas pelos estudantes e docentes

Os diagramas processuais realizados posteriormente à sistematização dos dados através do *logbook* permitiram uma melhor visualização dos dados durante a prática projetual dos estudantes. A informação presente no diagrama encontra-se disposta ao longo de uma linha de tempo onde estão identificadas as 13 sessões do semestre. O esquema da Figura 6.4 mostra a forma como foram organizados os dados relativos ao processo metodológico, ao pensamento em design e, por último, a introdução do FA. Para cada sessão fora identificadas, a partir das perceções da investigadora: fases e subfases do modelo, estilos cognitivos dos estudantes predominantes e as vantagens e limitações do FA que os estudantes os docentes referiram na aula. Para o processo foi utilizada a simbologia das cores do modelo E.6², identificando a subfase com um círculo em linha (○) para momentos de Exploração e um círculo preenchido (●) para os momentos de Escolha. Para os estilos cognitivos foram utilizados ícones representativos das profissões da taxonomia adotada. Quanto às vantagens do FA, foram assinaladas com um sinal positivo sobre um fundo azul; e as limitações, em coerência, com um sinal negativo sobre um círculo vermelho.

Os diagramas processuais de cada grupo analisado são apresentados no capítulo 9, referente a análise dos resultados, onde é retomada a explicação do diagrama processual, incluindo a Figura 6.4 com o esquema explicativo da disposição dos dados.

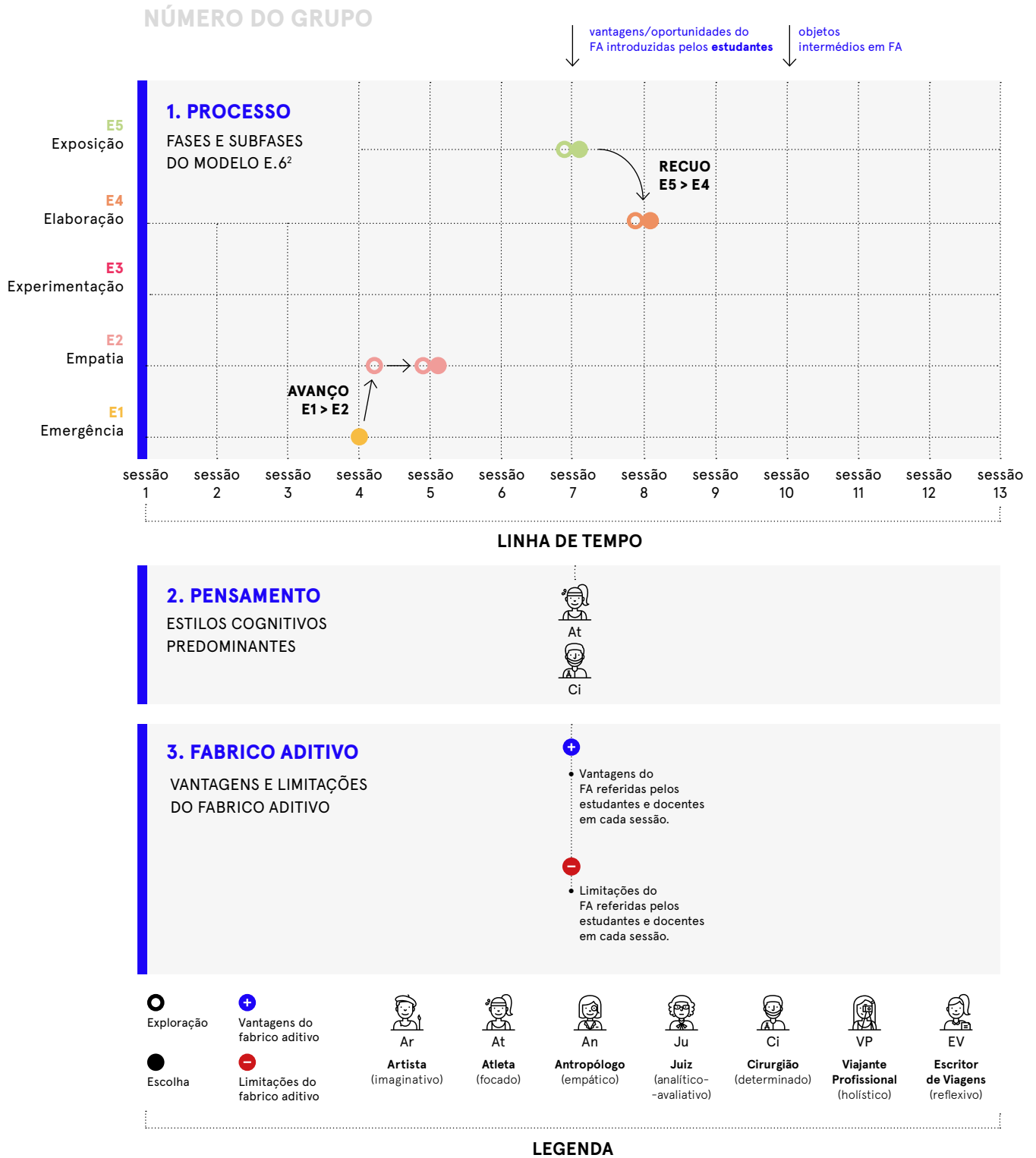


Figura 6.4
Esquema explicativo do diagrama processual

6.6.2 Matriz de avaliação dos artefactos para fabrico aditivo

Para avaliar os artefactos finais do estudo de caso, foi aplicada a matriz de avaliação delineada pela investigadora, com base nos critérios representativos de uma estética e funcionalidade associada ao fabrico aditivo. Com o objetivo de validar os itens presentes na primeira proposta de matriz foi realizado um teste-piloto. A primeira proposta de matriz apresentada no Quadro 6.3 era composta pelas oportunidades para o design através das potencialidades únicas do FA, à qual se acrescentou uma escala de Linkert de 1-5, com o 1 (um) a representar o uso pouco eficiente e o 5 (cinco) um uso altamente eficiente.

As forças e fraquezas da matriz foram discutidas em sessão de *focus group* moderada pela investigadora e na presença de dois especialistas em fabrico aditivo, uma investigadora da área de Engenharia de Materiais com formação em Design de Produto e um docente e investigador em Engenharia Mecânica. Os participantes foram selecionados devido à sua experiência, nomeadamente na sua participação em vários projetos de investigação baseados nas tecnologias de fabrico aditivo, em diferentes materiais, incluindo polímeros, metais, cerâmicas e compósitos. Os participantes possuem também experiência na avaliação dos conceitos dos estudantes em cursos de Design de Produto. O teste-piloto consistiu na sessão de *focus group*, visando a análise de dois artefactos idealizados e produzidos por fabrico aditivo.



Figura 6.5
Focus group

Quadro 6.3

Primeira proposta para matriz de avaliação dos artefactos de FA com escala de Linkert 1-5

Potencialidades únicas do fabrico aditivo	Oportunidades para o design	Escala de Linkert (1-5)
Complexidade formal	Produção de pequenas séries	Customização Necessidades do mercado (personalização) Satisfação do consumidor <i>Mass-customization</i>
	<i>Design freedom</i>	Inspiração na Natureza Explora formas inovadoras Geometrias complexas Nova linguagem estética Texturas originais
Complexidade funcional	Funcionalidade	Funções integradas Sem necessidade de montagem Menos tempo de montagem Componentes incorporados Simplifica as cadeias de distribuição Minimiza o número das partes Mecanismos operacionais
		Estruturas em <i>lattice</i> (estética)
Complexidade hierárquica	Estruturas em <i>lattice</i> (estética)	Estruturas leves Melhorias estéticas Menos desperdício Design multifuncional Boa absorção da energia
	Otimização topológica	Menos material Menos custos Depósito do material otimizado Melhorar determinada funções
Complexidade material	Multimaterial	Sem necessidade de montagem Funções integradas Sem pós-produção

Um dos objetos foi a lâmpada Coralight de Helder L. Santos (Figura 6.6) a partir de 4 ficheiros estereolitográficos (STL) e instruções de montagem que foram retirados da plataforma *online* <http://www.eumakers.com/it/coralight-lampada-da-tavolo-898.html>.

O outro objeto analisado foi uma peça de união de linha de mobiliário desmontável de múltiplas configurações (Figura 6.7), resultante de um projeto académico de dois alunos do 2.º ano de Design.



Figura 6.6
Lâmpada de Coralight de Helder L. Santos



Figura 6.7
Peça impressa do projeto de linha de mobiliário DIY

O primeiro artefacto ilustrado na Figura 6.6 (130 x 130 x 190 mm) foi impresso pela FFF (Fused Filament Fabrication), uma técnica que utiliza uma impressora doméstica de uma cabeça da WITBOX, com um volume de impressão DIN-A4 (210 x 297 mm) e uma altura de até 20 cm, num filamento de ácido poliláctico termoplástico (PLA) de cor verde metálico, respeitando as indicações recomendadas pelo designer. O candeeiro de mesa foi escolhido do portefólio *online* do designer Helder L. Santos.

O segundo artefacto (95 x 190 x 120 mm) visível na Figura 6.7 foi impresso através da tecnologia Material Jetting, num equipamento Objeto Stratasys EDEN 260VS com tamanho de construção de 255 x 252 x 200 mm. Uma impressora profissional que permite peças dimensionalmente precisas. A peça monomaterial, uma resina acrílica translúcida rígida, tem a aparência de um produto final e desempenha a sua função de montagem de peças padronizadas. Inspirada pelas teias de aranha, este produto explora a liberdade de

design permitida pelo processo Material Jetting. Os alunos decidiram optar por essa tecnologia depois de ter problemas com a tecnologia FFF disponível, devido à geometria complexa da peça e a sua textura na superfície.

O *focus group* teve o intuito de descobrir a opinião dos participantes sobre a efetividade da matriz de avaliação proposta e solicitar sugestões de melhoria. Cada participante foi convidado a preencher individualmente a matriz de avaliação, referente aos dois artefactos para apreciação. Para recolher as suas perceções durante a avaliação dos produtos através da matriz, a investigadora solicitou aos participantes que pensassem em voz alta e expusessem as suas considerações.

Depois de observarem os dois artefactos, os especialistas facilmente identificaram a tecnologia de fabrico utilizada para o fabrico de cada uma das peças e o respetivo material, enfatizando que a forma “do produto” é sempre limitada pela tecnologia AM e pelas limitações do material. Por essa razão, a avaliação de tópicos como “Design freedom”, “Minimizar o número de peças” ou “Componentes integrados” está fortemente dependente da própria tecnologia de FA, bem como do modelo do equipamento e dos materiais de impressão.

Devido à natureza muito diferente dos dois produtos comparados, bem como às características inerentes de cada uma das tecnologias que imprimiu os produtos, o principal resultado do *focus group* foram as dificuldades experienciadas pelos próprios participantes no preenchimento da matriz. Os participantes indicaram que itens como “Sem necessidade de montagem” e “Menos tempo de montagem” eram difíceis de quantificar através de uma escala numérica. Os participantes mostraram alguma hesitação ao responder a alguns itens, como “Mecanismos operacionais” e “Satisfação do cliente”, tendo a necessidade de pedir esclarecimentos à investigadora sobre o tópico. As observações feitas levaram à conclusão de que alguns itens não eram suficientemente explícitos e claros, até para os especialistas em FA.

As dificuldades sentidas pelos especialistas em avaliar certos parâmetros presentes na matriz obrigaram a investigadora a repensar a estratégia de conseguir analisar os artefactos relativamente às suas potencialidades únicas de FA. A primeira proposta de matriz foi validada através da publicação de artigo apresentado em conferência internacional.

As dúvidas suscitadas em relação à terminologia usada poderá relacionar-se com a natureza emergente da TFA. A literatura mostra que não existe ainda uma estabilização dos conceitos relacionados com a tecnologia (Pradel *et al.*, 2018, p. 168):

(..) Different authors use a range of terminology, including: design rules (Yang & Zhao, 2015), AM design rules (Kumke, Watschke & Vietor, 2016), ‘restrictive DfAM’ (Laverne *et al.*, 2015) and design constraints (Hague, Campbell & Dickens, 2003).

Tendo em conta que no painel de especialistas definido para avaliar os artefactos estiveram profissionais de diferentes áreas científicas, como design, engenharia mecânica e materiais, nem todos especialistas em FA, optou-se por repensar a matriz de forma a procurar uma terminologia compreensível aos participantes menos familiarizados com o FA e a agrupar os itens que, devido à proximidade do seu significado, pudessem suscitar dúvidas. O Quadro 6.4 mostra o resultado após a simplificação dos itens a colocar na matriz.

Quadro 6.4 Tópicos para o redesenho da matriz

Potencialidades únicas do fabrico aditivo (Gibson <i>et al.</i> , 2015)	Oportunidades para o design a partir das potencialidades únicas do FA	Vantagens para os produtos/consumidor
Complexidade formal <i>Shape complexity</i>	Geometrias complexas (Gibson <i>et al.</i> , 2015)	<ul style="list-style-type: none"> · Explorar formas inovadoras · Inspiração biomimética · Formas de aparência orgânica
	Produção de pequenas séries (séries de um) (Ford <i>et al.</i> , 2015; Huang <i>et al.</i> , 2013)	<ul style="list-style-type: none"> · Customizável · Personalizável · Valor simbólico (Diegel & Singamneni, 2010)
Complexidade hierárquica <i>Hierarchical complexity</i>	Otimização topológica (Ford & Despeisse, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> · Otimização do uso do material · Diminuição do material/preço · Estruturas mais leves · Redução do impacto ambiental
	<i>Lattice</i> (Sossou, Demoly, Montavon & Gomes, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> · Menos material · Redução de custo · Peças mais leves · Melhor desempenho
Complexidade funcional <i>Functional complexity</i>	Funcionalidade integrada (R. J. M. Hague, 2006)	<ul style="list-style-type: none"> · Mais rápido de produzir · Redução do número de peças para montar · Redução do tempo de montagem
	<i>Multi-assemblies</i> (Hague, 2006)	<ul style="list-style-type: none"> · Sem necessidade de montagem
	Consolidação das partes (Hague, 2006)	<ul style="list-style-type: none"> · Melhorar o desempenho · Menos tempo de montagem
	Multifuncionalidade (Hague, 2006)	<ul style="list-style-type: none"> · Ter componentes inserido
Complexidade material	Multimaterial (Vaezi, Chianrabutra, Mellor & Yang, 2013)	<ul style="list-style-type: none"> · Melhorar a funcionalidade · Conseguir diferentes propriedades · Reduzir o tempo de pós-produção

A partir dos principais tópicos e antecipando algumas dificuldades que pudessem surgir pelos participantes menos familiarizados com a tecnologia de FA, a investigadora considerou fazer corresponder as oportunidades para o design a atributos no produto. Assim, a matriz redesenhada listava um conjunto de atributos associados ao FA, distribuídos pelas respectivas complexidades (Quadro 6.5). Para avaliar cada atributo do produto foi inserida na matriz uma escala de 0 a 3, sendo atribuída a seguinte codificação: 0 = desconheço; 1 = uso pouco eficiente; 2 = uso eficiente; e 3 = uso altamente eficiente. A introdução do 0 = desconheço permitiu que, perante a ausência de informação sobre o produto ou mesmo falta de conhecimento da parte participante, a resposta não tivesse influência no resultado.

Quadro 6.5 Atributos de um produto de FA distribuídos pelas respectivas complexidades

Potencialidades únicas do fabrico aditivo (Gibson <i>et al.</i> , 2015)	O produto...
Complexidade formal	<ul style="list-style-type: none"> · explora formas inovadoras · tem formas de aparência orgânica · é customizável/personalizável
Complexidade funcional	<ul style="list-style-type: none"> · tem componentes inseridos · tem funções integradas · tem mecanismos incorporados
Complexidade hierárquica	<ul style="list-style-type: none"> · tem deposição do material otimizada · usa <i>lattice</i> para reduzir o peso · usa <i>lattice</i> para melhor desempenho do produto
Complexidade material	<ul style="list-style-type: none"> · é multimaterial para conseguir funcionalidade · usa múltiplos materiais para ter diferentes propriedades · dispensa a pós-produção

Para além do preenchimento da matriz, foram ainda colocadas questões relacionadas com o produto que pretenderam auscultar as perceções dos participantes sobre a estética do produto e originalidade: “É original?”, “É apelativo esteticamente?”; sobre a funcionalidade do produto: “Atingiu o objetivo proposto?”; informações relacionadas com uma adequada utilização da tecnologia de FA: “Tirou partido da tecnologia?”, “Seria possível de produzir pelos processos de fabrico convencionais?”. Neste caso, os participantes responderiam com “Sim”, “Não” ou “Desconheço” (Figura 6.8).

A matriz final foi preenchida por especialistas de diferentes áreas: engenharia mecânica, design e materiais, na presença da investigadora e dos artefactos impressos. Inicialmente, a investigadora explicou aos participantes quais os objetivos da sessão, descreveu os artefactos e qual o seu propósito. Para a familiarização dos participantes com a matriz de avaliação explicou de forma breve cada um dos tópicos e o modo de preenchimento da matriz.

Os resultados encontram-se descritos no capítulo 9 e permitiram avaliar de que forma os estudantes conseguiram explorar as complexidades formal, funcional, hierárquica e material nos artefactos que desenharam.

Figura 6.8
Matriz de avaliação dos artefactos de FA

		escala: 1= uso pouco eficiente 2 = uso eficiente 3=uso altamente eficiente 0 = desconheço			
O produto...		artefacto A, B, C,...			
1. explora formas inovadoras					
2. tem formas de aparência orgânica					
3. é customizável / personalizável					
4. tem componentes inseridos					
5. tem funções integradas					
6. tem mecanismos incorporados					
7. tem deposição do material otimizada					
8. usa <i>lattice</i> para reduzir o peso					
9. usa <i>lattice</i> para melhor desempenho do produto					
10. é multimaterial para conseguir funcionalidade					
11. usa múltiplos materiais para ter diferentes propriedades					
12. dispensa a pós-produção					
		escala: X= SIM O = desconheço			
1. É original?					
2. É apelativo esteticamente?					
3. Atingiu o objetivo do produto?					
4. Tirou partido da tecnologia?					
5. Seria possível de produzir pelos processos de fabrico convencionais?					

Parte IV
Estudo empírico

Capítulo 7

Estudos prévios

Este capítulo descreve os dois estudos prévios realizados no âmbito da investigação. O primeiro estudo prévio teve como participante um designer profissional com experiência em desenhar produtos para FA; quanto ao segundo estudo prévio diz respeito ao trabalho realizado em contexto académico com alunos de Design do Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro. Ambos os estudos prévios contribuíram com tópicos e estratégias a explorar para o estudo de caso.

7.1 Estudo prévio I: designer de produto

Os estudos em design cujos participantes são estudantes são mais frequentes, devido à disponibilidade dos sujeitos e do acesso fácil a uma amostra mais representativa (Cross, 2006). Contudo, ao nível de experiência prática, são menos reveladores quando comparados com designers experientes. A prática projetual adquirida através da experiência profissional pode significar diferentes estratégias cognitivas e tomadas de decisão, determinantes para o produto final. A decisão de incluir, mesmo no contexto de estudo prévio, um designer com prática profissional em design de produtos para FA teve como objetivo recolher informações sobre as estratégias metodológicas e cognitivas decorrentes de um conhecimento empírico durante a prática projetual que pudessem ser replicadas num contexto académico de forma a melhorar o desempenho dos estudantes quando desenhassem para a TFA.

Foram utilizados como instrumentos de recolha de dados os cadernos cedidos pelo designer, onde é perceptível parte do processo criativo dos projetos para fabrico aditivo. Para além da informação presente nos cadernos (desenhos, anotações) foram também analisados visualmente os artefactos disponíveis *online* e realizada uma entrevista presencial semiestruturada, posteriormente transcrita (Anexo 3) e analisada. O Quadro 7.1 resume os objetivos, os critérios de seleção do participante, os instrumentos de recolha de dados utilizados e os critérios de seleção.

Quadro 7.1

Sistematização do estudo de caso descrito na investigação

Participante/fonte de dados	Designer de produto
Objetivo principal	Recolher dados para delinear o estudo de caso
Objetivos secundários	Recolher as perceções do designer relativamente ao processo metodológico e cognitivo subjacente ao design para fabrico aditivo. Analisar os cadernos dos projetos de FA e os artefactos produzidos pelo designer disponíveis no portefólio <i>online</i> no que concerne às capacidades únicas do fabrico aditivo rápido
Critérios de seleção do participante	Experiência em desenhar produtos para uma tecnologia de fabrico aditivo, neste caso FFF. Acessível para entrevista e para disponibilizar os cadernos dos projetos para FFF. Reconhecimento por parte de empresas na área do fabrico aditivo (3DHubs) e plataformas <i>online</i> (MyMiniFactory).
Instrumentos de recolha de dados	Entrevista presencial semiestruturada Cadernos dos projetos para FFF e os artefactos resultantes do projeto disponíveis no portefólio <i>online</i>

7.1.1 Caracterização do designer participante

Helder L. Santos é licenciado em Design Industrial pela Universidade de Aveiro desde 2002. Trabalhou em Portugal, Reino Unido e Itália, onde adquiriu experiência como designer industrial na LG Electronics Italia em Milão. Desde 2006, quando teve o primeiro contacto com a impressão 3D, no âmbito do seu mestrado em Design Industrial do Politécnico de Milão e após adquirir uma impressora FFF, passou a desenhar produtos com mais frequência. Colaborou com empresas relacionadas com o fabrico aditivo como a Layer One Labs no desenvolvimento de conteúdos sobre impressão 3D para o mercado educacional. O seu trabalho relacionado com a impressão 3D foi reconhecido com uma Menção Honrosa no “Carbon Fiber Design Contest” em abril de 2014 e em outubro de 2015 recebeu o Prémio do Público no “3D Print Facade” organizado pela 3D Hubs em parceria com DUS Architects.

Nos últimos anos, tem desenvolvido produtos para serem produzidos por FFF e partilhados *online* através das plataformas digitais, como *eumakers.com*, *3Dhubs.com*, *MyMiniFactory.com*. Com mais de 20 ficheiros de acesso livre, apresenta um portefólio com produtos de qualidade estética e funcional, com os quais tem conseguido destacar-se na área da TFA e ser reconhecido por empresas líderes. Os elogios ao trabalho do designer referem a forma como este compreende o processo de fabrico aditivo, o que lhe permite desenhar produtos funcionais de qualidade e otimizados para a tecnologia. Os conhecimentos técnicos do designer em termos de modelação 3D são

também referidos, destacando a sua capacidade de resposta às exigências e qualidade profissional.

Helder understands the 3D printing process in such a way that he can design finished products of very high quality, cutting the need for post-processing or support material for example. I am also inspired by the content he creates, whether remixing upcycled objects, accessibility products or educational content.

by Rees Calder – MyMiniFactory Chief Marketing Officer

I worked with Helder on a project that involved creating a portable case for the Beaglebone Black Microcontroller. I picked Helder for the design work after seeing his amazing portofolio *online*. In terms of 3D Modelling and Product Design he is one of the leaders in the 3D printing field. He was a joy to work with, very responsive and intuitive to the requests I laid in front of him.

by George Fisher-Wilson – 3D HUBS Business Development and Communications Manager

Em entrevistas para a imprensa, relacionada com as tecnologias de fabrico aditivo, tem divulgado o seu trabalho e relatado a sua experiência enquanto designer de produto. Na entrevista “Helder Santos, le designer inspiré par l’impression 3D” disponível *online* em: <https://www.3dnatives.com/helder-santos-designer-3d-19062015/> descreve o seu trabalho como uma “mistura entre a sua paixão pelo design e seu profundo desejo de explorar a tecnologia de impressão 3D. (...) Ele inspira-se na própria natureza da técnica de impressão por deposição em camadas (FFF), na sua estética, nos seus limites e nas vantagens.”

7.1.2 Entrevista ao designer participante

Para Quivy, 1995, “os métodos da entrevista caracterizam-se por um contacto direto entre o investigador e os seus interlocutores ”permitindo” uma verdadeira troca, durante a qual o interlocutor (...) exprime as suas perceções de um acontecimento ou de uma situação, as suas interpretações ou as suas experiências” (p. 192). Para conseguir recolher elementos de análise, elaborou-se um guião estruturado (Anexo 2) com conjunto de perguntas orientadoras que permitiram à investigadora conduzir a entrevista para os objetivos definidos. A entrevista semiestruturada e presencial procurou auscultar o designer relativamente ao seu percurso profissional enquanto designer de produto e à sua experiência e conhecimento relativamente à TFA. Procurou também compreender de que forma o processo FFF influenciou a sua metodologia

projetual e os produtos que desenhou. De seguida, apresenta-se a análise do conteúdo da entrevista com recurso a excertos da conversa que permitiram fazer as inferências.

A escolha do FA como tecnologia para materializar as suas ideias obrigou a uma reflexão por parte do designer. Por isso, quando questionado sobre os motivos que o levaram a escolher um processo, no seu caso uma impressora FFF, em detrimento de uma pequena CNC, alega razões relacionadas com a questão económica, as limitações do espaço de trabalho, a possibilidade de uma maior liberdade formal, mesmo num processo generalizado e de baixo custo, como é o caso da FFF:

é uma tecnologia que financeiramente estava ao meu alcance, (...), optei pela impressão 3D porque permite-me fazer, criar peças, muito mais complexas. (...) A CNC é uma coisa muito interessante, consegues ter um acabamento praticamente industrial, mas por outro lado estás muito limitado, a impressão 3D abre-te um pouco mais espaço à exploração (...)

A CNC faz muito lixo e precisa de muito mais espaço. A impressão 3D é muito mais limpa (...) muito mais fácil de ter num escritório ou num quarto.

Relativamente aos contributos e implicações da TFA, o designer admite os inconvenientes que considera mais significativos, como a inconsistência no acabamento das peças e os limites dos volumes das áreas de impressão dos equipamentos:

A desvantagem da impressão 3D é não conseguir obter um produto com o acabamento final que se espera um acabamento industrial. (...)

O volume (área de impressão) pode ser uma desvantagem, pode andar por volta do 20 cm³. (...)

No entanto, revela a sua “paixão” pela tecnologia e valoriza mais a possibilidade de materializar num curto espaço de tempo a peça que imaginou, que o faz “esquecer” os aspetos negativos da tecnologia:

Poder ter um pensamento/ideia agora, (...) ter a peça física na mão e poder analisá-la. Todas as desvantagens que possa ter esquecem-se perante a possibilidade de materializar uma ideia.

Ver a peça materializada, para mim, é uma satisfação muito grande. (...) É uma coisa que dá muita satisfação e te ajuda a seguir.

No contexto académico, o designer recorda a sua experiência como estudante de design e o seu desalento pela “inutilidade” dos projetos desenvolvidos e

pela impossibilidade de ir para além de uma forma estética sem funcionalidade para poder testar:

porque para mim sempre foi uma grande frustração enquanto estudante (...) desenvolvíamos os projetos, fazíamos os 3D e depois ficava na gaveta. No máximo, fazia um modelo estético, não funcional, mas estético em *roofmate*. Era só a forma e basta.

Quando saí da universidade senti-me muito frustrado, senti que tínhamos feito projetos para a gaveta, fazíamos projetos que depois não tínhamos *feedback*, se aquilo funciona, se não funciona, podes experimentar, pode funcionar, pode ser uma coisa interessante.

Isso é muito interessante, pois abre-te as portas para fazer muitas coisas, a testar, a verificar, a ter *feedback*, quase como uma recompensa pelo teu esforço.

O designer relata as experiências em desenhar peças que foram produzidas por injeção de moldes e CNC. Com base também nas experiências anteriores no desenho de peças para outros processos, afirma a necessidade que o designer tem em conhecer a tecnologia para a qual desenha. No fabrico aditivo, por exemplo, o desconhecimento e a inexperiência podem significar mais horas de impressão e desperdício de matéria-prima:

É normal que desenhar para uma tecnologia prevê, ou deveria prever, que tu soubesses um pouco dessa tecnologia. (...) Sabendo a tecnologia para a qual se está a desenhar é muito mais fácil evitar erros. (...)

Na impressão 3D uma pequena alteração, uma pequena escolha, pode fazer a diferença nas horas de impressão. Tal como a escolha da percentagem de *infill*, (o tempo de impressão) varia se coloco o *infill* a 100% ou a 20%. Como é que desenho, se desenho com suporte ou sem suporte...

Saber como funcionam as tecnologias ajuda muito, ajuda ao nível dos riscos. É preciso ver que também há um investimento, um investimento de tempo, um investimento de dinheiro, de matéria-prima. (...) Pode acontecer, e vai acontecer de certeza absoluta, mas ao menos consigo evitar 50% de riscos.

Quanto à metodologia de aprendizagem da tecnologia, refere a frustração inicial quando os resultados não são os esperados e o contributo das experiências dos designers/*hobbyistas* relatadas e discutidas em fóruns *online* sobre impressão 3D. O designer relata também a sua própria aprendizagem numa estratégia de “tentativa e erro”:

Fazia tudo sozinho, sem conhecer ninguém que tivesse experiência com impressora 3D. Comecei a suar frio quando comecei a tentar imprimir e não conseguia (...) foi uma grande frustração inicial, porque não conseguia imprimir...

Eu aprendi muito com as experiências dos outros. (...) acho que sou um pouco uma mente curiosa e procuro sempre conhecer e saber mesmo antes de meter as “mãos na massa”.

Fui seguindo um pouco os fóruns e comecei a ter alguns resultados, e depois (...) todos os dias vêes o que consegues fazer com grande entusiasmo.

De modo a explorar os aspetos relacionados com a metodologia projetual, a investigadora explicou ao entrevistado o modelo de Design Thinking Evolution 6² e pediu-lhe que, perante as perguntas colocadas, fizesse a correspondência entre a sua prática com a terminologia do modelo: Emergência, Empatia, Experimentação, Elaboração, Exposição e Extensão. De seguida, com base nas perguntas da investigadora, o designer descreveu e refletiu sobre a sua prática projetual, acabando por concluir que em termos de fases o processo é igual ao habitual:

Desenvolver um produto para 3D (...) exige a mesma metodologia de qualquer outro tipo de tecnologia. Não muda nada, é só um meio para chegar a uma solução.

No entanto, em relação ao tempo que se demora em cada fase, destaca a rapidez que pode ter a fase da Elaboração devido à celeridade com que se consegue ter um *feedback* sobre um produto.

Na Elaboração, é muito mais rápido... Na Elaboração, porque o *feedback* é muito mais rápido (...).

A possibilidade de rapidamente testar algo consegue transmitir a sensação, segundo o designer, que o projeto progride com menos frustrações:

Sim, eles (avanços e recuos) existem, só que se faz tudo muito mais rápido. (...) Eu posso fazer um teste rápido e chegar à conclusão que não funciona, vou por outra via, mas por um lado é bom, porque há menos frustração. (...) É muito mais fácil, esse andar para trás e para a frente é muito mais rápido (...) e dá-te menos a noção que estás a andar para trás e até dá muito mais a noção de que estás a andar para a frente.

Relativamente à fase onde considera que a tecnologia FA é mais determinante refere também a fase da Elaboração, pois os tempos de resposta que

demorariam horas, dias ou semanas para um processo convencional de fazer, testar, redesenhar e voltar a testar são encurtados pela tecnologia:

Sim, na fase da Elaboração é determinante.

(...) Consigo encurtar tempos de realização e de *feedback*. (...)

(...) desenhar a peça, imprimir a peça fisicamente, consigo na meia hora seguinte fazer as modificações e nas três horas seguintes ter a versão da peça atualizada. Isto encurta tempo nos tempos de Elaboração.

Como resultado do seu conhecimento e da experiência sobre a tecnologia e se isso alterou o seu método de trabalho, explica como inicia o projeto com a tecnologia em mente:

Quando começo a desenhar já tenho uma ideia de como hei de desenhar para otimizar o produto, ou tenho uma noção de como é que quero que se apresente o produto. (...) Claro que isso resulta da experiência.

A presença das linhas orientadoras, como a “regra dos 45°” do processo FFF, são visíveis nos desenhos e anotações presentes nos cadernos e, apesar de em alguns casos estarem menos evidentes, estão implícitas na configuração do produto:

ter um bom resultado implica que a superfície tenha de ter boa qualidade, para obter boa qualidade é preciso perceber que a máquina se fizer uma superfície acima de 45° vai conseguir uma boa superfície, se tiver abaixo dos 45° vai ter de usar suportes. Os suportes vão deixar marcas na superfície.

Segundo as percepções do designer, a questão da tecnologia está presente desde o início do projeto. As possibilidades e limitações do FA estão presentes no pensamento do designer durante o seu processo metodológico. Isto é, desenha a pensar na tecnologia de fabrico:

é pensada já diretamente para a impressão 3D. Não é uma ideia que nasce e depois vou tentar adaptar. (...) Tentar já ser otimizado para isso. Sabendo já o efeito estético da impressão 3D, as limitações, os tempos de produção.

A “regra dos 45°”, que o designer refere está relacionada com o processo FFF, e a necessidade de colocar suportes na peça durante a impressão. As peças FFF podem exigir estruturas de suporte para serem impressas com êxito, depende da forma como foram desenhadas. Como é um processo de filamento com sobreposição de camadas, as novas camadas não podem ficar suspensas

no ar, principalmente se o ângulo for inferior a 45° em relação ao plano da plataforma de impressão. Para evitar a necessidade de colocar material de suporte, e conseguir um melhor acabamento de superfície, mais preciso e uniforme, é recomendável manter os 45° como limite.

Para minimizar os riscos na fase da produção, considera importante o conhecimento das regras e linhas orientadoras. Para além da “regra dos 45°” que dispensa a necessidade de material de suporte, é habitual socorrer-se de texturas nas superfícies para minimizar o efeito escada, próprio de um processo camada-sobre-camada de baixo custo. Tudo com vista a uma otimização do produto para o processo, reduzindo o tempo de impressão, minimizando o desperdício de material, encurtando os tempos de pós-produção, e à obtenção de um melhor acabamento superficial:

eu prefiro sempre evitar suportes, sempre. Em algumas peças, desenhei o próprio suporte, onde tento ao máximo reduzir o material necessário, porque menos suporte também reduz tempo.

Pensas de outra maneira, pensas na regra dos 45°, que permite não utilizar suportes para ter uma superfície mais uniforme (...).

Os constrangimentos da tecnologia transformam-se em requisitos do produto a serem resolvidos durante o processo. Perante uma tecnologia com inúmeras possibilidades, para o designer as limitações do processo condicionam a forma, o que pode ajudar a não dispersar e chegar a um produto final, exequível:

eu evito muito isso (suportes), muitas das vezes condicionam-me na forma, mas é quase como um desafio. Poder criar com essa intenção para mim é um desafio. Isso influencia a forma e, lá está, isso pode ser interessante.

Condicionante na forma, também te limita, e ajuda-te a não dispersar no mundo infinito das possibilidades que possas ter. Cria alguns limites. E esses limites também te servem de guia para chegar a um ponto, a um objetivo, a uma conclusão.

Relativamente aos produtos que desenhou e se procurou incluir particularidade inerentes ao FA que não seriam possíveis através de outros processo de fabrico, o designer refere a possibilidade de colocar ou fabricar peças dentro de peças que a tecnologia permite, e na liberdade para desenhar produtos com linhas mais fluidas e formas mais orgânicas:

Sim, têm peças dentro de peças, e isso é complicado, não quer dizer que seja impossível, mas muito mais fácil de fazer com a impressora 3D. (...) pensas em formas (...) mais fluidas num movimento contínuo (...)

Um candeeiro que desenhei há pouco (...), tem uma ideia muito simples, mas passa muito pela estética, pelo desenho, pela forma orgânica do candeeiro (...).

Relativamente ao impacto ao nível estético que esta tecnologia poderá ter nos produtos, destaca a importância dos *softwares* de otimização topológica. A utilização de *softwares* paramétricos e de análise que ajudam a definir a forma otimizada da peça, onde o material é aplicado apenas onde é necessário permitindo uma redução de peso da peça e a utilização de menos material para um mesmo desempenho:

São peças com cavidade porque reduzem o peso. Conseguem com uma forma idêntica, com metade do peso, serem ainda mais resistentes do que a peça cheia, maciça, mas têm cavidades, e cavidades que em algumas técnicas de produção não são possíveis.

No entanto, salienta que a possibilidade de ser uma máquina a determinar a forma final da peça levanta questões filosóficas interessantes suscitadas pela utilização cada vez mais frequente da tecnologia:

Quem é o autor? é o computador ou é o designer? Depende... é o acaso? é fruto do acaso? ou é uma ideia préestabelecida? (...) Qual é o papel do design generativo? O designer é quem desenha o algoritmo e não quem desenha a forma?

Sobre o contributo que estas tecnologias poderão ter na prática do designer reafirma a esperança de uma maior democratização da tecnologia para possibilitar aos designers a materialização dos seus produtos, seja enquanto produtos finais, seja como protótipos:

Estas ferramentas existem e espero que sejam muito mais democratizadas (...) esta nova geração de designers muito mais facilmente tem acesso a este tipo de tecnologias, e que se sinta muito mais entusiasmado, e mais motivado para produzir...

Acredito que, no futuro, a customização vai ser muito mais vencedora e (...) as tecnologias de fabricação digital vão ser muito mais utilizadas, porque o acesso a essa customização vai ser muito mais rápido.

Quanto à comunicação e divulgação do trabalho, refere a importância desta tecnologia para a promoção dos jovens designers com pouca experiência profissional. A possibilidade de materializar os produtos desenhados, que se tornam objetos comunicacionais das suas capacidades e competências.

Hoje em dia existe uma vantagem muito grande para os jovens que querem ser designers de produto, de se expor e de expor o seu trabalho. Desta forma conseguem ser mais facilmente acreditados por aquilo que fazem.

7.1.3 Visualização dos cadernos e artefactos

Do portefólio *online*, a investigadora seleccionou alguns produtos identificáveis nos desenhos dos cadernos disponibilizados pelo designer. Outro critério considerado foi a alusão ao produto pelo designer durante a entrevista para exemplificar particularidades no desenho do produto, como a regra dos 45° e as texturas superficiais, resultantes de um processo de design para fabrico aditivo, neste caso FFF. Pela observação dos cadernos, o designer utiliza o desenho como método preferencial no seu processo criativo com pontuais anotações esporádicas. Os desenhos são na sua maioria desenhos rápidos, característicos de uma fase de ideação e exploração da forma. Ao longo dos cadernos, é notória a alternância entre os diferentes projetos que o designer tem em mente. Na mesma página é possível encontrar um desenho experimental, ou um desenho de pormenor com mais detalhe, alusivo a outro projeto.

Nos cadernos encontram-se desenhos esquemáticos que corroboram os parâmetros do processo FFF que o designer refere na entrevista e que considera importantes durante o seu processo de design para FA. Apesar de não serem regras, são linhas orientadoras que o designer respeita de forma a conseguir um produto otimizado para o processo FFF. A regra dos 45° que o designer refere na entrevista, como uma premissa pessoal, surge no cadernos como anotação em alguns dos desenhos exploratórios (Figura 7.1).

Da observação do conteúdo dos cadernos, a maioria são desenhos rápidos, monocromáticos com recurso à linha, com poucas sombras e anotações para melhor comunicar o produto. Uma tipologia de desenho exploratório mais frequente na fase de ideação, da Experimentação. Quanto às fases seguintes de um processo em design, parecem estar menos presentes no caderno, o que indicia que a partir do momento que as ideias começam a ganhar “forma”, mesmo que não esta não esteja completamente “fechada”, o designer opta por recorrer ao *software* de modelação que lhe permitirá um maior rigor e detalhe do produto. A experiência profissional permitiu-lhe adquirir conhecimentos avançados ao nível das ferramentas CAD, o que lhe garante uma maior flexibilidade para a resolução dos problemas relacionados com *software* à medida que detalha o produto.

Figura 7.1
Desenhos do caderno do
designer Helder L. Santos

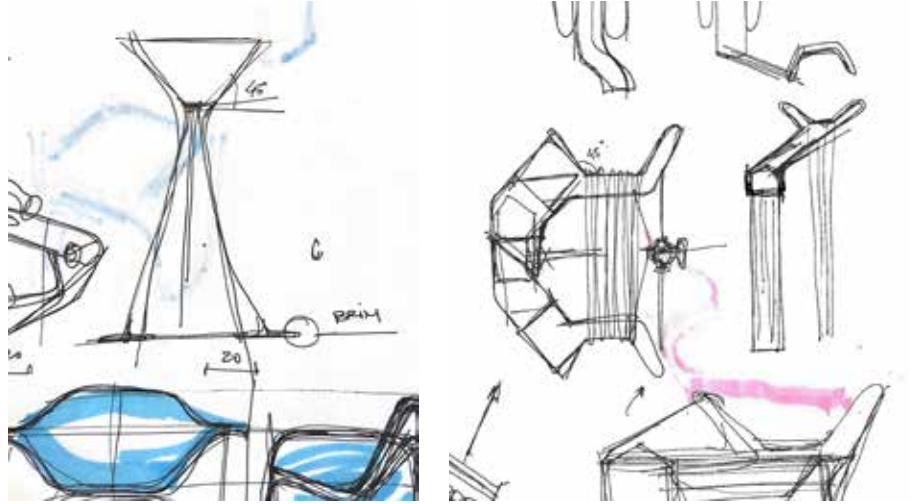


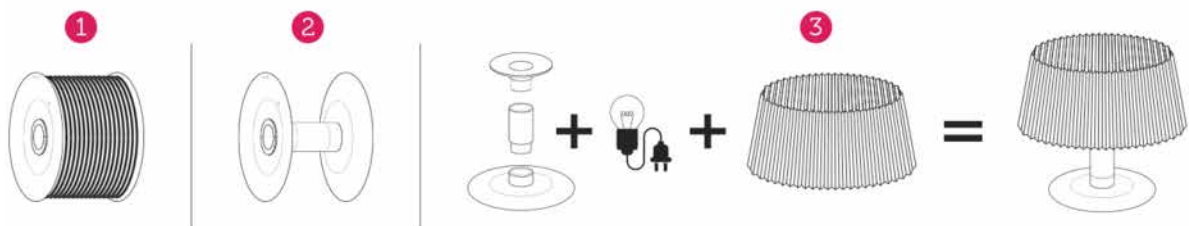
Figura 7.2
Vista lateral do candeeiro
Quadra

Relativamente aos artefactos, um dos artefactos do portefólio *online* do designer é o candeeiro *Quadra*, um objeto monomaterial e impresso de uma só vez e sem necessitar de estrutura de suporte. O requisito de ser impresso de uma só vez condicionou as dimensões totais do objeto aos limites das áreas de construção das impressoras FFF, que variam entre os vários modelos de equipamentos e fabricantes. O resultado foi um candeeiro multifacetado com 140 mm x 140 mm x 200 mm de altura, impresso na vertical a partir da base pelo processo FFF. Pela vista lateral da peça (Figura 7.2) é possível observar uma geometria pensada para o processo de fabrico, com os diferentes ângulos das várias faces do candeeiro a respeitarem a regra dos 45° com a plataforma conseguindo desta forma um desenho otimizado para o processo FFF. Para além disso, a peça manifesta algumas das particularidades inerentes ao processo de FA, mas que o designer consegue tirar partido das mesmas. A sobreposição das camadas visíveis no processo FFF confere ao produto uma textura superficial e o material de impressão, um PLA branco, permite um efeito de luz difusa (Figura 7.3).

Figura 7.3
Candeeiro *Quadra*



Nos últimos anos, o designer projetou uma série de produtos funcionais e de uso quotidiano para o projeto Eumakers, um projeto com uma postura ecológica que nasce de uma empresa fabricante de filamentos para o processo FFF, cuja ideia surgiu da possibilidade de reutilizar as bobines vazias de filamento para criar novos produtos. Embora a próprio fornecedor do filamento promova a reutilização da bobine original, o processo implica enviar de volta para a empresa, o que faz com que a maioria das pessoas não o faça. Por isso, a empresa optou por desenvolver uma bobine desmontável em peças passíveis de serem colocadas em outros produtos. Desde que surgiu este projeto de princípios ecológicos tem cativado cada vez mais designers que disponibilizam de forma gratuita os ficheiros STL das peças adicionais. O projeto consiste no desenvolvimento de novas peças, passíveis de serem impressas pelo processo FFF, que possam ser acopladas às peças da bobine e dar origem a um novo produto (Figura 7.4).



É sobre este *brief* que o designer idealiza diferentes tipologias de produtos que estão disponíveis *online*. O designer não está limitado a um tipo de produto em específico, no entanto está condicionado pelas peças da bobine, pelo processo de impressão e pelos limites das áreas dos tabuleiros das impressoras FFF. Em alguns casos, as ideias para os novos produtos surgem a partir dos desenhos das peças da bobine desmontada (Figura 7.5). Com este propósito, no portefólio do designer estão produtos como um vaso de flores, luminárias, cabides para fixar à parede, um suporte para cápsulas de café, entre outros.

Dois dos produtos idealizados pelo designer para a Eumakers e disponibilizados de forma gratuita são a luminária *Coralight* (Figura 7.6), um candeeiro de mesa inspirados na Natureza, mais propriamente nos recifes de corais, e o vaso *Gravity* (Figura 7.7), onde, através de um volume vazio, pretende transmitir a sensação de estar suspenso, sem gravidade. Nestes dois objetos é possível visualizar as opções estéticas que o designer considerou durante o processo de design do produto e que referiu na entrevista, como a textura em ziguezague na superfície. A utilização das texturas na superfície das peças têm o intuito de mascarar o efeito escada. Na luminária *Coralight* (130 x 130 x 190 mm), composta por três peças impressas mais uma peça da bobine (Figura 7.6), a textura é aplicada na peça maior do candeeiro, uma forma orgânica enfatizada

Figura 7.4
Instruções de montagem das peças impressas com a bobine

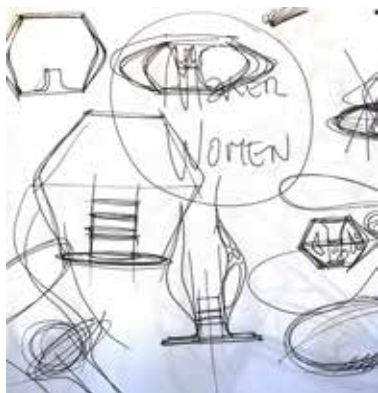


Figura 7.5
Desenhos iniciais do vaso
Gravity onde é possível
identificar as peça da bobine



Figura 7.6
Luminária *Coralight*



Figura 7.7
Vaso *Gravity* impresso em FFF

pela textura na superfície. O vaso *Gravity* é composto por seis peças impressas separadas, três hastes, uma peça para a base, uma peça para o topo onde encaixa a peça reutilizada da bobine e a peça com a textura em ziguezague de cor diferente, que será o vaso suspenso. Ambos os produtos necessitam de pós-produção, neste caso de montagem das peças impressas, e no caso do candeeiro de montagem de peças *standard*, para conseguir ter um produto funcional. Na impressão das peças é importante respeitar as indicações do designer, contudo, mesmo cumprindo as recomendações, existe a imprevisibilidade do processo FFF mais notório nas impressoras de uso doméstico, causando imprecisões nas peças que poderão dificultar o encaixe das mesmas.

7.1.4 Resultados considerados na preparação do estudo de caso

Esta secção resume os tópicos relevantes retirados da análise da entrevista, dos cadernos e portefólio *online* e que foram considerados posteriormente no desenho, e implementados no estudo de caso relatado no capítulo 9. Ao longo da entrevista o interlocutor mencionou particularidades, potencialidades e limitações relacionadas com a TFA, mas também do seu processo metodológico e cognitivo, associados ao processo criativo no design de produtos para FA, cujos pontos principais se encontram organizados no Quadro 7.2. Este quadro está estruturado em torno das três categorias do conhecimento em design indicadas na primeira coluna.

Quadro 7.2 **Sistematização do tópicos em função das três categorias da investigação**

Categoria	Excertos da entrevista ou tópicos abordados	Recomendações a explorar
Epistemologia (pessoas/designers)	(...) Todas as desvantagens que possa ter esquecem-se perante a possibilidade de materializar uma ideia. (...)	Paixão/motivação para desenhar para uma tecnologia emergente
	Quem é o autor?	Avaliar o papel dos <i>softwares</i> na autoria do projeto
	(...) teres mais possibilidades para arriscar dá-te muito mais liberdade para poderes experimentar (...)	Avaliar se os estudantes foram capazes de arriscar e experimentar formas inovadoras
Praxiologia (processo/metodologia)	Desenhar com o processo em mente (...) é pensada já diretamente para a impressão 3D.	Avaliar a relação entre os momentos no quais os estudantes começam a desenhar com o processo em mente.
	Não muda nada	Avaliar as fases do modelo E.6 ² percorridas pelos alunos.
	(...) Conseguiu encurtar tempos de realização e <i>feedback</i> (...)	Avaliar a duração das fases do modelo no projeto dos estudantes.
	(...) na fase da Elaboração é mais determinante.	Avaliar a fase mais determinante durante o projeto
Fenomenologia (produtos/artefactos)	(...) terei de ter em conta a regra dos 45° (...)	Avaliar se a forma foi condicionada pela orientação da peça no tabuleiro
	(...) a personalização, a customização, como nicho de mercado (...)	Avaliar o uso das potencialidades únicas como a personalização ou a customização
	(...) podes fazer formas muito orgânicas	Avaliar o uso de formas orgânicas como inspiração
	Usar texturas para disfarçar o efeito escada	Avaliar o uso de efeitos estéticos para disfarçar as limitações

Na vertente epistemológica, os aspetos emocionais que levam os designers a optar por utilizar a TFA encontram-se ainda pouco estudados na literatura. A relação emocional entre o designer e fabrico aditivo e as motivações que induzem o designer ao fabrico aditivo podem influenciar o desempenho criativo do designer. A paixão com que o designer encara a possibilidade de poder materializar um produto seu, algo idealizado que rapidamente se concretiza numa peça física passível de ser observada, testada e melhorada para poder

ser usada como produto final. A possibilidade de poder materializar os produtos que desenha, tal como a facilidade e rapidez como que o faz, é o que revela ser mais apaixonante na tecnologia. Para além da possibilidade de ter o objeto físico a partir de um conceito, num curto espaço de tempo, o designer explora o processo FFF com vontade de experimentar novas formas e conceitos. Contudo, conhecer a tecnologia e as suas limitações poderá ser uma forma, no seu processo criativo, de minimizar os riscos durante a impressão:

Quando começo a pensar num novo projeto para imprimir em 3D, penso automaticamente que terei de ter em conta a regra dos 45°. Essa limitação é, de certo modo, um linha orientadora que me encoraja a encontrar boas soluções.

Apesar de o designer estar condicionado pela tecnologia para a qual desenha, os riscos económicos são inferiores, nomeadamente no processo FFF, o que diminui o medo de arriscar incentivando à experimentação.

Na perspetiva praxiológica, para o designer, desenhar para um processo de fabrico aditivo não altera as fases próprias de um projeto em design. Poderá acelerar o processo em algumas das fases, como por exemplo na Elaboração. A possibilidade de rapidamente produzir algo, testar, verificar, corrigir e voltar a imprimir com um rápido *feedback* permite a realização de múltiplas iterações que exigem rapidez nas tomadas de decisão. Desenhar com o processo em mente e com conhecimento prévio sobre a tecnologia, linhas orientadoras e limitações poderá ter influência sobre os resultados finais. Permitir a liberdade para a experimentação, proporcionar uma aprendizagem de tentativa e erro, e desta forma explorar a tecnologia de uma forma livre para tirar partido de um fabrico aditivo e poder gerar formar inovadoras.

Na componente fenomenológica, o processo de impressão, neste caso o FFF, condiciona as opções estéticas do designer e tem influência no produto final. A regra dos 45° é um limite do sistema FFF que o designer tem em mente quando desenha para FA. A decisão de ter em conta esta limitação do processo é, para além de uma opção pessoal do designer, uma forma de minimizar os riscos durante a impressão. A regra dos 45° é evidente nos desenhos exploratórios analisados nos cadernos de projeto disponibilizados pelo designer e também nos artefactos finais, tal como as texturas superficiais para minimizar o efeito de escada, própria do processo FFF.

A preocupação do designer é, para além da otimização dos produtos para a tecnologia em questão, para poupar material e minimizar possíveis modos de falha e garantir que as características de impressão serão salvaguardadas. O sucesso de um produto que está disponível *online* depende da garantia de que a pessoa que descarrega o ficheiro tem um produto mais próximo das suas expectativas. Existem muitas variáveis, tais como dimensões, *infill*, velocidade

de impressão e material de impressão, que têm de ser asseguradas, por isso os produtos possuem, para além de instruções de montagem, informações dos parâmetros da impressão. Mesmo disponibilizando os parâmetros de impressão e usando máquinas idênticas nem sempre é possível manter a consistência entre as peças impressas, por isso, a qualidade de impressão dos ficheiros *online* é ainda difícil de garantir.

7.2 Estudo prévio II: Projeto em Design III

O curso de Design na Universidade de Aveiro iniciou-se em 1996 e, de acordo com os objetivos descritos, “pretende dar uma formação sólida ao nível do pensamento de projeto e da sua representação, dos meios instrumentais e técnicos necessários ao desenvolvimento concetual de novos artefactos”, para além de propor “para o projeto uma visão global do design centrada na pesquisa concetual e na sua conformação aos processos produtivos disponíveis”. Este capítulo descreve uma intervenção realizada em contexto académico, e identifica as principais preocupações tidas em consideração no que se refere às circunstâncias para a sua realização. O estudo foi desenvolvido em contexto de sala de aula durante o segundo semestre do ano letivo de 2016/2017 com estudantes do 2.º ano da licenciatura em Design do Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro na unidade curricular de Projeto em Design III.

O estudo prévio II insere-se no trabalho preparatório que pretendeu recolher informações para o desenho do estudo empírico propriamente dito, ou seja, o estudo de caso realizado no semestre seguinte. A opção pela UC de PD III deveu-se sobretudo à disponibilidade do corpo docente em permitir a realização do estudo prévio, tendo como requisitos ser uma UC de design, com uma componente prática em projeto, do 2.º ano do 1.º ciclo de estudos. Como estratégia de abordagem à UC, a investigadora orientou-se pelos objetivos secundários: (1) introduzir a TFA no processo de design de um produto; (2) incentivar a utilização da TFA como tecnologia de fabrico; (3) perceber a aceitação e motivação dos alunos para trabalhar com a TFA; (4) e encorajar à experimentação de formas complexas e criativas.

Os sujeitos participantes no contexto académico do estudo teriam de obedecer aos seguintes critérios: ter conhecimentos básicos em modelação 3D; ter experiência prévia em UC de projeto e desenvolvimento de produtos; e aceitarem a participação na investigação. A turma intervencionada foi informada na primeira aula sobre o propósito da presença da investigadora, sobre o tema do estudo e que dados seriam recolhidos ao longo da intervenção. Todos os estudantes participantes e docentes das UC intervencionadas concordaram com a presença da investigadora nas aulas e facultaram os materiais solicitados.

O estudo prévio realizou-se no segundo semestre no ano letivo de 2016/2017 na unidade curricular de Projeto em Design III, sob a orientação de dois docentes da área científica do Design. Projeto em Design III é uma unidade curricular do 2.º semestre do 2.º ano com 5 horas de contacto semanais (1 hora de ensino teórico-prática e 4 horas práticas e laboratoriais). De acordo com o *dossier* pedagógico, a UC tem como objetivo “sensibilizar os discentes para a importância criativa da ‘tecnologia’ como parceiro autoral do projeto em design” dando particular relevância à tecnologia como condicionante do projeto, para o qual “a ‘tecnologia’ poderá ganhar extensão operativa sobre as questões da conceção dos artefactos, mantendo todo o respeito pelos condicionalismos técnicos e ambientais e integrando pluridisciplinarmente outros saberes especializados. (...) Reconhece-se a ‘técnica’ do projeto mais pelas potencialidades criativas que oferece ao designer, do que pelos estrangimentos operativos que aparentemente o oprimem”.

A UC seleccionada funcionou de acordo com uma estratégia de aprendizagem por projeto, na qual é solicitado aos estudantes a resolução de um problema, através de um exercício de natureza projetual, em que são valorizadas as posturas criativa e crítica do estudante. A aprendizagem por projeto envolve os alunos no desenvolvimento das suas capacidades e atitudes, para “além de intensificar a atividade cognitiva (...) durante a sua formação, promove a criatividade e a inovação” (Lourenço, 2007, p. 19). Além disso, permite aos alunos “exercitar uma metodologia de resolução de problemas; saber observar e questionar a realidade”, para, desta forma, refletir sobre as suas descobertas e identificar uma oportunidade, “experimentar métodos e técnicas diversificadas, como observação, questionário, entrevista, estudo documental, emprego de meios audiovisuais, etc.” (Lourenço, 2007, p. 34). Com uma estratégia “learning by doing” permite a integração do estudante num contexto que encena a prática de um designer em contexto profissional, através da simulação de problemas reais (Dorst, 2006, p. 86).

A turma era constituída pelos 53 estudantes inscritos, no entanto foram intervencionados dois grupos, um de seis estudantes e outros de sete. No ano letivo em que a intervenção decorreu, os estudantes trabalharam em grupos de 6-7 alunos num projeto de design de produto. Dos nove grupos de estudantes, dois recorreram às tecnologias de fabrico disponíveis no laboratório da unidade orgânica durante a fase de prototipagem e produção do artefacto final.

Durante o semestre, os estudantes tiveram na mesma disciplina três projetos que durante algumas semanas decorreram em simultâneo: um projeto de *videomapping* assinalado a amarelo, o projeto CCCI – Design Global com a cor verde e um projeto mais curto identificado pela cor azul, IMI *Wordpress*. A alternância entre projetos foi evidente nos cadernos dos estudantes, onde textos, desenhos, anotações relativas ao projeto CCCI – Design Global surgiam intercalados com informações sobre os outros projetos. O docente responsável

da UC delineou um cronograma com a calendarização dos projetos para ajudar os alunos no planeamento das tarefas a realizar, com datas de entrega e respetivo material a entregar para cada projeto.

Com uma calendarização para 12 sessões ao longo do semestre, o objetivo do projeto “CCCI – Design Global” consistiu na criação de um produto que melhorasse a vivência dos alunos, professores e funcionários num dos espaços (salas de aula, corredores, oficinas, estúdio) do edifício Complexo das Ciências de Comunicação e Imagem (CCCI), inaugurado em setembro de 2016. Os projetos foram propostos pelos docentes e foram identificados considerando espaços no interiores do edifício a melhorar no CCCI, a partir dos quais os estudantes teriam de identificar diferentes oportunidades e reportá-las aos docentes na semana seguinte. A cada grupo foi atribuído um espaço (salas de aula, oficinas, corredores) para o qual teriam de desenvolver um produto passível de ser produzido através das tecnologias de fabrico disponíveis nos laboratórios e oficinas do Departamento. Entre as tecnologias de fabrico disponíveis no laboratório incluem-se: corte a *laser* e dois equipamentos de fabrico aditivo do processo FFF

A investigadora pôde constatar na primeira sessão, através do questionamento à turma, que a maioria dos sujeitos participantes conhecia o sistema FFF, tendo alguns estudantes já experimentado as impressoras de livre acesso disponíveis no laboratório do departamento. Outros tinham também recorrido a esse serviço em lojas da especialidade para imprimir peça desenhadas por si. Apesar de conhecerem o processo de fabrico aditivo, camada sobre camada, desconheciam os restantes processos como o SL ou o SLS.

O Quadro 7.3 sistematiza a intervenção, no que diz respeito aos participantes, aos objetivos da intervenção, ao *projeto brief* que foi proposto aos alunos, à metodologia da UC já praticada habitualmente pelos docentes, bem como os instrumentos de recolha de dados que foram utilizados e os critérios de seleção da amostra.

Com o objetivo de motivar os alunos a desenharem produtos para fabrico aditivo e a aprenderem mais sobre os diferentes processos, a investigadora dinamizou, a pedido do docente responsável, uma apresentação sobre FA com uma mostra de produtos produzidos pela tecnologia. A apresentação com o título “Thinking objects for 3D printing” teve a duração de duas horas. No decurso da intervenção, a investigadora dinamizou mais duas sessões de aproximadamente sessenta minutos cada. Na segunda sessão, foi explicado o modelo E.6², descrito na secção com referência às diferentes fases do modelo, subfases e algumas técnicas que poderiam utilizar nas diferentes fases. A terceira sessão aconteceu no início da fase de geração de ideias e teve como objetivo incentivar os estudantes a geração de uma grande quantidade de ideias, para aumentar a probabilidade de terem uma ideia que fosse criativa e inovadora. A quarta sessão foi dinamizada por um convidado externo de uma

Quadro 7.3

Quadro-resumo da intervenção em Projeto em Design III

Unidade curricular	<ul style="list-style-type: none"> Projeto em Design 12 sessões 5 horas/semana
Participantes/fonte de dados	<ul style="list-style-type: none"> Estudantes de Design 2.º ano da licenciatura em Design do DeCA-UA
Objetivo principal	<ul style="list-style-type: none"> Recolher dados para delinear o estudo de caso
Objetivos secundários	<ul style="list-style-type: none"> Auscultar a perceção dos alunos sobre a introdução da TFA na UC intervencionada Avaliar a motivação e o interesse em trabalhar com a TFA no processo de design de produto Analisar o modo como exploraram formas complexas e criativas nos produtos desenhados para FA Analisar o registo no caderno de projeto relativamente às fases e subfases do modelo E.6² durante o projeto
Project brief	<ul style="list-style-type: none"> Edifício CCCI – identificar uma oportunidade dentro de um dos espaços do novo edifício (sala de aula, corredores, oficinas e estúdio). Produtos passíveis de produzir através das tecnologias de fabrico disponíveis no departamento
Metodologia de ensino	<ul style="list-style-type: none"> Aprendizagem por projeto Registo do processo em caderno de projeto e entregas de suportes gráficos: cartaz com memória descritiva; protótipos/modelos e apresentação final
Instrumentos de recolha de dados	<ul style="list-style-type: none"> Consulta dos cadernos de projeto Observação participante por parte da investigadora <i>Focus group</i> Análise dos artefactos produzidos
Crítérios de seleção	<ul style="list-style-type: none"> Conhecimentos básicos no design de produto adquirida em UC anteriores Conhecimentos básicos em modelação num <i>software</i> de CAD

empresa nacional reconhecida no mercado das impressoras 3D, que a convite da investigadora se disponibilizou para esclarecer e elucidar os estudantes sobre os processos de FA e relatar a sua experiência na área.

As sessões abordaram temáticas diferentes e relevantes para o desenvolvimento do projeto incidindo sobre conceitos associados às metodologias do design, referindo técnicas e instrumentos, como a declaração de intenções, o desenho experimental e as analogias, que poderiam utilizar em cada uma das fases. A data das sessões foi acordada previamente com o docente responsável no sentido de serem apresentados conteúdos que contribuíssem para o progresso dos trabalhos dos estudantes. Para além das sessões que dinamizou, a investigadora esteve presente na maioria das aulas práticas como observadora, participando pontualmente com maior incidência junto dos alunos que estavam a pensar utilizar aTFA. Em todas as sessões foi utilizado um caderno para registar acontecimentos relevantes durante o decurso de UC.

A investigadora esteve presente na maioria das aulas, intercalando entre uma postura mais interventiva quando dinamizava as atividades, e uma postura observadora nas restantes aulas, nas quais foi tirando notas e registando acontecimentos relevantes para o estudo. O Quadro 7.4 resume as quatro sessões do estudo prévio, três dinamizadas pela investigadora e uma quarta sessão por um convidado externo. As sessões dinamizadas pela investigadora ocorreram nas horas de contacto atribuídas à UC. Apenas a quarta sessão, com um convidado externo de empresa fabricante de impressoras, aconteceu fora das horas de contacto, tendo por isso uma participação menor de alunos.

Quadro 7.4 Quadro-resumo das sessões dinamizadas pela investigadora e convidado externo

Sessão	Semana	Objetivos	Atividade realizada	Duração
01	01	<ul style="list-style-type: none"> Evidenciar a atualidade e pertinência do tema Motivar os alunos para projetarem para TFA elucidando-os sobre as potencialidades e vantagens desta tecnologia disruptiva Incentivar os alunos a registarem ideias, desenhos, pensamentos no seu processo no caderno de projeto Dar a conhecer aos alunos as diferentes TFA existentes e respetivos produtos 	<ul style="list-style-type: none"> Apresentação “Thinking objects for 3D printing” Destacar as potencialidades de tecnologia em diferentes áreas do design de produto através da visualização de imagens complementadas com uma breve explicação Mostrar a analogia da viagem (Dorst, 2006) e a importância de registar o processo criativo e metodológico no caderno de projetos, com apontamentos de ideias, pensamentos, reflexões, entre outros Interação com protótipos de diferentes tecnologias de fabrico aditivo (SLA, Material Jetting, FFF) 	2 h
02	05	<ul style="list-style-type: none"> Elucidar os alunos sobre o modelo de design escolhido para orientar a intervenção e respetivos conceitos, técnicas e instrumentos alocados a cada fase Sensibilizar os alunos para o registo das fases e subfases do seu processo no caderno de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> Apresentação do modelo Evolution E6 com uma breve explicação das seis fases e respetivos instrumentos. Foram também explicadas as subfases Exploração e Escolha associadas aos momentos de Divergência e Convergência Preenchimento do caderno com a data e identificação da fase em que consideraram estar Redação de uma declaração de intenções, “Intent statement”, para o projeto do grupo 	1 h
03	07	<ul style="list-style-type: none"> Sensibilizar os estudantes para a importância de gerar muitas ideias 	<ul style="list-style-type: none"> Exercício de desbloqueio à criatividade 	1h
04	08	<ul style="list-style-type: none"> Sessão com um convidado externo da empresa Beeverycreative 	<ul style="list-style-type: none"> Apresentação sobre a TFA onde foram abordadas questões pertinentes derivadas da experiência profissional na área Interação dos alunos com objetos impressos através do processo FFF 	2 h

7.2.1 Descrição das sessões dinamizadas pela investigadora

Sessão 1: Workshop “Thinking objects for 3D printing”

A primeira sessão teve como objetivo encorajar os estudantes a utilizar a TFA nos seus projetos. Foi realizada uma apresentação (Figura 7.8) que pretendeu mostrar produtos resultantes da aplicação da tecnologia em diferentes áreas, como a arquitetura, a saúde e o design de produto, incluindo mobiliários, joias e calçado. Em cada produto apresentado, a investigadora colocou em evidência quais as vantagens/benefícios que a TFA acrescentou ao produto, ao nível estético, funcional e simbólico.



Figura 7.8
Primeira sessão de trabalho
com os estudantes de Design
do DeCA

Ao evidenciar as oportunidades criadas pela TFA, a sessão procurou estimular a curiosidade dos estudantes para explorarem o potencial desta tecnologia nos projetos que iriam desenvolver. Para tal, a investigadora selecionou, de acordo com as oportunidades para o design a partir das potencialidades únicas do FA, um conjunto de produtos reais a apresentar aos estudantes com os quais procurou mostrar, em diferentes áreas do design, a aplicação das potencialidades do fabrico aditivo: impresso numa única operação, customizadas, com geometrias complexas, possibilidade de cocriação, possibilidade de partilha *online* de ficheiros, entre outras. No Quadro 7.5 estão mencionados os produtos escolhidos para a apresentação, aos quais a investigadora deu especial destaque explicando as potencialidades do FA e como estas podem ser oportunidades para o design e o respetivo processo de fabrico.

Quadro 7.5

Correspondência entre os produtos mencionados na apresentação, as oportunidades para o design a partir das potencialidades únicas do FA e o processo de fabrico do produto

Produto	Oportunidades para o design a partir das potencialidades únicas do FA	Processo de fabrico
Banco One_shot.mgx (2006)	<ul style="list-style-type: none"> · Impresso numa única operação · <i>Print-on-demand</i> · Sem desperdício de matéria-prima · Funcionalidade integrada 	SLS
Cadeira Endless Chair (2010)	<ul style="list-style-type: none"> · Impresso numa única operação · <i>Print-on-demand</i> · Sem desperdício de matéria-prima · Menos desperdício de material 	FFF
Robohand · Giving a hand (2013)	<ul style="list-style-type: none"> · Customização · <i>Print-on-demand</i> · Sem desperdício de matéria-prima · Democratização do design 	FFF
Kinematics Nervous System (2013)	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Multi-assemblies</i> · Possibilita a cocriação · Personalização (único e individual) · Valor simbólico (prolonga o ciclo de vida) 	SLS

Nos exemplos apresentados foram evidenciadas as potencialidades estéticas e formais da tecnologia num equilíbrio entre forma (estética baseada na complexidade), função (utilidade, experiência do utilizador) e tecnologia de fabrico. De seguida, descrevem-se os produtos apresentados, o processo de fabrico e o contributos da TFA para o produto.

O *One Shot* (Figura 7.9) é um banco articulado desenhado por Patrick Jouin numa parceria com a empresa belga Materialize NV em 2006, concebido para explorar as potencialidades do fabrico aditivo e mais especificamente as capacidades do processo de sinterização a *laser* (SLS). Produzido em mono-material (poliamida) impresso numa única operação com as articulações integradas, sem necessitar de assemblar mais peças, o que seria impossível de produzir através dos processos tradicionais. A gravidade, combinada com uma simples torção, transforma um conjunto de hastes num artefacto para sentar (Figura 7.10).

A cadeira *Endless Chair* de Dirk Vander Kooij produzida em 2010, em Poliláctido Láctico (PLA) reciclado através de um processo de baixo custo FFF, em que um braço robotizado (Figura 7.11) deposita matéria, camada sobre camada, por um caminho previamente definido. Com 400 x 620 x 790 mm

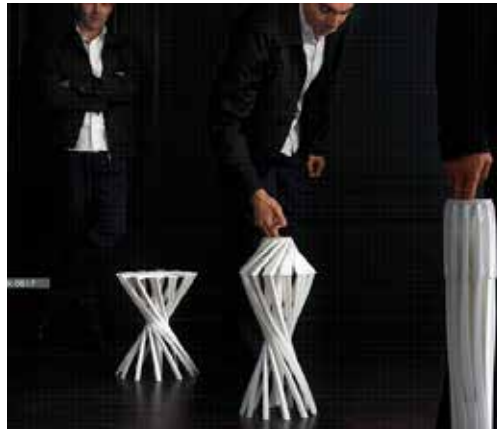


Figura 7.9
Banco articulado monomaterial impresso em SLS
(<http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-jouin/ENS-jouin.html>)

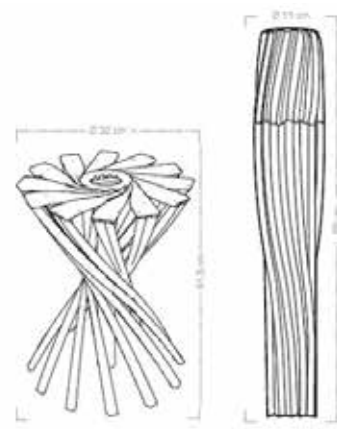


Figura 7.10
Desenho técnico do banco *One shot*
(<https://www.materialise.com/en/mgx>)



Figura 7.11
Endless Chair de Dirk Vander Kooij. Cadeira projetada para um processo de baixa resolução
(<https://www.radform.com/products/outdoor/endless-chair.html>)



Figura 7.12
Impressão da cadeira através de braço robotizado
(<https://coolhunting.com/design/dirk/>)

de altura de costas, possui um desenho adaptado à tecnologia, onde o efeito escada proveniente da tecnologia ganha uma dimensão estética. A cadeira “cresce” a partir da vista lateral (Figura 7.12), sem necessitar de assemblar outras peças. Um conceito próximo do artesanato, mas utilizando a tecnologia para materializar o produto, num processo que permite ao designer criar, avaliar, refinar, corrigir e voltar a produzir. O braço robotizado possibilita a produção

de peças numa escala maior, pois aumenta a área de impressão, dá mais liberdade ao designer, mas em contrapartida faz perder resolução e detalhe.

O projeto *Robohand, Giving a hand* de 2013, idealizada por um carpinteiro da África do Sul, Richard Van As, e materializada com a ajuda do designer Ivan Owen, consiste numa mão robotizada (Figura 7.13) desenhada para melhorar a vida de crianças sem dedos (Figura 7.14). Foi idealizada para realizar tarefas simples como agarrar, segurar, puxar, permitindo à criança mais autonomia enquanto brinca (Figura 7.15). É customizável e as peças são produzidas através do processo FFF. Os acessórios para montagem das peças (parafusos e cabos de aço inoxidável) são igualmente acessíveis e facilmente adquiridos no mercado. Os autores decidiram partilhar, de forma gratuita, os ficheiros STL dos modelos e as respetivas instruções de montagem na plataforma online “Thingiverse” (<https://www.thingiverse.com>), facilitando a aquisição do dispositivo por parte de famílias mais carenciadas.

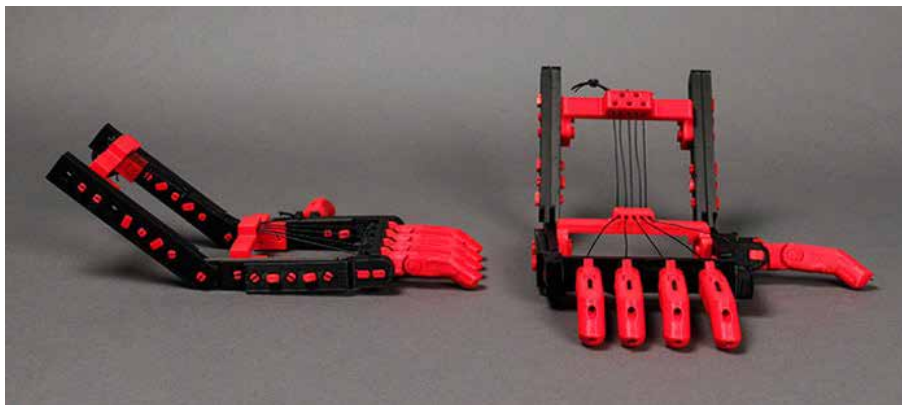


Figura 7.13
Mão robótica, projeto Robohand (<https://www.makerbot.com/stories/medical/robohand-featured-on-npr/>)



Figura 7.14
Uma mão robótica idealizada para realizar tarefas simples (<https://www.3ders.org/articles/20140206-teen-uses-3d-printer-to-make-a-robohand-for-third-grade-boy.html>)



Figura 7.15
Mão robótica em contexto de uso (<https://www.dezeen.com/2013/05/29/3d-printed-robohand-helps-children-born-without-fingers/>)

O projeto *Kinematics*, idealizado em 2013 por Jessica Rosenkrantz e Jesse Louis-Rosenberg da *Nervous System*, é um conjunto de peças de joalheria e moda, onde o produto final é composto por múltiplos componentes rígidos ligados entre si. Os produtos são impressos de uma única vez e “amarrotados”, na sua maioria, em SLS devido à sua complexidade formal desenhada para impressão SLS que permite formas complexas e dobráveis compostas por módulos articulados que em conjunto formam um produto (Figura 7.16). Os produtos não necessitam de montagem, pois os mecanismos da articulação são produzidos durante a impressão da peça. Devido à complexidade formal do produto final, e ao elevado nível de detalhe exigido, a maioria das peças do projeto são impressas pelo processo SLS.

Figura 7.16

Slide da apresentação onde é possível ver um produto do projeto Kinematic Nervous System



Na área do calçado desportivo, foram mostrados exemplos de marcas como a Adidas e a Nike, que nos últimos anos têm investido no desenvolvimento de calçado desportivo fabricado através de FA. Foram também apontados produtos mais representativos das oportunidades estéticas com potencial impacto, por exemplo, na indústria da moda. As formas orgânicas conferem aos produtos atributos grotescos e visualmente incomuns que podem causar alguma estranheza (Figura 7.17 e Figura 7.18). Alguns estudantes expressaram o seu desagrado pelas formas excessivas apresentadas nas imagens, propositadamente escolhidas pela investigadora.



Figura 7.17

Vestidos impressos resultado de uma parceria entre designers de moda e empresas prestadores de serviços de FA. Coleção de Daniel Widrig e Iris van Herpen (<https://www.dezeen.com/2011/03/04/escapism-by-daniel-widrig-iris-van-herpen-and-mgx-by-materialise/>)



Figura 7.18

Ammonite, sapatos desenhados por Fernando Romero apresentados na Semana de Design de Milão em 2015 (<https://3dprintingindustry.com/news/5-pairs-of-3d-printed-shoes-youll-see-at-milan-design-week-2015-46689/>)

Após conclusão da apresentação, os estudantes tiveram oportunidade de interagir com protótipos impressos de diferentes processos e materiais para compreenderem a possibilidade de se obterem objetos distintos, nas suas características formais e funcionais. Os protótipos apresentados foram impressos na ESAN e em diferentes processos do fabrico aditivo, FFF, SL e MJ. Os exemplos procuraram mostrar atributos passíveis de colocar nos produtos, como integrar uma estrutura em malha dentro da peça, produtos com peças com diferentes graus de flexibilidade, formas complexas, articulações integradas. Os estudantes presentes revelaram-se interessados, curiosos e admirados pelo potencial da tecnologia, nomeadamente pelo processo Material Jetting, pois desconheciam o processo e as suas potencialidades. Fizeram perguntas como “Isto foi impresso de uma só vez? Não foi necessário montar as peças?”; “Dá para ter uma peças com duas partes com graus de rigidez diferente?”. Através das perguntas procuraram saber mais sobre os materiais, processos e equipamentos.

Sessão de trabalho 2: Apresentação do modelo de *Design Thinking Evolution 6²*

A segunda sessão aconteceu 3 semanas após a primeira sessão, na quinta semana atribuída ao projeto, e teve como objetivo principal a apresentação aos estudantes do modelo de *Design Thinking Evolution 6²*, desenvolvido por Tschimmel (2012) e registado em 2015 sob *Creative Commons Attribution 4.0 International License* (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Sendo um estudo prévio para o estudo de caso, optou-se por recorrer, desde logo, ao modelo de Design Thinking escolhido para esse efeito, e deste modo manter a coerência e facilitar a análise dos dados. A explicação do modelo e das técnicas alocadas a cada uma das fases pretendeu fazer com que os alunos recorressem às *técnicas* apresentadas para orientar o seu processo criativo e avançarem no projeto. Foi-lhes explicado que em todas as fases existem técnicas mais exploratórias que contribuem para um pensamento divergente, como uma das mais conhecida, o *Brainstorming*, e outras cujo objetivo é o fecho daquela fase, através de técnicas que apliquem o pensamento convergente, como o *Intent Statement*, e apoiem na tomada de decisão e avanço para a fase seguinte.

Para um melhor acompanhamento à explicação do modelo foi entregue a cada grupo de estudantes uma versão do modelo E.6² a cores e impressa. Para entenderem melhor o propósito das técnicas apresentadas, foi pedido aos grupos de alunos que explorassem a utilização de uma técnica adequada à fase de Emergência, subfase Escolha, através da redação de uma declaração de intenção, ou *Intent Statement* (Kumar, 2013). Esta técnica consiste na definição do objetivo do problema a tratar, de acordo com as oportunidades identificadas. Uma vez que a maioria dos projetos se encontrava na fase de Emergência, esta técnica iria permitir que os estudantes definissem o problema a tratar.

Aos quatros campos da declaração de intenções propostos por Kumar (2013): Problema, Oportunidade, Novo Valor, Público-Alvo e Riscos, foi acrescentado um novo campo, Tecnologia do Fabrico. Desta forma, seria possível perceber se nesta fase os estudantes tinham a intenção de utilizar ou desenhar para uma determinada tecnologia. Num cenário de nove grupos, quatro entregaram, no final da aula, as declarações de intenções preenchidas (Figura 7.19). O facto de 50% dos grupo não entregaram o *Intent Statement* poderá indiciar que metade dos alunos não considerou a atividade relevante para a evolução do seu projeto, ou tiveram dúvidas no preenchimento por dificuldade de interpretação sobre o que era pedido em cada um dos campos, ou por se encontrarem num momento de divergência, *tendo por isso não conseguido* dar resposta ao que estava a ser pedido.

Dos quatro grupos respondentes e relativamente à questão da tecnologia de fabrico, duas das respostas, “materiais sustentáveis e aproveitamento de recursos”, “protótipo em matéria-prima principal e componentes secundários”, foram excluídas da análise, pois não correspondiam a nenhuma tecnologia de fabrico. As restantes duas respostas, “a definir consoante as ideias levadas a cabo” e “dependendo do produto final, poderá ser corte em vinil, madeiras, ou impressão 3D de peças modulares em plástico”, não concretizavam, mantendo em aberto a tecnologia a utilizar, dependendo do desenho do produto final. Confrontando com as afirmações do designer de produto entrevistado

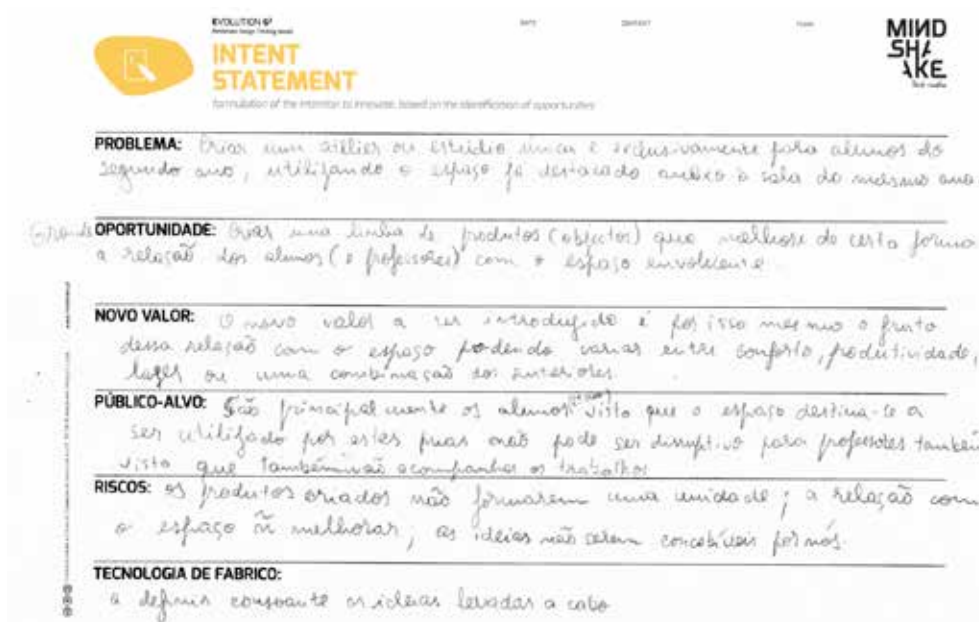


Figura 7.19
Declaração de intenções preenchida pelos estudantes em DP III

sobre a necessidade de desenhar tendo em mente a tecnologia, a investigadora questionou a necessidade de impor a TFA como tecnologia de fabrico obrigatória, para forçar o design para FA.

Foi pedido aos alunos para assinalarem cada entrada no caderno, isto é, cada vez que utilizassem o caderno para trabalhar no projeto, a data, a fase e a subfase em função do modelo E.6². Foi também sugerida a aplicação das diferentes técnicas do modelo aos projetos de design que estavam a desenvolver. Foram também disponibilizados dois endereços online, <http://designresearchtechniques.com> e <https://strategyzer.com>, onde poderiam encontrar outras técnicas facilitadoras da prática projetual que ajudariam a desbloquear situações no desenrolar do projeto.

Apesar de ter sido referida na primeira sessão a importância de registar todo o processo no caderno de projeto, na segunda sessão, a investigadora retomou o assunto com a analogia da “viagem”, na qual é fundamental para o estudante em design parar, refletir, comunicar a experiência vivenciada no projeto e transformá-la em conhecimento (Clemente, 2016). Adicionalmente, este registo feito pelo aluno permitiria à investigadora, posteriormente, identificar a fase e subfase e as tarefas realizadas em cada uma delas.

Sessão de trabalho 3: Técnicas da fase de Experimentação

Sendo um dos objetivos da intervenção observar a capacidade de os estudantes explorarem a possibilidade de gerar objetos de formas complexas e mais criativas, a investigadora procurou uma atividade que estimulasse o pensamento criativo dos estudantes para que, através de um exercício prático,



Figura 7.20
Duas técnicas de geração de ideias referidas na apresentação

compreendessem que, “quanto mais ideias alguém produz num tempo limitado, mais probabilidade haverá de que entre elas se encontrem boas ideias” (Tschimmel, 2010, p. 90)

Ao mesmo tempo, a terceira sessão procurou, mais uma vez, trazer para a sala de aula conteúdos que pudessem contribuir para o progresso do projeto. A fase da Experimentação (E3), que corresponde à fase da ideação, foi novamente referida, dando destaque a técnicas/instrumentos associados ao modelo de *Design Thinking* apresentado que potenciam a geração de numerosas ideias, tais como as técnicas Analogias ou Desenho Experimental (Figura 7.20).

No Desenho Experimental, as ideias surgem através do desenho de uma forma exploratória. As Analogias podem ajudar a gerar ideias por comparação, por apropriação de conceitos provenientes de outros contextos, inesperados. Para incentivar à geração de um grande número de ideias e mostrar o quanto isso é importante num projeto de design, nesta sessão foi realizado um exercício cujo objetivo foi demonstrar, de forma prática, como é frequente as pessoas terem todas as mesmas ideias, e por isso, quantas mais ideias ocorrerem, maior é a probabilidade de encontrar soluções inovadoras e criativas.

O exercício consistia em cada grupo ter de elaborar uma lista na qual teriam de escrever tudo o que era possível fazer com um lápis. No final, as ideias repetidas nos vários papéis foram sendo riscadas e só sobraram as “verdadeiramente originais”. A Figura 7.21 mostra algumas das ideias identificadas pelos estudantes durante a sessão criativa. No final da sessão, os estudantes compreenderam a importância de gerar muitas ideias, tal como o risco de ter apenas uma.

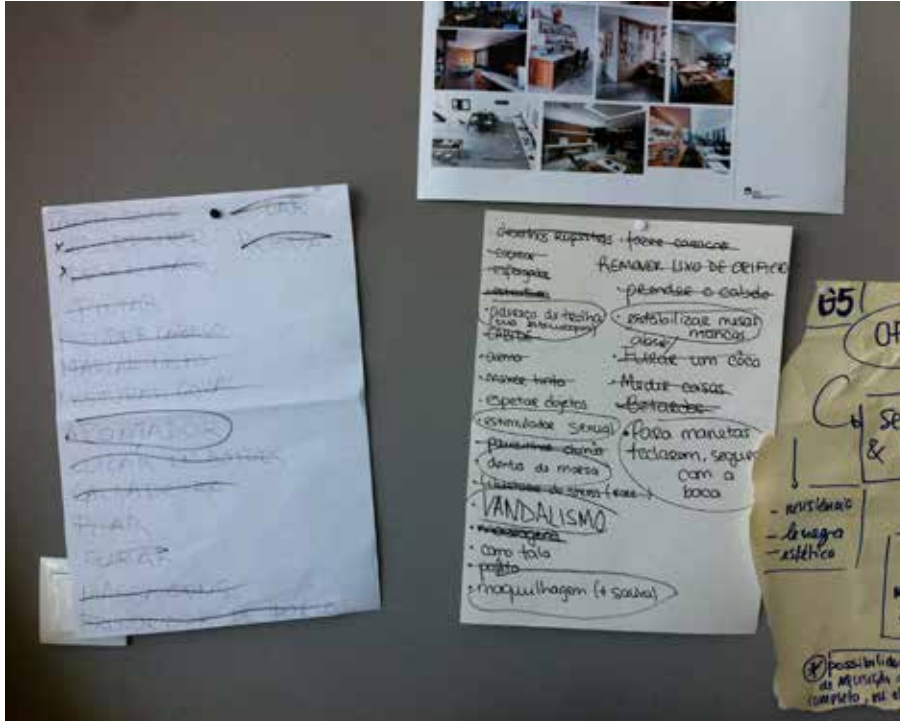


Figura 7.21 Ideias identificadas pelos estudantes durante a sessão criativa

Sessão de trabalho 4: Convidado externo

A quarta sessão foi dinamizada por um convidado externo, um fabricante da área dos equipamentos de fabrico aditivo, e incidiu sobre a TFA e as suas potencialidades e vantagens para a indústria.

A sessão pretendeu reforçar os conceitos sobre as tecnologias já enunciados anteriormente na primeira sessão pela investigadora, e permitir aos alunos a possibilidade de colocarem questões relacionadas com a componente mais técnica dos equipamentos e materiais. Foram referidas pelo convidado questões pertinentes, como a mudança de paradigma, na passagem de um sistema de prototipagem rápida para um sistema de fabrico aditivo, e a otimização topológica. Foram mencionados também os *softwares* de modelação disponíveis *online*, e a partir da visualização de alguns ficheiros CAD, foram explicadas, através de exemplos práticos, as diferenças entre os processos de impressão, o posicionamento da peça no tabuleiro, o tipo de preenchimento que a peças podem ter, a necessidade de colocar suportes de forma a minimizar os riscos de falhar, entre outros. Os alunos reagiram positivamente colocando questões relacionadas com o posicionamento da peça no tabuleiro e sobre a necessidade de colocar suportes.

7.2.2 Acompanhamento do projeto

Nas restantes sessões, a investigadora acompanhou os projetos dos dois grupos, designados por Grupo 1 e Grupo 2, que decidiram desenhar para FA, porém assumiu uma postura menos ativa. Os restantes sete grupos não recorreram às impressoras durante todo o processo, apesar de o poderem fazer para prototipar. Os restantes grupos não impuseram ao seu projeto constrangimentos associados às impressoras, como por exemplo o limite da área de impressão, por isso optaram por realizar protótipos e modelos com recurso às ferramentas da oficina e à máquina de corte a *laser*. Os protótipos apresentados no final do semestre foram uma prancheta em madeira para desenhar no exterior, uma cadeira em madeira, uma cama para um espaço *lounge*, um saco em tecido para transportar o *kit* da oficina (bata e pequenas ferramentas), placas de sinalética, e uma estrutura de espaço *lounge* para exterior.

Ao longo do projeto, a investigadora, e esporadicamente os docentes, procuraram identificar as vantagens que a TFA poderia representar para o produto proposto pelos alunos, tentando desta forma motivá-los à utilização do processo para materializarem o artefacto final. O Quadro 7.6 indica os equipamentos de livre acesso para estudantes, disponíveis no laboratório do departamento.

Quadro 7.6 Equipamentos e processos de fabrico aditivo disponíveis à data no laboratório do Departamento de Comunicação e Arte

Processo	Equipamento	volume máximo (mm ³)	material	propriedades
<i>Fused Filament Fusion (FFF)</i>	<i>Beethe First</i>	200 x 200 x 200	Polímeros (ABS, PLA)	Peças rígidas; Efeito de escala visível
	WITBOX	210 x 297 x 200	Polímeros (ABS, PLA)	Peças rígidas; Efeito de escala visível

O acompanhamento dos projetos pelos docentes consistiu num diálogo/discussão com grupos sobre o trabalho efetuado e sugestões sobre caminhos para o projeto avançar. Para a primeira entrega, denominada pelos docentes de “anteprojecto”, foi pedido aos estudantes que preparassem uma apresentação de cinco slides e uma folha A3 com a apresentação do conceito. Os dois

grupos que decidiram utilizar a TFA na fase de prototipagem e para produzir os artefactos finais, nesta primeira entrega, não referiram TFA como processo de fabrico.

O Grupo 1, composto por seis estudantes, após a identificação de dois problemas no espaço da sala de aula, relacionados com a “Arrumação” (Figura 7.22) e com a “Escrita” (Figura 7.23), apresentou 9 desenhos para potenciais soluções. No texto da memória descritiva do projeto “Arrumação” referem a importância da arrumação, o tipo de objetos que necessitam de ser arrumados e a ligação formal que pretendem conseguir entre o edifício e o artefacto que vão desenhar. Na proposta “Escrita” destacam as vantagens do produto para os alunos, pois passam a ter um objeto dentro da sala de aula que permite aos alunos “expor e expressar ideias livremente para grupos de pessoas”. No texto descrevem as soluções que encontraram para resolver o problema, e que pretendem desenvolver para apresentar no final do semestre:

as soluções e ideias pensadas para esta fase de anteprojecto passam por estantes móveis com laterais cuja superfície é riscável (...) quadros suspensos nas calhas do teto, instalação de rolo de papel de cenário nas paredes (...)

Daqui em diante o designado Grupo 2 apresentou dois *posters* (Figura 7.24) para comunicar a solução para o problema, previamente identificado pelos docentes, a necessidade de ter um sistema expositivo no edifício CCCI para expor os trabalhos dos estudantes. Na memória descritiva incluíram alguns requisitos do produto, como “prático e versátil, de fácil transporte e manuseamento, materiais económicos e leves, aproveitamento dos recursos existentes”. No *poster* n.º 1 é possível ver algumas das imagens que serviram de inspiração e no *poster* n.º 2, os desenhos técnicos e *renders* da solução apresentada.

Como solução, criámos um encaixe personalizado para placas quadradas de forma a ter diversas funções. Essas placas podem ser suspensas sozinhas como suporte para cartazes, imagens trabalhos impressos, ou serem montadas através dos encaixes, podendo formar um cubo para exposição de trabalho (...)

Em nenhum dos dois *posters* A3 foi referida a utilização do sistema de fabrico aditivo como uma hipótese para solucionar o problema ou até mesmo para prototipagem rápida. A ausência da referência à tecnologia de fabrico poderá dever-se ao facto de os docentes não terem pedido especificamente essa informação aos estudantes, ou os estudantes não terem decidido o processo de fabrico.

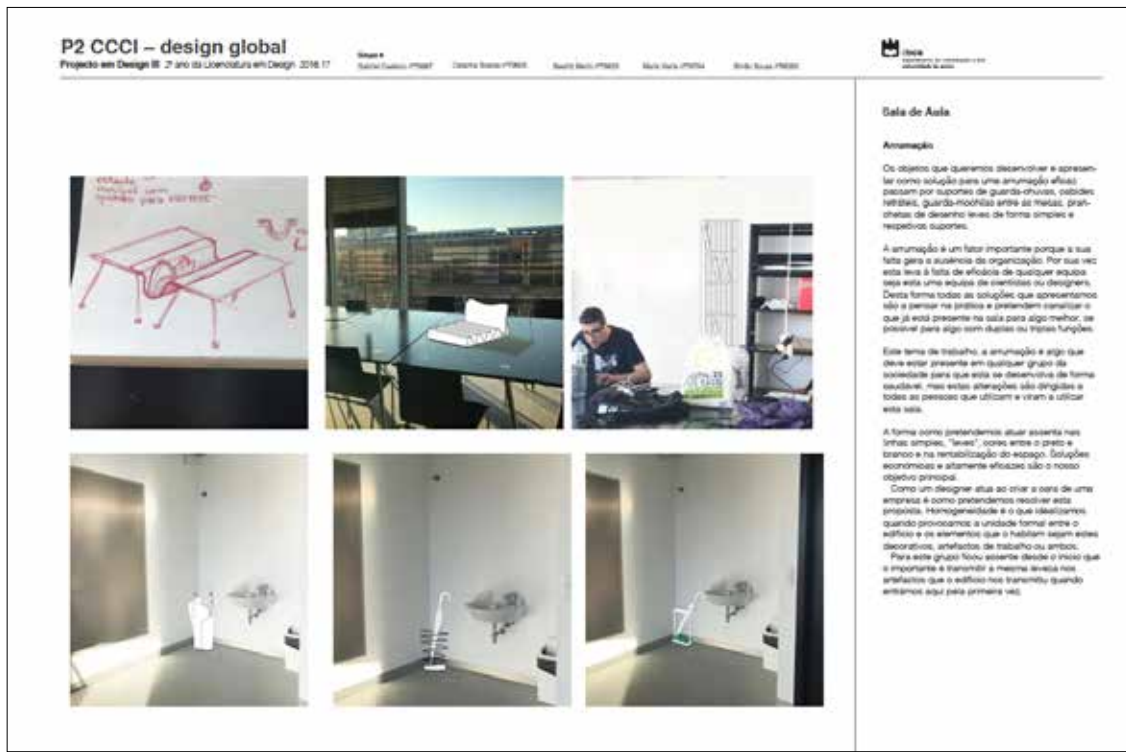


Figura 7.22
Poster n.º 1 do projeto “Arrumação” do Grupo 1

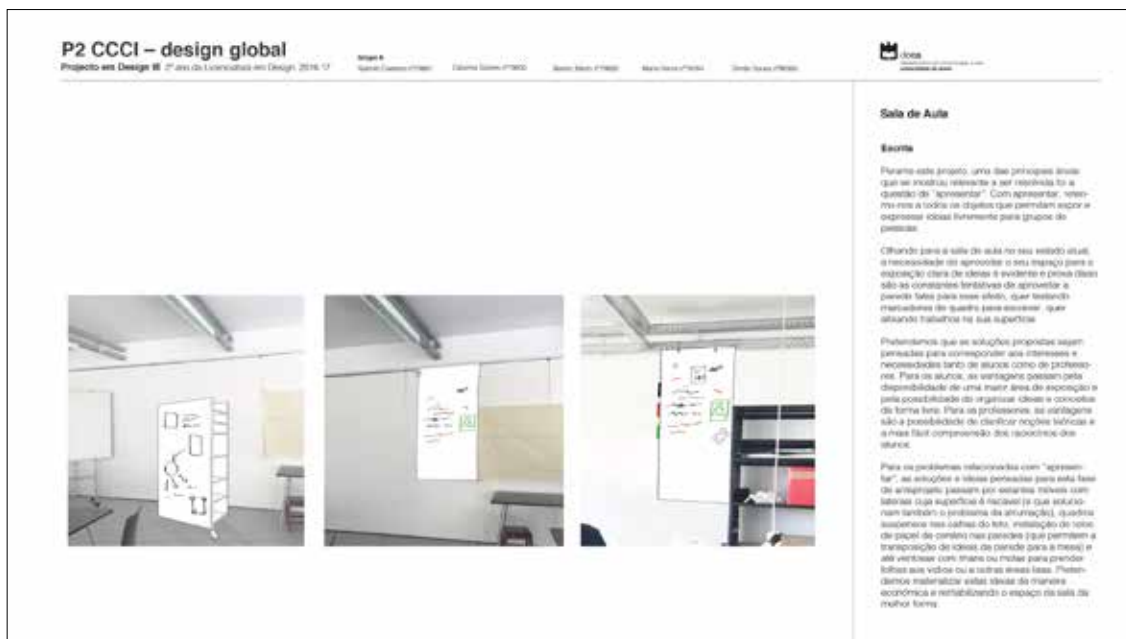


Figura 7.23
Poster do projeto “Escrita” do Grupo 1

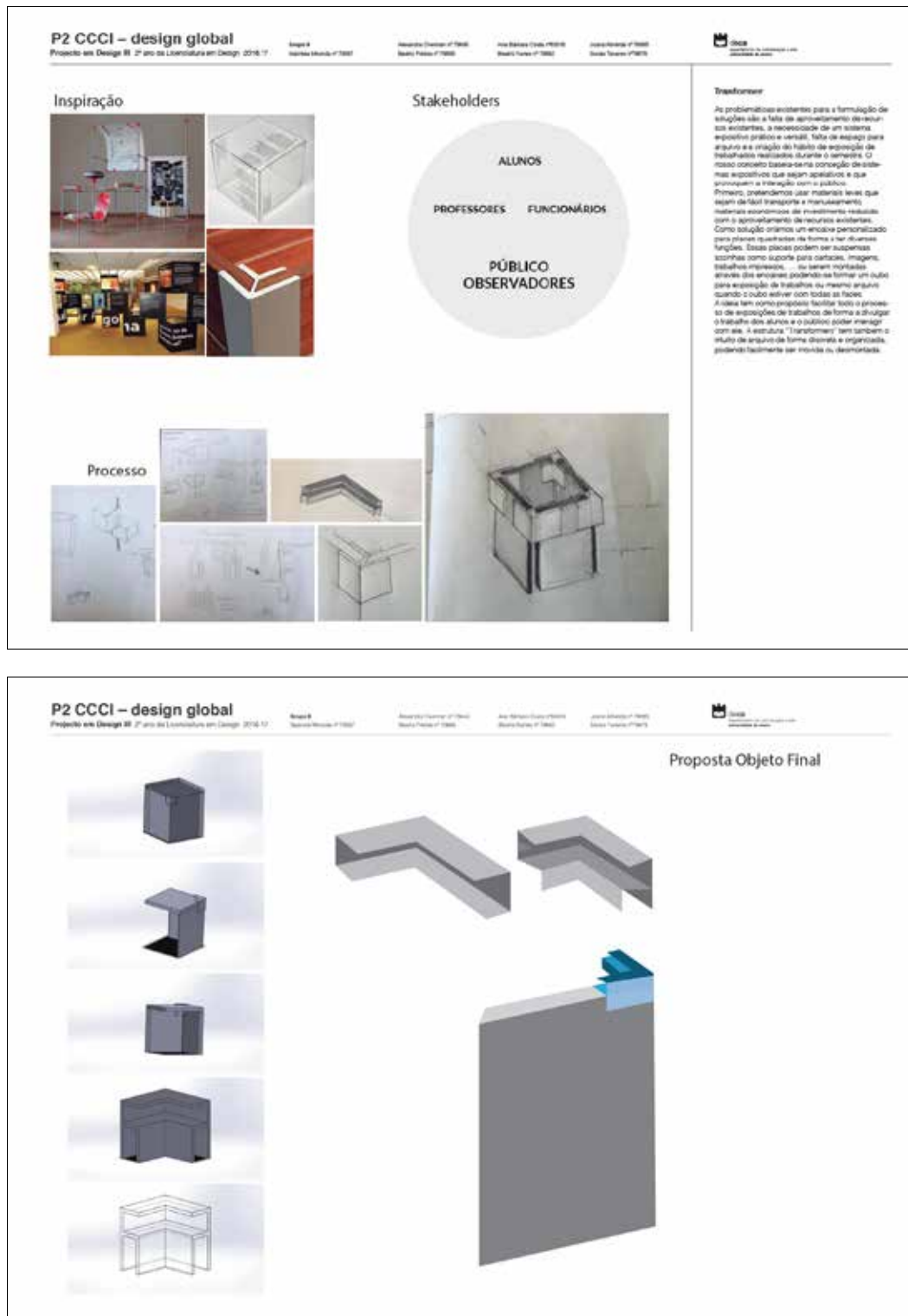


Figura 7.24 Posters n.º 1 e n.º 2 do projeto “Transformer” do Grupo 2

O Quadro 7.7 revela os projetos de ambos os grupos, após a fase de identificação da oportunidade (Emergência) e após conhecer os contextos (Empatia), nas quais a tecnologia de fabrico não foi referida.

Quadro 7.7

Projetos identificados pelos estudantes após as fases de Emergência e Empatia

Grupo	Número de estudantes	Local a intervir	Stakeholders	Descrição do projeto
1	6	Sala de aula	Estudantes, docentes	<p>Arrumar Desenvolver um produto que resolva o problema da arrumação de mochilas e chapéus de chuva dentro das sala de aula.</p> <p>Escrita Desenvolver um produto que resolva o problema de expor cartazes e desenhos dentro da sala de aula.</p>
2	7	Sistema de estanteria para exposições	Estudantes, docentes e funcionários	Desenvolver um sistema expositivo “prático e versátil” que permita expor os trabalhos dos estudantes, desde um cartaz a um produto prototipado.

Ao longo das sessões, o Grupo 1 manteve o desafio “Escrita”, cujo objetivo foi desenvolver um produto que permitisse expor cartazes e desenhos dentro da sala de aula e abandonou totalmente o projeto sobre a temática “Arrumar”. No final do semestre, o Grupo 1 apresentou um dispensador de papel para usarem nas aulas de desenho (Figura 7.25).

Para responder à necessidade de ter folhas de papel (...) de grandes dimensões para fazer rascunhos, esboços e esquemas, mas com medidas certas (...), propomos um dispensador de papel com régua e rolo de papel Kraft incorporado. Uma vez que este dispensador é encaixado na mesa, este permite o seu fácil manuseamento, transporte, corte e uso.

No dispensador de papel, as peças produzidas por fabrico aditivo (Figura 7.27) é colocada na lateral do rolo presa a uma régua de metal (Figura 7.26). Em cada lado do rolo é colocada uma peça de plástico que permite prender o tubo que atravessa o rolo nas laterais da peça de metal. Foram impressas duas peças que encaixam uma na outra, deixando um espaço entre as duas laterais. As peças foram impressas através da tecnologia FFF em PLA, o único permitido pelo modelo da impressora *BeetheFirst* com uma área de impressão de 190 x 135 x 125 mm, disponível no laboratório do departamento.



Figura 7.25
Dispensador de papel



Figura 7.26
Peça impressa em FFF em contexto de uso



Figura 7.27
Peça impressa em FFF desmontada

Quanto ao Grupo 2, no final do projeto apresentou uma peça de ligação para um sistema de estanteria. O grupo explorou alguns conceitos e rapidamente chegou à solução final que começou a prototipar. O primeiro modelo foi produzido em MDF (Medium Density Fiberboard), um compósito à base de madeira, com recurso à tecnologia de corte a *laser* (Figura 7.28). De seguida, a peça foi produzida por fabrico aditivo em PLA através da tecnologia FFF (Figura 7.31) disponível no laboratório. O grupo foi afinando, prototipando (Figura 7.30) e melhorando a peça, tendo em conta os comentários dos docentes da UC e as suas próprias reflexões. Ao longo do projeto, os docentes colocaram questões relacionadas com a funcionalidade do produto: “Como se seguram as placas à vossa peça? Suporta peso? Quanto? É fácil de montar? É transportável? Como funciona com os vários cubos?” Os comentários dos docentes incidiram sobre questões funcionais a melhorar, e opções estéticas no sentido de minimizar a importância visual do conjunto das oito peças necessárias para montar o cubo.

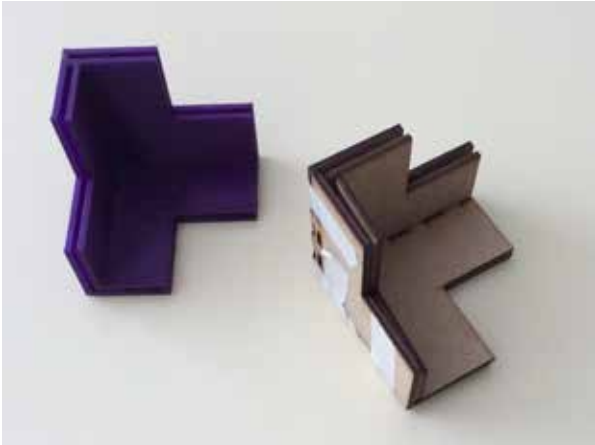


Figura 7.28
Modelos iniciais da peça em fabrico aditivo (esquerda); a montagem de peças por recorte a *laser* (direita)

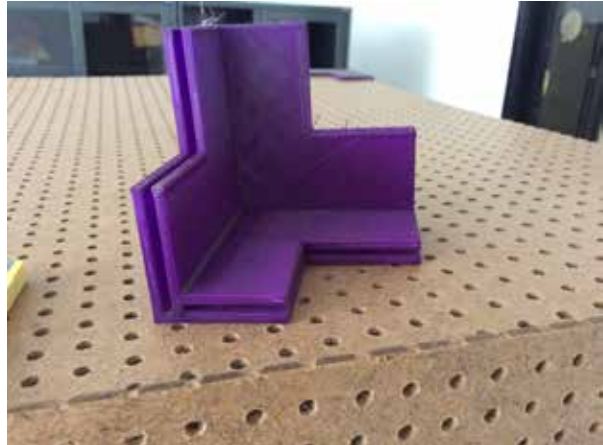


Figura 7.29
Peça impressa em PLA através da tecnologia FFF

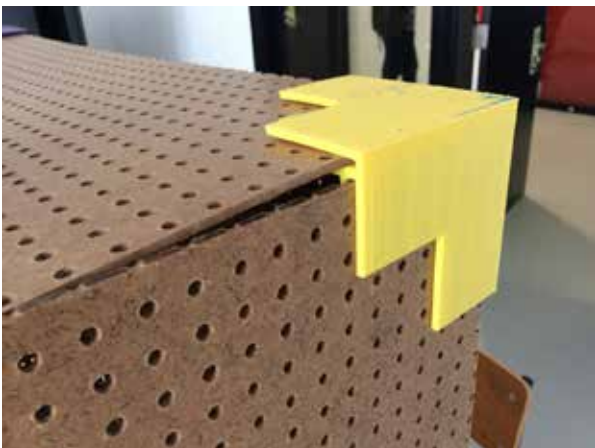


Figura 7.30
Protótipo do sistema de montagem

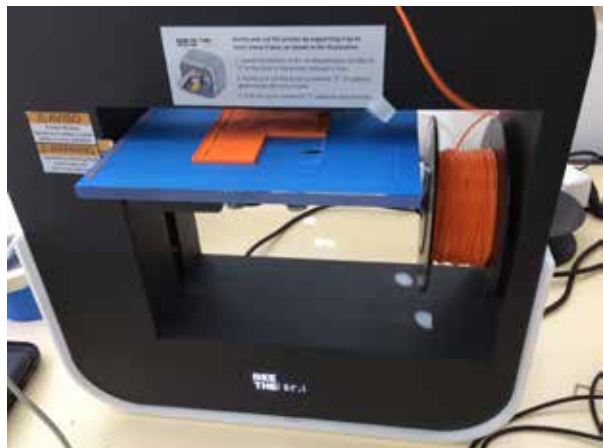


Figura 7.31
Impressora de tecnologia FFF onde foram produzidas as peças

No decurso do projeto, as interações dos docentes com a peça permitiram, a cada semana, novos comentários e propostas de melhoria. A peça foi sendo redesenhada. Por sugestão dos docentes retiraram material nas laterais e estudaram uma forma da peça não se soltar da placa. Optaram pela solução de acrescentar 3 orifícios que perfuravam as três faces da peça (Figura 7.32) onde seriam aplicados uns parafusos produzidos também em fabrico aditivo. Os parafusos permitiriam fixar as peças às três chapas laterais, impedindo o cubo de se desmanchar. No dia da apresentação final, o grupo de estudantes exemplificou o sistema com um cubo completamente montado (Figura 7.33), exceto os parafusos em PLA.



Figura 7.32
Peça do Sistema Modular Organizacional Expositivo impressa em FFF



Figura 7.33
Cubo do Sistema Modular Organizacional Expositivo montado durante a apresentação final

A partir de uma análise visual às peças resultantes dos projetos dos Grupos 1 e 2, verifica-se que não exploraram a liberdade formal potenciada pela TFA, o que provavelmente decorre de a tecnologia não ter sido pensada deste o início como um processo de fabrico sobre o qual os estudantes não pesquisaram. Percecionou-se que os estudantes recorreram à tecnologia como um meio para prototipar rapidamente os conceitos, mesmo ainda numa fase embrionária do desenho da peça. No decurso dos projetos, mais na fase de detalhar e afinar a solução, os dois grupos que recorreram às TFA disponíveis apresentaram aos docentes vários protótipos. O manuseamento dos objetos impressos permitiu aos docentes testar, avaliar e refletir para apontar possíveis modos de falha e sugerir novos caminhos a melhorar. Por isso, e apesar de não ter a ver com a mudança de paradigma construtivo no FA, é uma vantagem do ponto de vista da aprendizagem do design em projeto.

7.2.3 Visualização dos cadernos

Tendo em conta os objetivos inicialmente propostos para a intervenção: (1) avaliar a motivação e o interesse dos estudantes em trabalhar com a TFA, e (2) analisar os estudantes a registar as fases e subfases do modelo E.6², durante o projeto foram analisados os cadernos de projeto de 11 alunos que utilizaram a TFA para materializar o produto em PD III. Os cadernos em conjunto com os artefactos impressos permitiram também (3) analisar o modo como os estudantes exploraram as oportunidades para o design de produto através da TFA, mais especificamente através do processo FFF.

Apesar de os cadernos de registo serem individuais, a observação foi realizada por grupo de trabalho. Do Grupo 1 foram observados seis cadernos do Grupo 1, o que representou a totalidade do grupo. Do Grupo 2 foram visualizados cinco cadernos dos sete elementos do grupo. Os cadernos refletem o processo de forma cronológica, onde, para além de textos, anotações, desenhos exploratórios e de detalhe, estão também identificadas as intervenções da investigadora (Figura 7.34 e Figura 7.35).

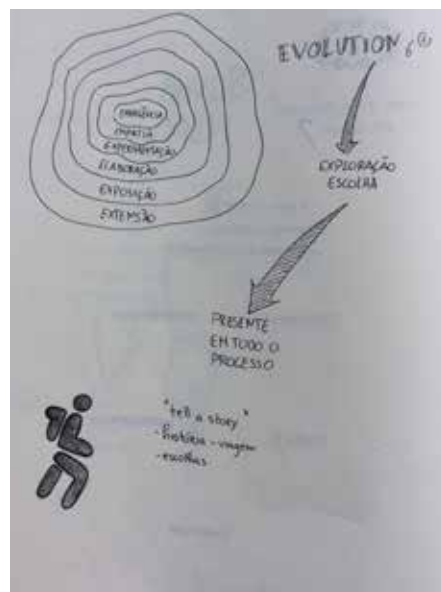


Figura 7.34
Página do caderno de estudante do Grupo 1 com apontamentos sobre a sessão 2 dinamizada pela investigadora

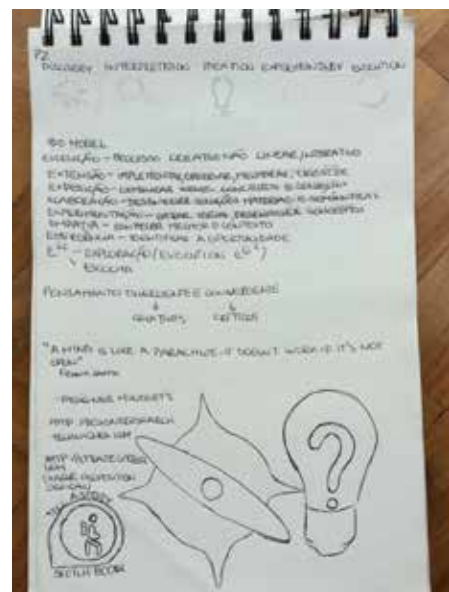


Figura 7.35
Página do caderno de estudante do Grupo 2 com apontamentos da sessão 2 dinamizada pela investigadora na semana 3

No entanto, para além de ter sido pedido em várias sessões para os estudantes identificarem cada entrada no caderno com a data, isso acabou por não se verificar. Apenas uma aluna do Grupo 1 identificou de forma sistemática cada entrada no caderno com a data. Em outros cadernos também surgiram datas, mas de uma forma esporádica. Quanto às restantes informações solicitadas pela investigadora, fase e subfase do modelo E62 (metodologia), tecnologia de fabrico a utilizar, vantagens do fabrico aditivo rápido para o produto a desenvolver, são praticamente omissas. A ausência da informação pedida pela investigadora nos cadernos analisados, poderá ter resultado do facto de não ter sido encarado pelos alunos como algo obrigatório. A obrigatoriedade de estruturar o projeto a partir de uma metodologia com fases devidamente identificadas para orientação dos alunos não é uma prática habitual da UC e, perante a possibilidade de optar por fazer ou não esse registo, os estudantes acabaram por não fazer. Perante a ausência do registo por parte dos estudantes, optou-se pela observação dos conteúdos gráficos e textuais presentes nos cadernos, a partir da qual se procurou estabelecer uma linha cronológica para entender melhor o processo metodológico ao longo do projeto.

Os estudantes do Grupo 1 iniciaram o projeto a partir do *brief* proposto pelos docentes procurando identificar a oportunidade dentro do espaço físico, no seu caso a sala de aula. No caso do Grupo 2, não foi necessária a identificação da oportunidade, pois o seu projeto consistiu em desenvolver um sistema expositivo móvel, já com alguns requisitos mencionados pelos docentes. Ambos os grupos passaram rapidamente pelas fases de identificação da oportunidade (Emergência) e conhecimento do contexto (Empatia). A curta passagem pelas fases da Emergência e Empatia poderá estar relacionada com o facto de os estudantes terem assumido que já conheciam bem os contextos de utilização, as salas de aula e o edifício CCCI, e pela proximidade aos potenciais utilizadores, alunos e docentes. No caso do Grupo 1, a Emergência e a Empatia foram muito curtas, e provavelmente sem recurso a técnicas adequadas. Os estudantes quiseram logo avançar para o desenho de uma solução. No caso do Grupo 2, a oportunidade estava identificada, logo não necessitaram de muito tempo na fase da Emergência; no entanto poderiam, na fase da Empatia, ter pesquisado mais para conhecerem melhor o processo de fabrico e desta forma tirar partido da tecnologia.

Nas duas primeiras fases são inexistentes as referências à tecnologia de fabrico, tal como imagens de produtos impressos por qualquer processo de FA que pudesse servir de inspiração, ou de análise de *benchmarking*. Em seguida, os estudantes recorreram ao desenho para registar ideias e pensamentos, para explorar e encontrar as soluções e também para comunicar com os restantes elementos do grupo e docentes. Uma das técnicas para a geração de ideias é o Desenho Experimental, referido pela investigadora na sessão n.º 3 como uma técnica a recorrer nesta fase. Através do desenho, o

designer estabelece uma relação com o mundo exterior (objetos) e também com o mundo interior (pensamento).

Um estudo realizado por Goel (1995) identifica dois modos de explorar ideias através do desenho durante o processo criativo: a transformação lateral, que implica um movimento de uma ideia para outra ligeiramente diferente, e a transformação vertical, em que o movimento é de uma ideia para uma versão mais detalhada da mesma. Uma boa prática de design é caracterizada por um equilíbrio entre transformações horizontais e verticais nos desenhos, o que significa gerar as oportunidades suficientes (pensamento divergente) seguidas de tomadas de decisão (pensamento convergente). As transformações laterais são frequentes nas fase iniciais, como por exemplo na geração de ideias, uma vez que permitem gerar muitas alternativas para depois selecionar. As transformações verticais implicam que os designers trabalhem sobre uma ideia, convergindo para um versão mais detalhada da mesma, por isso ocorrem na sua maioria na fase de detalhe, ou de refinar o conceito final (Haupt, 2016).

Nos cadernos é possível identificar os desenhos que correspondem a ideias já existentes que funcionam como recolha de informação, ou que revelam uma atitude exploratória, na procura da solução através da melhor forma ou funcionalidade, bem como de detalhe que pretende encontrar uma solução para um subproblema a resolver, que poderá ser o encaixe de uma peça ou o acerto de dimensões. Na fase de ideação (Experimentação) pretendeu-se que os estudantes gerassem uma vasta quantidade de ideias para dar resposta ao problema proposto (pensamento divergente) e numa fase de foco (pensamento convergente) seleccionassem a ideia/conceito (ou combinação destas) para posterior desenvolvimento.

Por isso seria expectável, na fase de ideação, um maior número de transformações laterais. As transformações nos desenhos tiveram em conta a classificação de Goel (1995), *lateral transformation* e *vertical transformation*. Tendo em conta que as transformações laterais deverão ser as mais utilizadas na fase de Exploração seguidas das transformações verticais para escolher e detalhar o conceito escolhido.

An obvious change in thinking (divergence) is a lateral transformation, while if the change is instead to a more detailed version of the same idea then a vertical transformation (convergence) has occurred. (Rodgers *et al.*, 2000, p. 457)

No entanto, constatou-se que os cadernos de ambos os grupos evidenciam poucas transformações laterais ao início, e transformações verticais mais cedo do que o expectável durante o processo criativo. Para além disso, os cadernos de diferentes alunos no mesmo grupo apresentavam as mesmas ideias/desenhos, o que leva a investigadora a questionar-se sobre o

entendimento dos estudantes quanto à utilidade do caderno e à função do desenho durante projeto.

Na perspetiva da investigadora, e considerando a premissa essencial para o design, de gerar produtos inovadores, é visível nos cadernos a ausência de uma grande quantidade de ideias ou conceitos, para que essa permissa se concretize, para além de que os desenhos retratam soluções de produtos já existentes no mercado. A dificuldade em gerar uma variedade de ideias ou em libertar-se da primeira ideia é referida por Cross (2016) como “attachment to concepts”, relacionada com a permanência nas ideias e conceitos iniciais da solução. Embora os estudantes fossem redesenhando o produto à medida que surgiam as dificuldades identificadas pela sua própria reflexão ou após a discussão com os docentes, a tendência pareceu ser manter o máximo de tempo possível a solução já encontrada, passando para a fase de detalhe, onde foram surgindo os problemas e as falhas da solução. Cross (2001), parafraseando um estudo de Rowe (1987) realizado com designers profissionais, mostra a dificuldade em recuar, “even when severe problems are encountered, a considerable effort is made to take the initial idea work, rather than to stand back and adopt a fresh point of departure” (p. 105). No caso dos estudantes, a necessidade de fazer avançar o projeto, evitando ao máximo os recuos no projeto, poderá ter condicionado a solução final encontrada.

A partir da visualização dos cadernos é possível verificar a pouca quantidade de desenhos de ideação ou exploração da forma. A pressa de chegar rapidamente à solução final fez com que os estudantes avançassem no projeto sem estudarem primeiro o problema (Emergência) ou conhecerem o contexto quer em relação ao utilizador quer à tecnologia que iriam usar (Empatia), o que, na perspetiva da investigadora, inviabilizou a geração de produto inovadores. A partir da visualização foram identificados os seguintes problemas:

- Poucos desenhos, esquemas e esboços, as mesmas ideias repetidas nos cadernos dos vários estudantes;
- Pressa de chegar à solução final;
- Desenhos de soluções finais sem enquadramento prévio do problema;
- Fixação numa ideia inicial, e dificuldade em gerar novas ideias;
- Utilização do caderno de projeto para registos não relacionados com o projeto.

O escasso número de ideias geradas diminui a probabilidade de produzir um produto criativo e inovador, tal como reduz as hipóteses de escolha para um conceito verdadeiramente “vencedor”. A escolha rápida do melhor conceito como solução “ideal” diminuiu a duração da fase de ideação (Experimentação), antecipando rapidamente a fase de desenvolvimento e detalhe do produto (Elaboração), na qual o conceito foi detalhado, prototipado, testado e melhorado.

Na fase da Elaboração estão os desenhos de pormenor das peças, desenhos com medidas, desenhos técnicos, observações relacionadas com os programas de modelação CAD utilizados, entre outros. Só nesta fase surgem os primeiros apontamentos relacionados com o fabrico aditivo (referido como impressão 3D), destacando as vantagens que a tecnologia poderá trazer para o produto: “aberturas e espaços para poupar material”; “para impressão 3D é preciso imprimir em separado”.

No Grupo 2, o conceito surge nas páginas iniciais dos cadernos já com medidas (Figura 7.36), o que levou rapidamente à maquetização da solução. As restantes páginas dos cadernos de projeto foram dedicadas à fase de desenvolvimento e detalhe do produto, onde raramente surgem referências à impressão 3D. A pedido dos docentes da UC, desenharam uma marca representativa do produto e cartazes que mostravam o funcionamento do produto.

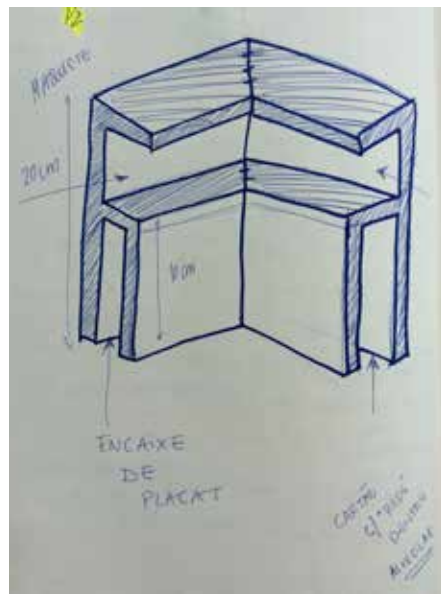


Figura 7.36
Páginas iniciais do caderno onde são visíveis as medidas assinaladas

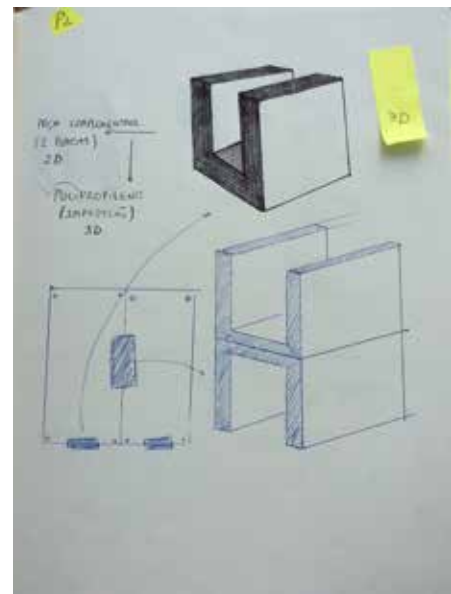


Figura 7.37
Páginas iniciais do caderno com uma referência à impressão 3D

7.2.4 Percepção dos estudantes sobre o projeto de fabrico aditivo

Tendo em conta os objetivos propostos inicialmente para a intervenção: (1) auscultar as percepções dos alunos sobre a introdução da TFA na UC intervencionada e (2) avaliar a motivação e o interesse em trabalhar com a TFA no processo de design de produto, o Grupo 1 e o Grupo 2 foram auscultados através de duas sessões de *focus group*. Dos nove grupos de estudantes participantes na intervenção, apenas dois grupos utilizaram a TFA na fase da prototipagem e na produção dos artefactos finais. Foram realizadas duas sessões, uma com cada grupo, no dia da apresentação final do projeto, com a duração de 45 minutos cada, num total de 90 minutos aproximadamente. O guião do *focus group* foi o mesmo para ambos os grupos e encontra-se disponível no Anexo 4. A transcrição das duas sessões, validadas pelos intervenientes, encontra-se no Anexo 5.

Do Grupo 1 estiveram presentes todos os elementos; quanto ao Grupo 2, duas estudantes não puderam estar presentes por indisponibilidade de horário, estando presentes 5 elementos. Durante o *focus group*, a investigadora procurou conhecer as percepções dos estudantes acerca do contributo da TFA no design do produto proposto para a UC relacionadas com:

- vantagens e inconvenientes da tecnologia identificadas durante o projeto
- dificuldades encontradas durante o projeto
- contributos para o projeto em termos da metodologia em design
- contributos para a aprendizagem por parte dos alunos
- implicações da tecnologia nos produtos desenhados

Na opinião dos discentes auscultados, a intenção de recorrerem ao fabrico aditivo para produzir as peças desenhadas surgiu na primeira aula de apresentação do projeto, quando o docente responsável da UC informou os estudantes que iriam ter livre acesso às impressoras no laboratório, mas não assumiram essa decisão por escrito na altura do *Intent Statement*, nem surge referida no cadernos. Os motivos que os levaram a optar pelo fabrico aditivo estão relacionados com o fácil e rápido acesso a um equipamento que permitia maquetizar um protótipo físico, a curiosidade e vontade em experimentar uma nova tecnologia, e também razões económicas, pois o material (filamento PLA) seria disponibilizado pelo departamento, sem custos adicionais para os alunos:

Grupo 1

E4: Por ser uma tecnologia nova.

E1: Por ser a custo zero para nós.

E4: Sempre aquela curiosidade da impressão 3D.

(...)

E1: Quando o Docente 1 começou a falar das máquinas de impressão 3D e que tínhamos as máquinas disponíveis.

(...)

E2: Foi muito por termos aqui acesso e por permitir as formas que queríamos. Podíamos alterar quando queríamos. Era rápido... Relativamente rápido...

E3: O valor de produção iria ser baixo (...)

Em relação às vantagens que identificaram na tecnologia ao longo do projeto, ambos os grupos reconheceram vantagens na possibilidade de prototipar rapidamente a peça, o que lhes permitiu identificar as falhas, retificar e reimprimir uma nova peça. Referiram também questões relacionadas com a democratização da tecnologia, com a possibilidade de enviar um ficheiro de forma virtual e com a importância de ter um protótipo físico, muito próximo do produto final, algo tangível para mostrar e discutir com os docentes nas aulas e apresentações:

Grupo 2

E1: Conseguimos a partir do desenho do computador ver alguma coisa na realidade, que se calhar não conseguiríamos tão cedo de outra forma, (...)

E2: Conseguiríamos ter mais *feedback* (...)

E1: Muito mais rápido, apesar de termos perdido muito tempo (...) é uma coisa que conseguimos logo ver o resultado nas nossas mãos (...)

E3: Assim dá uma perspetiva diferente das coisas. Até porque é mais fácil para nós em poucas horas podermos ver aquilo que pensámos e, ou avançar com aquilo, ou esquecer completamente porque chegamos à conclusão que, tocado e sentido, não dá mesmo. (...)

E1: Idealizar e ter logo ali... passadas poucas horas e poder tomar decisões (...)

E2: Eu acho que sem isto nós não conseguiríamos fazer estas peças (...)

Grupo 1

E1: É mais rápido do que qualquer processo artesanal (...)

E3: Acho que, ao nível do protótipo, (...) permite que tenhamos logo um *feedback* mais rápido do que desenhamos, de ver na realidade. Permite testar e experimentar (...)

E5: Eu acho que poder testar, desenhar em 3D, e passadas umas horas poder testar o objeto, acho que é algo fantástico! (...)

Quanto às dificuldades e problemas encontrados, referem a questão do tempo que demora a produzir a peça, dificuldades no processo de impressão relacionadas com o design das peças, limitações do tamanho da área de impressão

dos equipamentos disponíveis. O conceito de “rapidez” associado ao tempo que demora surge como vantagem e desvantagem. Os estudantes consideram o tempo de impressão demorado, mas reconhecem que, se utilizassem outro processo de fabrico, artesanal ou industrial, para materializar o protótipo, demorariam mais tempo:

Grupo 1

E3: Demora muito tempo...

(...)

E2: O problema é quando dá erros.

(...)

E6: As limitações de tamanhos...

(...)

E4: Sim, nós ao início tínhamos medo que alguma impressão (ficheiro) fosse maior. (...) tínhamos algum receio que ultrapassasse a área de impressão.

A imprevisibilidade da máquina é referida pelos estudantes como um entrave que pode atrasar o processo ou até danificar a peça que está a ser impressa. A correta utilização e manutenção dos equipamentos poderá minimizar o erro e evitar a repetição do processo de impressão da peça:

E4: Se imprimirmos muitas vezes seguidas a máquina, tende a dar erro. Começa a dar erro.

E3: Ou a descalibrar ou entupir.

E4: Sim, a descalibrar ou entupir penso que seja o filamento que começa... não sei... Começa a deitar muito filamento.

A vontade de ter algo físico impresso aliada ao fácil acesso à tecnologia poderá ter induzido alguma precipitação em avançar para a fase de impressão de protótipos, de modelos pouco “pensados”, o que associada ao pouco domínio sobre a tecnologia, poderá ter resultado em alguma frustração.

Grupo 2

E2: Para além de termos ficado muito, muito dependentes daquilo, porque foram imensas tentativas e erros durante o projeto todo... imensas mesmo (...)

E6: Porque a nossa peça também era complexa, houve uma altura em que a nossa peça não imprimia na totalidade, pois a máquina parava, mas com peças mais pequenas... já concluía a peça toda (...)

Ainda assim, os estudantes referiram as decisões que tomaram no sentido de minimizar os riscos durante a impressão, evitar o desperdício de material e gerir melhor o tempo de impressão. Algumas das dicas e sugestões foram

referidas na sessão com o convidado externo, incluindo a posição da peça no tabuleiro de impressão, e a impressão das peças por partes para evitar a utilização de suportes.

Grupo 1

E1: Uma coisa que se tem de ter sempre em conta é a peça e como vai ser a impressão.

E4: Sim, a maneira como imprimes a peça.

(...)

E3: Pensávamos mais em como posicionar para imprimir (...) Pensávamos mais na maneira como imprimir do que na forma da peça.

(...)

E2: Chegámos até a alterar por causa da impressão.

E3: Exato, o (nome do aluno) até optou por dividir a peça.

Em relação à necessidade de redesenhar a peça em função da tecnologia, foram referidos “pequenos ajustes” no design relacionados com os limites das área de impressão, que condicionaram a dimensão final da peça. A remoção de material também foi mencionada, na perspetiva da otimização da peça e da eliminação do material desnecessário. Esta poupança de material, mesmo que pouco significativa, poderá influenciar no tempo de impressão e no impacto ambiental.

Grupo 1

E4: Tivemos de fazer pequenos ajustes.

(...)

E2: Foi para ser reimpresso e também foi para poder caber na base. (...)

E3: Para poupar tempo, tivemos de retirar alguns excessos.

E1: Para poupar tempo e material também.

E5: Material que não era preciso...

Quanto às opções estéticas relacionadas com a complexidade formal foram apresentados vários produtos com geometrias mais complexas. Apesar de reconhecerem a potencialidade da tecnologia quanto à liberdade formal, admitem que deram uma maior primazia à funcionalidade e à simplicidade para descomplicar o processo e minimizar os erros que poderiam ocorrer na impressão. Referiram também que não tiveram tempo para explorar mais essa liberdade.

Grupo 1

E2: Uma das vantagens também é a liberdade de formas.

(...)

E2: Mas também não houve muito tempo para explorar.

(..)

E2: Nós simplificamos ao máximo o design de todas as peças, por isso estivemos a fugir um bocado ao complicado. (..)

Para que os alunos pudessem comparar, a investigadora pediu aos alunos para relembrares a experiência que tinham tido na UC de Projeto em Design II e refletirem sobre a metodologia projetual utilizada em PD II, confrontando com a utilizada em PD III. Os estudantes não identificaram diferenças nas fases, considerando o processo semelhante.

Grupo 1

E3: Acho que foi idêntico.

E4: Foi igual.

No que diz respeito à fase da metodologia processual em que consideraram a utilização da tecnologia mais determinante para a evolução do projeto, ambos os grupos referiram a fase dos “testes” ou no início da prototipagem. Apesar de os estudantes não referiram diretamente a fase do desenvolvimento/detalhe como a mais determinante, a investigadora associou as tarefas mencionadas à necessidade de materializar os conceitos para testar e melhorar com a fase da Elaboração do modelo E.6².

Grupo 1

E4: Quando começamos a imprimir as primeiras peças.

Grupo 2

E2: No momento dos testes. (...) No momento das alterações a coisas pequenas.

Quanto à perceção dos estudantes sobre a utilidade prática da TFA, ambos os grupos referiram novamente a prototipagem das peças para validação da forma e teste. Os testemunhos evidenciam as dificuldades dos estudantes em adaptarem o seu *mindset* para projetarem para fabrico aditivo. Uma das razões para que isso aconteça poderá ter a ver com o facto de os estudantes não estarem habituados a desenhar produtos em função da tecnologia de fabrico. Mesmo assim, a presença de um *mindset* influenciado pelos processos convencionais pode perceber-se em declarações como as seguintes:

Grupo 1

E2: Isto é indicado para protótipo e para experiência, depois disto é que é produção em série. (..)

E4: Sim, sim, isso era quase impossível fazer em injeção ou qualquer... Em 3D era a melhor opção. Acho que para esses casos é melhor a impressão 3D (...)

E2: Acho que é bom para prototipar. (...)

Tal como quando questionados sobre o contributo que estas tecnologias podem trazer para o design, é referida novamente a prototipagem. Esta argumentação reforça o que foi dito anteriormente sobre a forma como utilizaram a tecnologia durante o processo, como uma ferramenta de prototipagem rápida e não como tecnologia de fabrico, o que indicia a dificuldade, mesmo para estudantes, em “aceitar” a mudança de paradigma construtivo:

Grupo 1

E3: Validar a forma do objeto, ver sem ser no computador. (...)

E4: Nós não nos focámos em desenhar para a impressão 3D, nós focamos-nos em desenhar o objeto e depois vimos a oportunidade de imprimir o protótipo na 3D porque dava... E porque tínhamos os meios para isso.

Grupo 2

E6: A prototipagem. (...)

Relativamente à utilização do caderno como forma de registo do processo, destacam a vantagem de terem ali a informação relacionada com o projeto, no entanto reconhecem um afastamento do caderno, na fase de detalhe do produto, onde o computador e os *softwares* de modelação são ferramentas essenciais ao projeto. Nesta fase, o *software* funciona como uma ferramenta exploratória da forma final, onde se pode corrigir e afinar pequenas coisas do produto. O que indicia que, para a recolha de informação no contexto da investigação, o registo livre no caderno não garante a recolha de dados, havendo necessidade de pensar em outra solução:

Grupo 1

E2: Eu desenhava uma peça e depois fazia em 3D, e ia para a máquina, só depois de acordo com o que era impresso ia modificando essa peça, mas essas alterações nunca eram desenhadas no caderno.

E5: Foram feitas diretamente no computador.

(...)

E3: Há trabalho complementar que já não está lá.

Grupo 2

E2: Acho que é bom, porque está ali tudo reunido. Tudo relacionado com o projeto. (...)

E2: Eu acho que aí se perdeu (...) informação... (...) Na avaliação, não vão ter em conta que nós tivemos trabalho, não no diário gráfico, mas sim no computador.

(...)

E1: Acho que o caderno é importante numa fase inicial, depois... (...)

No que diz respeito à motivação para voltar a usar esta tecnologia no futuro, e aplicar o conhecimento adquirido nesta experiência em outros projetos, as respostas foram bastante positivas em ambos os grupos. No entanto, reforçam que a forma como o processo foi gerido pode não ter sido o mais adequado, expondo o que consideraram ser um ponto fraco no seu projeto, uma maior atenção à máquina (ou no processo de impressão) em detrimento do design da peça em si:

Grupo 2

E3: Eu voltava! (...)

E2: Sim, mudava era a metodologia que nós tivemos, que se calhar devia ter sido diferente.

E2: Porque agora já temos experiência.

E3: Fizemos um uso exaustivo da máquina e não de desenho da peça.

E2: Agora que temos mais experiência, mudávamos a forma como trabalhámos.

Mesmo assim o entusiasmo, materializada a peça que desenharam, também é notório nos comentários. A materialização das peças poderá dar uma motivação intrínseca para continuar, algo que é referido pelos designer entrevistados no artigo:

Grupo 1

E2: Mas a primeira vez que vimos imprimir e vimos as nossa peças impressas... Foi engraçado!

(...)

E4: As primeiras que imprimimos ficaram mesmo bem. Ficaram mesmo lindas.

E3: Quase parecia o produto final.

E2: É verdade... toda a gente tinha vontade de mexer na peça, era mesmo fixe!

Figura 7.38

Focus group realizado pela investigadora com o Grupo 1



7.2.5 Resultados considerados na preparação do estudo de caso

O estudo prévio realizado com alunos de Design na UC de PD III permitiu repensar os métodos para a recolha de dados sobre a metodologia projetual e o processo cognitivo dos estudantes durante a prática projetual de desenhar para FA. Foi decidido manter o caderno de projeto, pois é um método de registo preferencial no processo de aprendizagem de design, mas complementar a recolha de dados com o registo áudio das interações semanais entre docente e estudantes, e a respetiva análise de conteúdo. Os resultados do estudo permitiram preparar a intervenção seguinte, também em contexto académico numa UC com alunos do 2.º ano do curso de Design de Produto e Tecnologia. O Quadro 7.8 sistematiza os problemas/dificuldades retirados do estudo prévio e os tópicos tomados em consideração na preparação da intervenção seguinte.

Para garantir uma maior participação da turma e ter mais dados para recolher, tal como promover nos participantes um *mindset* de DpFA, foi decidido condicionar o *project brief* para a tecnologia de FA. Uma imposição que pretendia assegurar um maior número de produtos, próximos de um produto final e desenhados para FA. Relativamente ao tempo de aprendizagem do modelo E.6², implicaria um maior número de horas de contacto entre a investigadora e os estudantes para uma compreensão das fases e subfases, o que teria de ser feito durante as sessões, retirando tempo de dedicação ao projeto. Perante isto, foi decidido não pedir aos alunos para registarem a fase,

Quadro 7.8 **Sistematização das dificuldades encontradas e tópicos considerados na preparação do estudo de caso**

Categoria	Problemas/dificuldades	Tópicos a abordar
Praxiologia (processo/metodologia)	Apenas 22% da turma utilizou a TFA	Forçar um <i>project brief</i> de design para fabrico aditivo (DpFA)
	Não registaram no caderno a fase nem a subfase como pedido pela investigadora	Transcrição integral das interações semanais entre docentes e estudantes durante as sessões e identificação das fases e subfases pela investigadora
Epistemologia (pessoas/designers)	Ausência de informação no caderno	Transcrição integral das interações semanais entre docentes e estudantes e, a partir da percepção da investigadora, identificação dos estilos cognitivos mobilizados pelos estudantes
Fenomenologia (produtos/artefactos)	Número reduzido de equipamentos de FA, de processo (FFF) e materiais (PLA)	Permitir que os estudantes tenham acesso a uma maior número de processos e materiais de FA
	Explorar formas complexas	Incluir a inspiração biomimética para introduzir as formas complexas da natureza Acesso a processos de FA de elevada qualidade que permitem formas mais complexas.
	Identificar e resolver os problemas relacionados com a máquina durante a impressão	Ter um especialista (docente ou técnico) para esclarecer dúvidas e encontrar soluções

optando-se por fazer a transcrição integral das interações semanais, nas quais os estudantes interagiam com os docentes e discutiam o trabalho realizado, as decisões tomadas e os próximos passos para o projeto avançar. A transcrição permitiu à investigadora retirar dados relacionados com a prática projetual, fazendo ela própria a identificação das fases e subfases e, a partir das suas percepções, analisar o processo cognitivo através de uma taxonomia de estilos. Com a análise dos registos áudio, a responsabilidade de identificar as fases do processo bem como os “modos” (estilos) cognitivos “em ação” passou para a investigadora. A decisão foi consciente e resultou deste estudo prévio.

Para incentivar os estudantes a exploração de formas mais complexas, com geometrias impossíveis de reproduzir com os processos convencionais, decidiu-se alargar o acesso a outros processos, para além do FFF. No estudo de caso que decorreu na ESAN, os estudantes poderiam usar para imprimir o produto final outro processo disponível. Equipamentos de acesso livre do processo FFF como os equipamentos (FFF, SL e MJ) disponíveis no laboratório

próprio, mas de acesso mais condicionado. Para além disso, foi acrescentada a inspiração biomimética ao projeto a desenvolver. Com a tecnologia de FA é possível a reprodução de funcionalidades estéticas e mecânicas inspiradas na Natureza que colocam no produto atributos como por exemplo a complexidade geométrica, tirando partido das oportunidades únicas do FA para o design de produto. Quanto às falhas técnicas que ocorreram durante o processo de impressão, os alunos tiveram dificuldades em identificar a causa e consequentemente em saber como as resolver. Na intervenção do estudo de caso procurou-se antecipar prováveis situações e problemas, solicitando a ajuda de um dos estudantes da turma com experiência em FA adquirida em outra UC.

7.2.6 Reflexões da investigadora

As sessões dinamizadas pela investigadora com os alunos de PD III contribuíram para se conseguir um grau de confiança e empatia necessárias para a recolha de dados, nomeadamente durante os grupos de discussão realizados no final da intervenção entre investigadora e participantes. A investigadora tem a convicção de que a confiança adquirida e a empatia gerada durante as aulas favoreceram a receptividade e disponibilidade dos estudantes para participarem de forma ativa no *focus group*. A intervenção em contexto académico permitiu recolher dados a partir das sessões dinamizadas pelas investigadora, os cadernos individuais dos estudantes, os *focus group* realizados com os dois grupos e os artefactos finais. A análise dos dados recolhidos permitiu avançar com potenciais contributos para a intervenção a desenvolver no estudo de caso.

Relativamente à motivação dos estudantes para utilizarem a TFA disponível foi positiva. Dos nove grupos que constituíam a turma, dois grupos aceitaram o desafio de recorrer à tecnologia para materializarem os seus produtos. No Grupo 2, composto por sete elementos, nenhum tinha experiência prévia com o processo FFF; quanto ao Grupo 1, de seis elementos, três dos estudantes tinham já recorrido às impressoras no âmbito de uma UC do semestre anterior. O resultado positivo e a satisfação atingida com a experiência na UC anterior poderá ter contribuído para a decisão de escolher aceitar o desafio proposto. Apesar de apenas 22% da turma ter utilizado as impressoras, os estudantes estiveram motivados durante todo o processo e no final mencionaram que o voltariam a fazer, mas de forma diferente, mostrando uma autoreflexão após a intervenção.

Os *focus group* realizados no final do semestre com ambos os grupos permitiram auscultar a perceção dos alunos sobre a introdução do FA na UC. Os estudantes identificaram as dificuldades associadas ao processo, como: falhas durante o processo de impressão que levaram à inutilização da peça e à consequente repetição do processo, os limites da área de impressão e a necessidade de vigilância constante. Contudo, referiram também vantagens

em termos de aprendizagem não apenas em relação à tecnologia, mas também quanto ao processo de desenvolvimento do produto. A materialização dos protótipos físicos, próximos de um produto final, no decurso do projeto possibilitou a análise visual por parte dos docentes das peças em 3D, promovendo uma discussão fundamentada entre estudantes e docentes, tal como sugestões e propostas de melhoria, algo que também foi referido pelos estudantes como benéfico para fazer avançar o trabalho.

A interação com “objetos intermédios” impressos por fabrico aditivo durante as sessões criativas com os docentes, segundo A. L. Rias *et al.* (2017), pode levar os estudantes a experienciarem sensações de satisfação pessoal que terão impacto no processos de aprendizagem e nos processos de geração de ideias. Os autores assumem que “designers’ intrinsic motivation and especially their curiosity, may be ignited by adequate stimuli which can be (...) intermediate objects made with additive manufacturing” (p. 19). Por oposição às motivações extrínsecas, associadas às oportunidades de design permitidas pelo FA, é a motivação intrínseca que impulsiona o estudante para a descoberta, conduzido pelo seu próprio interesse e curiosidade, na expectativa do que irá descobrir ao fazê-lo. Para tal é importante proporcionar um ambiente favorável para que as motivações intrínsecas possam surgir, por exemplo facilitando o acesso livre à tecnologias (equipamento e material impresso) e apoio técnico para resolução de problemas.

Na perceção da investigadora, os estudantes tiveram dificuldade em explorar objetos com geometrias complexas, impossíveis de reproduzir por outros processos de fabrico. O pouco tempo para o desenvolvimento do projeto e as opções estéticas de manter os objetos “simples” foram razões apresentadas pelos estudantes para justificar não terem explorado a liberdade formal que reconhecem como potencialidade única da tecnologia. Não obstante, para a investigadora, as razões pelas quais os estudantes não exploraram o potencial da tecnologia tiveram a ver com a pressa de chegar rapidamente a uma “possível” solução final e ao escasso número de ideias geradas na fase da ideação, onde poderiam ter explorado mais as técnicas como o Desenho Experimental ou Analogias. No Grupo 2, a perceção dos estudantes foi diferente, pois referem a importância que deram à utilização do equipamento em detrimento do design da peça. O que pode indicar que o facto de estar a aprender uma tecnologia nova pode “retirar atenção” ao trabalho conceptual.

Sob o ponto de vista praxiológico foram analisados os cadernos individuais de projeto de 11 estudantes. De acordo com a perceção da investigadora, a ausência de alguma (muita) informação em relação à identificação das fases do modelo E.6² não significa que o estudante não tenha passado pelas fases para responder ao problema de design, pois executa as diferentes tarefas associadas a determinadas fases, mas sem ter consciência do processo. Ainda no que diz respeito à metodologia, os estudantes do Grupo 1 que já tinham

tido experiência com impressão 3D consideraram que o processo foi igual ao projeto anterior em que haviam usado também as impressoras. A questão suscitada poderá reafirmar o que foi dito pelo designer entrevistado, “Não muda nada!”, ou o processo metodológico mantém-se igual, pois a tecnologia foi encarada como uma sistema de prototipagem e não como um processo de fabrico. De uma perspetiva fenomenológica, a partir deste estudo prévio não foi possível recolher dados relativos à parte cognitiva dos estudantes.

Na perceção da investigadora, os grupos, apesar de terem concluído o projeto com produtos “finais”, encararam o FA como adequado para a prototipagem rápida. Uma possível explicação para a relutância à mudança de paradigma construtivo poderá estar relacionada com a ausência de uma pesquisa mais aprofundada, na fase da Empatia, sobre as potencialidades da tecnologia, de onde provavelmente surgiria um conjunto de produtos finais, de diferentes áreas do design, produzidos através de FA.

No entanto, numa análise dos produtos resultantes desta intervenção tendo em conta as potencialidades da tecnologia, os produtos apresentam formas simples, pouco inovadoras, próximas dos produtos resultantes dos processos convencionais. Perante isto, a investigadora supõe que, para além de poderem existir limitações criativas e barreiras cognitivas resultantes das restrições dos processos convencionais, existem também constrangimentos associados à TFA, nomeadamente ao processo FFF, que poderão ter tido influência nos momentos de Escolha dos estudantes ao longo do processo. Dificuldades associadas aos conhecimentos básicos dos estudantes em modelação, à capacidade de inovar dos estudantes, à falta de contacto com produtos de geometrias complexas fabricados pela TFA e a proximidade a processos de FA mais fidedignos, capazes de produzir produtos de alta qualidade.

Capítulo 8

Estudo de caso: projeto de desenvolvimento de produto II

O curso de licenciatura em DPT é oferecido desde o ano letivo 2005/2006, inicialmente como Tecnologia e Design de Produto (TDP), e contribui para a formação de quadros com um perfil multidisciplinar na área do *design* e desenvolvimento de produto. O perfil do curso decorre, quer da caracterização do tecido económico e industrial da região, quer da necessidade, ao nível nacional, de um perfil de formação virado para a inovação, projeto e desenvolvimento de novos produtos, capaz de promover o aumento da competitividade e sustentabilidade da indústria portuguesa. A realização da investigação foi autorizada pela direção do curso e contou com a colaboração dos docentes responsáveis pela unidade curricular selecionada para o estudo de caso.

Este capítulo é dedicado à descrição do estudo de caso que consistiu no projeto desenvolvido pelos estudantes na unidade curricular de Projeto de Desenvolvimento de Produto II (PDP II), com alunos do 2.º ano da licenciatura em Design de Produto e Tecnologia orientados por uma equipa de dois docentes, possuindo o docente responsável formação na área científica das ciências de engenharia, e o outro docente formação na área científica do design.

O estudo de caso descrito neste capítulo procurou: (1) descrever, de forma exploratória, o processo cognitivo, a metodologia projetual quando se desenha para esta tecnologia; (2) analisar os artefactos impressos tendo em conta os critérios previamente definidos como sendo representativos de uma estética e funcionalidade associada ao fabrico aditivo; (3) contribuir para uma aprendizagem sobre o processo de fabrico aditivo através da prática projetual numa estratégia de experimentação.

A UC de Projeto de Desenvolvimento de Produto II é uma unidade curricular do 2.º semestre do 2.º ano com 10 ECTS e 4 horas semanais de contacto (1 hora teórico-prática, 2 horas práticas e 1 hora de orientação tutorial) onde – de acordo com o *dossier* pedagógico – se pretende “criar competências no domínio do projeto de desenvolvimento de novos produtos interpretando de forma integrada os interesses das pessoas, da indústria, da sociedade e do ambiente” e, desta forma, “fomentar a prática de projeto, criando hábitos de pesquisa, desenvolvimento e fundamentação de soluções para problemas inerentes ao processo de desenvolvimento de novos produtos, estimulando em simultâneo, a capacidade de empreender”.

O *project brief* para a intervenção foi inicialmente discutido entre a investigadora e os docentes da UC, que mostraram uma total abertura e interesse em incluir a TFA como processo de fabrico dos projetos com os alunos. Sendo o ensino e a aprendizagem da TFA uma das áreas estratégicas da ESAN, esta

intervenção foi encarada positivamente pelos docentes da UC e pela direção da ESAN, que colocou à disposição dos estudantes os equipamentos existentes e disponibilizou-se para adquirir novos equipamentos de tecnologia FFF, mais ajustados para o projeto em questão. Desta forma, os estudantes teriam de desenhar produtos para serem fabricados através dos processos de FA existentes na ESAN e, para isso, poderiam utilizar as impressoras FFF de livre acesso para imprimir os produtos, testar e experimentar de forma autónoma. Foram especialmente colocadas para este efeito num espaço de livre acesso duas impressoras CubeX já disponíveis na ESAN e foi encomendada uma nova impressora PRUSA que permitiu o fabrico de peças em material flexível, neste caso TPU.

Houve também o compromisso da parte da investigadora em ocupar o mínimo de tempo possível de cada aula com atividades ligadas à investigação, de forma a garantir que os docentes conseguissem falar e discutir os projetos com todos os grupos em todas as sessões semanais de 3 horas. Note-se que, tendo em conta o número total de horas registadas em áudio, cerca de 41 horas aproximadamente, a maioria das horas semanais ultrapassou as 3 horas contempladas para a UC.

Na intervenção, a investigadora assumiu o papel de observadora, procurando intervir apenas, pontualmente, quando solicitada pelos alunos e docentes, no sentido de esclarecer algo relacionado com a sua investigação e quando considerou que o seu conhecimento ao nível da tecnologia, metodologia ou experiência profissional poderia ser uma mais-valia para o trabalho em discussão e contribuir para o seu avanço e aperfeiçoamento. A mudança de postura da investigadora em relação ao estudo prévio II decorreu da garantia de que todos os alunos iriam desenvolver produtos para fabrico aditivo, não tendo a investigadora de os “motivar” para isso e podendo desta forma manter o foco na recolha de dados para a investigação.

O Quadro 8.1 sistematiza a informação no que diz respeito aos objetivos da intervenção, a metodologia da UC já praticada anteriormente pelos docentes, os instrumentos de recolha de dados que foram utilizados e os critérios de seleção.

No ano letivo 2017/2018 em que a intervenção decorreu, e mantendo a prática adotada nesta UC em anos anteriores, os estudantes trabalharam em grupos de 2 elementos. A turma era constituída por 25 estudantes, 16 rapazes e 9 raparigas, com idades compreendidas entre os 19 e os 23 anos, num total de 12 grupos. De acordo, com os critérios de seleção descritos no Quadro 8.1, todos os estudantes foram inicialmente incluídos no estudo. Por razões que se encontram descritas na secção 9.1.1, nem todos os grupos conseguiram apresentar um artefacto próximo do resultado final pretendido, o que reduziu o número de estudantes incluídos no estudo, bem como o números de artefactos para análise. A apresentação de lançamento do projeto

Quadro 8.1 **Sistematização da intervenção em Projeto de Desenvolvimento de Produto II**

Unidade curricular	<ul style="list-style-type: none">· Projeto de Desenvolvimento de Produto II· 13 sessões· 3 horas/sessão
Participantes/fonte de dados	<ul style="list-style-type: none">· Estudantes do 2.º ano da licenciatura em Design de Produto e Tecnologia da ESAN
Objetivos	<ul style="list-style-type: none">· Avaliar a motivação e o interesse em trabalhar com a TFA no processo de design de produto.· Avaliar as dificuldades encontradas pelos estudantes ao nível da metodologia.· Recolher as perceções dos estudantes relativamente às potencialidades e constrangimentos ao design para fabrico aditivo.· Recolher as perceções dos estudantes relativamente ao processo cognitivo e, em particular, aos estilos cognitivos subjacentes ao design para fabrico aditivo.· Avaliar os artefactos desenvolvidos pelos estudantes no que concerne às capacidades únicas do fabrico aditivo.
Metodologia de ensino/aprendizagem	<ul style="list-style-type: none">· Aprendizagem baseada em projeto.· Registo do processo em caderno individual de projeto.· Apresentações intermédia, pré-apresentação e final.· <i>Moodboard</i> atualizado semanalmente.· Dossier de projeto (caderno; ficheiros CAD, relatório).
Instrumentos de recolha de dados	<ul style="list-style-type: none">· Caderno de projeto individual dos estudantes.· Observação “não reativa” da investigadora.· Registo áudio das críticas ao projeto e <i>moodboard</i>.· Ficha de recolha de dados.· Artefactos produzidos.
Critérios de seleção	<ul style="list-style-type: none">· Experiência em desenhar produtos adquirida em UC anteriores (pelo menos um dos elementos do grupo).· Experiência prévia em modelação num <i>software</i> de CAD (pelo menos um dos elementos do grupo).

foi elaborada pelos docentes da UC em colaboração com a investigadora, onde foram apresentados os pressupostos aos quais os alunos teriam de dar resposta, com destaque para a construção exclusivamente com base nas tecnologias de fabrico aditivo disponíveis na ESAN. O *project brief* proposto encontra-se no Quadro 8.2

Para ajudar os estudantes a progredir mais rapidamente na fase de identificação da oportunidade e para obter uma maior diversidade nos produtos finais, os docentes da UC decidiram incluir no *project brief* proposto aos alunos três públicos-alvo segmentados por faixa etária: crianças, jovens adultos e seniores.

Quadro 8.2 **Project brief** proposto pelos docentes aos estudantes de PDP II

Project brief	<ul style="list-style-type: none">· Artefacto para proteção/segurança/conforto do corpo com inspiração na natureza.
Objetivos estratégicos	<ul style="list-style-type: none">· Responder às necessidades decorrentes da tendência de customização e personalização. Inovar na diversidade de oferta de soluções.
Público-alvo	<ul style="list-style-type: none">· A: Crianças 5-10 anos· B: Jovens adultos 25-40 anos· C: Seniores 60-85 anos
Pressupostos e restrições	<ul style="list-style-type: none">· Adequado ao ambiente de utilização· Comunicação dos atributos-chave através do design· Cumprimento das normas aplicadas ao setor· Construção com base na tecnologias de fabrico aditivo disponíveis na ESAN
Stakeholders	<ul style="list-style-type: none">· Público-alvo· Equipa de desenvolvimento· Fornecedores de componentes normalizados· Fabricantes de componentes (prestadores de serviços)· Cadeias de distribuição e vendas/serviço pós-venda

8.1 Descrição geral

O trabalho proposto consistiu no design de um produto para o corpo humano inspirado na Natureza, começando com a identificação da oportunidade, passando pela conceptualização, prototipagem, até à produção final, através da TFA. O projeto foi desenvolvido pelos estudantes durante todo o semestre, e acompanhado pelos docentes num total de doze sessões/aulas no período letivo e uma última sessão (n.º 13) na época normal de exames, na qual os estudantes realizaram uma apresentação final. Na primeira aula, o trabalho a desenvolver foi apresentado pelos docentes, não tendo sido por isso contabilizada pela investigadora como sessão de trabalho dos estudantes.

Para a UC foi delineado pelos docentes um planeamento que incluía tarefas como a recolha de requisitos, *benckmarking* competitivo, geração de conceitos, seleção de conceitos, execução de modelos, *mock-ups* e protótipos. As técnicas e ferramentas de apoio ao projeto como o *Benchmarking*, Modelo Kano, a Casa da Qualidade, o *Concept Scoring* e *Screening* foram descritas nas aulas teórico-práticas (TP) pelo docente responsável, no entanto a sua aplicação não teve carácter obrigatório, sendo a decisão deixada à consideração dos estudantes. A investigadora optou por não estar presente nas aulas TP, pois incidiram numa abordagem mais expositiva das técnicas e ferramentas, e o trabalho prático relacionado com o projeto seria realizado nas horas da componente prática (2 horas) e da orientação tutorial (1 hora). Ao longo do

Quadro 8.3

Quadro-resumo das 12 sessões de trabalho durante o semestre letivo e apresentação final (a cinza) realizada na época normal de exames

Sessão de trabalho	Duração (horas P e OT)	Descrição das atividades realizadas
---	---	Lançamento do projeto pelos docentes através de uma apresentação
1-3	9	Sessões de acompanhamento dos projetos pelos docentes
4	3	Sessão de acompanhamento dos projetos pelos docentes Preenchimento da ficha de recolha de dados, fase 1 (Anexo 1)
5	3	Sessões de acompanhamento dos projetos pelos docentes
6	3	Apresentação intermédia (10 minutos por grupo)
7-10	12	Sessões de acompanhamento dos projetos pelos docentes
11	3	Pré-apresentação (10 minutos por grupo)
12	3	Sessão de acompanhamento dos projetos pelos docentes
13	3	Apresentação final (10 minutos por grupo) Preenchimento da ficha de recolha de dados, fase 2 (Anexo 1)
N.º de horas total	39	36 horas (semestre letivo) + 3 horas (época normal de exame)

projeto foram realizadas três apresentações pelos estudantes para mostrar o andamento dos projetos, uma apresentação intermédia na sessão n.º 6, uma pré-apresentação na sessão n.º 11 e uma apresentação final. O Quadro 8.3 resume as sessões de trabalho dedicadas ao projeto.

Para a primeira aula, os docentes e a investigadora prepararam uma apresentação com o intuito de motivar os alunos para o projeto através de exemplos reais que evidenciam a pertinência da TFA no design de produto. Um dos exemplos apresentado na apresentação foi o *The Third Thumb Project* (Figura 8.1), um produto desenvolvido por Dani Clode, estudante do Royal College of Arts em Londres, que criou um dispositivo que funciona como uma extensão do corpo humano que permite ampliar as capacidades naturais. O protótipo produzido por fabrico aditivo é composto por três peças principais: uma pulseira ajustável ao punho e uma estrutura para a palma da mão, ambas impressas em resina acrílica rígida, e um polegar articulado impresso num filamento plástico flexível que simula o movimento natural do dedo. O fabrico

aditivo é apropriado para este tipo de projeto, pois permite o fabrico rápido de protótipos customizados para vários tamanhos de mão.

Outro projeto também apresentado pelos docentes foi o *Sofa So Good* (Figura 8.2) do designer finlandês Janne Kytтанena. Um sofá funcional impresso através de VAT Polimerização sendo aplicado posteriormente um revestimento metálico. A tecnologia de fabrico aditivo usada permitiu a exploração de estruturas otimizadas com o propósito de reduzir a quantidade de material utilizado e conseqüentemente diminuir o peso do produto. Neste caso, é possível ter um sofá de 150 x 75 x 55 centímetros a pesar apenas 2.5 quilogramas. Inspirado nos casulos dos bichos de seda e nas teias de aranha, é visível a estrutura com uma geometria de diamante que confere resistência e permite suportar um peso até 100 quilogramas.



Figura 8.1
Projeto *The Third Thumb*, designer Dani Clode
(<https://www.daniclodedesign.com/thethirdthumb>)



Figura 8.2
Sofa So Good, designer Janne Kytтанena (<https://www.jannekyttanen.com/shop/sofa-so-good>)

Numa tentativa de levar os alunos a explorarem conceitos formais e funcionais mais complexos e a pensarem de forma disruptiva, a não ficarem “agarrados” a ideias, soluções preconcebidas, para conseguirem produtos mais inovadores e criativos que explorem a tecnologia e proponham soluções funcionais e estéticas inovadoras, foi sugerido pelos docentes da UC aos estudantes que procurassem inspiração na Natureza, como mostra o esquema da Figura 8.3.

A introdução da Natureza como elemento de inspiração e a relação da biomimética com o FA foi abordada por Rosen (2007), que demonstrou como a TFA pode facilitar a estratégia de geração de ideias inovadoras por analogia à Natureza, na medida em que as formas existentes na Natureza, de inspiração biónica, difíceis de produzir através dos processos convencionais, tornam-se realizáveis através do fabrico aditivo.

Figura 8.3
Esquema do *project brief* proposto: desafio, inspiração e tecnologias de fabrico disponíveis



Para além dos produtos apresentados que procuraram inspirar os alunos para o projeto, foi também referido aos estudantes a importância de adquirirem competências numa área cada vez mais emergente para uma indústria do futuro. Foi referida pelos docentes e reforçada pela investigadora a importância de os estudantes conseguirem materializar os produtos idealizados, ultrapassar a fase de conceito, detalhar ao máximo o produto, testá-lo através de protótipos, *mock-ups*, e conseguir um produto mais próximo do artefacto final.

Durante a apresentação do projeto aos alunos, a investigadora interveio para referir assuntos relacionados com a forma como as tecnologias de fabrico aditivo estão a ser utilizadas pelo design de produto. Chamou também a atenção para as vantagens e o potencial da TFA como oportunidade para o design. A investigadora comunicou aos estudantes a razão da sua presença nas aulas práticas, e informou que as breves apresentações feitas aos docentes durante as aulas práticas sobre o projeto seriam registadas em áudio e posteriormente transcritas e anexadas ao estudo em questão. O consentimento para o registo áudio foi dado oralmente pelos alunos participantes.

Para a materialização dos artefactos finais, os estudantes tiveram ao seu dispor equipamentos de tecnologia FFF que foram especialmente deslocadas, no âmbito deste projeto, de uma oficina para um espaço físico de acesso livre, onde qualquer estudante poderia aceder em qualquer horário. Foram disponibilizadas de forma livre duas impressoras CubeX e uma 3D Prusa para poderem imprimir, experimentar, testar. As impressoras CubeX são impressoras do processo FFF limitadas ao material termoplástico, PLA ou ABS numa área de impressão que não ultrapassa os 20 x 20 x 20 cm. A impressora 3D Prusa (Figura 8.4) foi adquirida posteriormente para dar apoio ao projeto de PDP II, pois, apesar de ser também um processo FFF, permite utilizar filamentos de materiais diversos, como PLA, ABS, PET, HIPS, Flex PP, Ninjaflex, que conferem ao produto características diferentes, designadamente flexibilidade, algo que não é possível com as CubeX.

Note-se que, apesar de estarem limitados e estas tecnologias *low-cost* para realizar testes e protótipos, não necessitavam de restringir o seu design a essa tecnologia, podendo com a autorização dos docentes, e numa fase final, imprimir em qualquer uma das impressoras disponíveis nos laboratórios da ESAN. O Quadro 8.4 apresenta as diferentes tecnologias e respetivos equipamentos existentes à data da intervenção na ESAN.

Quadro 8.4 Quadro dos equipamentos disponíveis nos laboratórios da ESAN

Processo	Equipamento	volume máximo (mm ³)	espessura camada (mm)	espessura mínima (mm)	material	propriedades
<i>Fused Filament Fusion (FFF)</i>	CubeX	260 x 260 x 240	0,1 a 0,3	1,5	Polímeros (ABS, PLA)	Peças rígidas; Efeito de escada visível
	3D Prusa mk3*	210 x 210 x 250	0,05 a 0,25	1	Polímeros (ABS, PLA) TPU	Efeito de escada visível; Peças rígidas e flexíveis
	Dimension	275 x 265 x 240	0,25	1	Polímeros (ABS)	Peças rígidas; Bom acabamento; Grande liberdade de geometria com material de suporte nas zonas suspensas
	Delta Wasp 2040 turbo	Ø200 x 400	0,05	1	Polímeros (ABS, PLA, TPU, PETG)	Peças rígidas; Efeito de escada visível
	Apium P155	145 x 135 x 148	0,1	1	Polímeros de alta performance (PEEK, ULTEM)	Peças rígidas com boas propriedades mecânicas
<i>Robocasting</i>	Delta Wasp 2040 Clay	Ø200 x 400	0,5	1,5	Suspensões cerâmicas e porcelanas. Argilas	Peças rígidas em materiais pouco convencionais em fabrico aditivo. Boas propriedades mecânicas após pós-processamento
	Lutum 3d Clay Printer V4	430 x 460 x 500	0,1	1,5	Suspensões cerâmicas e porcelanas. Argilas	Peças rígidas em materiais pouco convencionais em fabrico aditivo; Boas propriedades mecânicas após pós-processamento
	EnvisionTEC 3D-bioplotter	150 x 150 x 140	0,1	0,3	Silicone e materiais biocompatíveis	Peças de elevado detalhe
<i>Stereolitografia (SL) (Stereolithography)</i>	FormLabs Form 1	125 x 125 x 165	0,025	0,3	Resina acrilato fotopolimerizável	Excelente acabamento; Elevado grau de liberdade de forma; Boas propriedades mecânicas; Grande liberdade geométrica, mas com marcas das estruturas de suporte
	FormLabs Form 2	144 x 144 x 175	0,025	0,2	Resina acrilato fotopolimerizável. Possibilidade de resinas moldáveis para fundição de metais	Excelente acabamento; Elevado grau de liberdade de forma; Boas propriedades mecânicas; Grande liberdade geométrica mas com marcas de estruturas de suporte
<i>MJM Material Jetting</i>	Polyjet	250 x 250 x 250	0,016	0,5	Resina acrilato fotopolimerizável	Bom acabamento; Peças flexíveis e rígidas; Grande liberdade de geometria com material de suporte nas zonas suspensas
<i>Selective Laser Sintering (SLS)</i>	Prodways ProMaker P1000	300 x 300 x 300	0,06	0,45	Nylon. Métodos indiretos para pós cerâmicos e metais	Formas complexas; Boas propriedades mecânicas das peças com elevada densidade de material
3DP	Zprinter 310	200 x 250 x 200	0,09	1	Pó cerâmico	Modelos funcionais; Peças rígidas e frágeis; Bom acabamento

* A impressora 3D Prusa foi adquirida para a intervenção em PDP II, estando disponível a partir de maio 2018

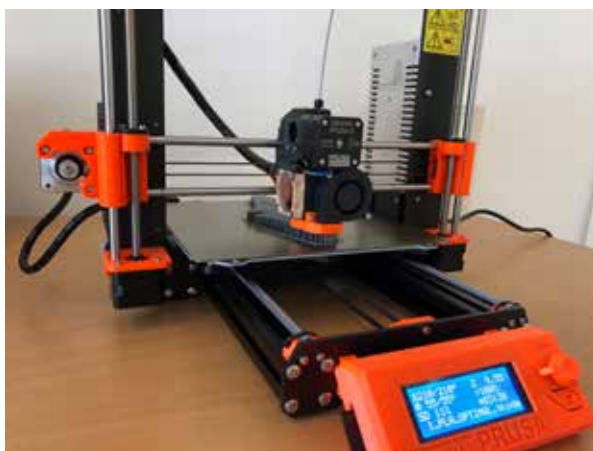


Figura 8.4
Impressora 3D Prusa de
acesso livre para os alunos
de PDP II

Para além das sessões que decorreram em horário letivo, os docentes estiveram sempre disponíveis para ajudar os alunos com dificuldades associadas à tecnologia. Foi também recomendada bibliografia específica e *websites* relacionados com o fabrico aditivo.

Os docentes apresentaram o planeamento da UC, no qual estavam identificadas as fases principais do projeto: Pesquisa, Geração e Desenvolvimento, com o número de sessões previstas para cada fase, tarefas e documentos a entregar em cada uma das etapas. Desta forma, os estudantes conseguiram ter uma visão macro do projeto, o que lhes permitiu visualizar as tarefas a realizar, documentos a entregar e respetivos prazos. Com o objetivo de chegar mais rapidamente à fase de detalhe e da prototipagem do produto, os docentes decidiram encurtar as duas primeiras fases do projeto, para que os estudantes beneficiassem de mais tempo para prototipar, testar, validar e voltar a imprimir de forma a conseguirem produtos tangíveis de qualidade. Era já uma intenção prévia dos docentes aumentar o número de sessões destinadas à fase de Desenvolvimento, algo que foi incentivado com a inclusão do FA como processo de fabrico dos artefactos finais. Ao modelo prescritivo apresentado pelos docentes foi feita a correspondência com as fases do modelo E.6² descrito do capítulo 6 e que foi utilizado pela investigadora para mapear o processo (prática projetual) dos estudantes (Quadro 8.5).

A investigadora esteve presente em todas as aulas, de forma a registar em áudio as conversas entre docentes e estudantes. Para além do registo áudio, foi realizado também um registo fotográfico, que mostra as interações junto dos ecrãs dos computadores, a visualização das maquetes e os testes realizados de forma intuitiva pelos docentes aos protótipos impressos.

Tal como o estudo prévio II descrito no ponto 8.2, também a metodologia de ensino da UC de PDP II se enquadra numa aprendizagem por projeto, tendo sido por isso utilizados alguns instrumentos e técnicas de recolha de

Quadro 8.5 Planeamento da UC apresentado pelos docentes no início do semestre e a correspondência às fases do modelo E.6²

Fase	Número de sessões previstas	Outcomes	Tarefas/documentos a entregar	Fases do Modelo E.6 ²
Pesquisa	3	Requisitos + <i>Benchmarking</i>	Recolha de requisitos <i>Brief</i> final	EMERGÊNCIA (E1) Identificação da oportunidade 2. EMPATIA (E2) Conhecer o contexto
Geração	3	Conceitos	Geração de conceitos Seleção de conceitos Maquetes e modelos	3. EXPERIMENTAÇÃO (E3) Gerar ideias e desenvolver conceitos
Desenvolvimento	8	Engenharia, design e desenvolvimento	Maquetes e modelos Desenvolvimento do produto	4. ELABORAÇÃO (E4) Detalhar, prototipar e testar o conceito

dados semelhantes, tais como o registo no caderno de projeto, por parte dos estudantes, e os artefactos finais. Tendo em conta que, na intervenção aqui descrita, todos os alunos desenharam especificamente para fabrico aditivo, aumentando o número de sujeitos participantes comparativamente com o estudo prévio II, fez sentido usar um instrumento adicional para auscultar as perceções dos estudantes sobre o processo metodológico e cognitivo.

A fim de recolher as perceções dos estudantes durante o projeto foi-lhes pedido pela investigadora que preenchessem uma ficha de recolha de dados (Anexo 1). A ficha foi entregue no início da sessão n.º 4 e recolhida no final da aula pela investigadora. Com a ficha pretendeu-se aferir, a partir das perceções dos estudantes, questões relacionadas com a metodologia projetual, os estilos de pensamento mobilizados e a capacidade dos estudantes em identificar as vantagens do fabrico aditivo que poderiam ser relevantes para o produto a desenvolver e as limitações encontradas que poderiam ser obstáculos ao produto e, no último ponto, avaliar os conhecimentos dos estudantes sobre a TFA. Na última sessão de trabalho, aquando da apresentação final, a ficha foi novamente preenchida pelos alunos presentes na sala.

À semelhança do estudo prévio II, e de forma a contribuir para aumentar o conhecimento dos estudantes relativamente à relação entre o design de produto e a TFA, a investigadora organizou uma palestra com um convidado externo. O convidado foi o designer Helder L. Santos, participante do estudo prévio I, um designer com formação em design de produto, e com experiência

Figura 8.5
Folheto de divulgação da
sessão com o designer
convidado



em desenhar produtos para fabrico aditivo, no seu caso FFF. A sua visita pretendeu dar um contributo proveniente da experiência profissional em fabrico aditivo para elucidar os alunos sobre linhas orientadoras e regras básicas no design de produtos para fabrico aditivo. A palestra realizou-se no auditório da ESAN (Figura 8.5), onde o designer apresentou alguns produtos desenhados para fabrico aditivo disponíveis no seu portefólio *online*. Referiu também aspetos da sua metodologia projetual e opções estéticas possibilitadas pela tecnologia.

Relativamente ao funcionamento da aulas, estas decorreram de acordo com a prática habitual, os grupos trabalharam de forma autónoma (Figura 8.6) enquanto aguardavam a presença dos docentes para exporem o estado atual do projeto. A interação entre docentes e grupo de estudantes consistiu em breves apresentações, ou conversas informais junto aos *moodboards*, sobre o trabalho que tinham desenvolvido na semana anterior. Semanalmente, os docentes colocavam questões e faziam comentários, no sentido de fazer avançar o projeto, de levar os estudantes a pensarem e a questionarem-se sobre o trabalho realizado e os caminhos a seguir. Através das "críticas ao projeto", os docentes avaliavam os avanços e recuos, orientavam e procuraram motivar os grupos com mais dificuldades. Nas interações semanais, os estudantes procuravam tirar dúvidas e obter a validação da parte dos docentes sobre as decisões tomadas.



Figura 8.6
Sessão de trabalho nas aulas práticas

Numa fase inicial do projeto, de modo a comunicarem os resultados da sua pesquisa e os conceitos desenvolvidos aos docentes nas “críticas ao projeto”, os estudantes recorreram sobretudo ao *moodboard* (Figura 8.7) como suporte gráfico e visual, complementar à comunicação oral. A atualização dos *moodboards* era feita semanalmente com esquemas, *mindmaps*, imagens, pequenos objetos recolhido que serviam como fontes de inspiração, descobertas, argumentações, ideias, conceitos para o projeto em si.



Figura 8.7
Exemplo de *moodboard* apresentado na sessão n.º 2

Numa fase mais avançada do projeto e após a seleção do conceito final, os estudantes iniciaram a fase de detalhe do produto com ajuda de *software* próprio e a exploração da forma através de modelos e protótipos. Na fase de detalhe e maquetização, os *moodboards* passaram a ser menos utilizados, pois as interações entre docentes e estudantes começaram a ocorrer junto ao computador na resolução de problemas relacionados com o *software* ou para modificações ao produto. O livre acesso às impressoras permitiu aos estudantes a materialização dos seus protótipos e num contexto quase laboratorial de teste foram adquirindo experiência e consciência sobre as capacidades da TFA e as limitações da tecnologia FFF.

No planeamento da UC foram também mencionadas as sessões de trabalho destinadas às apresentações do projeto por parte dos estudantes, realizadas num contexto mais formal, aberto à discussão, com comentários e sugestões dos docentes e colegas. As apresentações ajudam os estudantes a focar e a sistematizar a informação recolhida, a refletir sobre o que fizeram e o que falta ainda fazer, “obrigando” os estudantes a mobilizar o estilo de pensamento de Viajante Profissional. Nestas sessões os alunos expõem parte do trabalho realizado, selecionam a informação a colocar e refletem perante os colegas e docentes, justificando as decisões tomadas. Desta forma, adotam um modo de pensamento convergente, na procura de fechar um ciclo e avançar para a fase seguinte. No decorrer do projeto foram realizadas três apresentações: uma apresentação intermédia na sessão de trabalho n.º 6, uma pré-apresentação na sessão de trabalho n.º 11, próxima da data da apresentação final, que se realizou na época normal de exames, após terminar o período letivo. Para cada apresentação foram pedidas pelos docentes determinadas tarefas e documentos a entregar. Nesta fase os estudantes definem estratégias de comunicação dos produtos, recorrendo na sua maioria não só a imagens, mas também a vídeos e técnicas como *storytelling* para mostrar o contexto de uso dos produtos (Quadro 8.6).

Na apresentação intermédia (1.º apresentação), expectavelmente, os estudantes descreveram projetos já mais consolidados. Para além da oportunidade encontrada face ao público-alvo proposto, ideias iniciais e conceitos a desenvolver, os grupos apresentaram também já uma reflexão sobre quais os benefícios e características únicas que o seu produto poderia ter através das potencialidades da TFA.

Estavam disponíveis na Web em modelos CAD para serem compradas, ou seja, quem tivesse acesso a uma impressora 3D poderia comprar o modelo, mandar imprimir e aceder a outras peças como os tubos e as tábuas através de lojas de bricolage perto si. (...) Estamos a tentar projetar uma peça de mobiliário que vai refletir (...) as diferentes necessidades quando começamos a viver em espaços diferentes com áreas diferentes, e

Quadro 8.6 Apresentações realizadas ao longo do projeto

Sessão de trabalho	Apresentações	Tarefas/documentos a entregar	Fases do Modelo E.6 ²
6	Intermédia	<ul style="list-style-type: none">· Apresentação do conceito· Modelo ou maquete de análise funcional	EXPOSIÇÃO (E5) Comunicar o conceito
11	Pré-apresentação	<ul style="list-style-type: none">· Apresentação do produto desenvolvido· Especificações do produto· Modelo CAD· Desenhos técnicos· Protótipo ou modelo <i>mock-up</i>	5. EXPOSIÇÃO (E5) Comunicar o conceito e as soluções exploradas
Época de exames	Final	<ul style="list-style-type: none">· Apresentação do produto desenvolvido· Protótipo· Caderno de projeto· Desenhos técnicos finais	5. EXPOSIÇÃO (E5) Comunicar a solução final

ao mesmo tempo fazer acompanhar a acessibilidade aos materiais normalizados disponibilizados pelas grandes superfícies, assim como aproveitar a democratização do 3DP. (Grupo 1)

As pessoas podem costumizar a sua sandália através de um website disponível na Internet, podem escolher diferentes cores e diferentes estilos. (Grupo 2)

Como vamos conseguir através da impressão 3D que o produto seja elástico e flexível? Nós sabemos que na impressão 3D os produtos não são completamente preenchidos, têm sempre uma percentagem de *infill*, que pode ter um padrão diferente, que afeta o comportamento do produto e também a sua elasticidade e flexibilidade. (Grupo 3)

Fizemos também uma pesquisa sobre 3DP e queremos salientar o *infill* e a sua aplicação prática. (...) nós pensamos neste tipo de aplicação prática para o capacete, ou seja, no lugar de ter um material esponjoso, como, por exemplo, poliuretano ou poliestireno, utilizar a própria geometria, porque esta estrutura em favo de abelha dentro dos diferentes *infill* que existem é a que tem a melhor capacidade de absorção do impacto. (Grupo 8)

Dos fatores diferenciadores do fabrico aditivo, os estudantes identificaram a democratização do fabrico e o fácil acesso aos ficheiro CAD (Grupo 1), a customização e a personalização (Grupo 2), a possibilidade de colocar estruturas

intrincadas no interior da peça (Grupo 3), a otimização topológica e redução da montagem de peças de outros materiais (Grupo 8) como possíveis vantagens competitivas para o produto proposto. Outros grupos apenas referiram a tecnologia de fabricação aditiva, mas sem esclarecer de que modo tirariam partido dela, tendo os docentes tentado motivar os estudantes nesse sentido:

Devem pensar também como é que o 3DP vai ser uma solução para os vossos óculos, isso também exige um pensamento ligado ao 3DP, que é diferente do que vocês têm. (...) Têm de continuar a pensar, eu acho que pode ter potencial, mas (...) não está justificado. (docente 1)

Vocês passaram algumas das vossas ideias de forma muito rápida, e vejo algumas delas possíveis de serem feitas em impressão 3D, apenas a impressão 3D, e não com outra tecnologia... E esse tem que ser o vosso caminho. (docente 2)

Com o 3DP as pessoas podem adaptar às suas necessidades, vocês podem prever vários cenários e o objeto estar desenhado em função disso... (docente 1)

Na penúltima semana do período letivo, realizou-se a pré-apresentação, no sentido de avaliar o estado dos projetos, identificar falhas ainda existentes nos produtos e as possíveis soluções, com vista a uma melhoria da proposta para a conclusão do projeto. Tal como seria expectável, a maioria dos grupos necessitaria de mais tempo de trabalho e acompanhamento para conseguir um produto funcional, algo que se repetiu na apresentação final:

Eu acho que vocês ainda têm aqui muito trabalho no desenho da peça, eu não sei se com o tempo que falta... eu olho para o desenho e parece-me que ainda não estão lá... (docente)

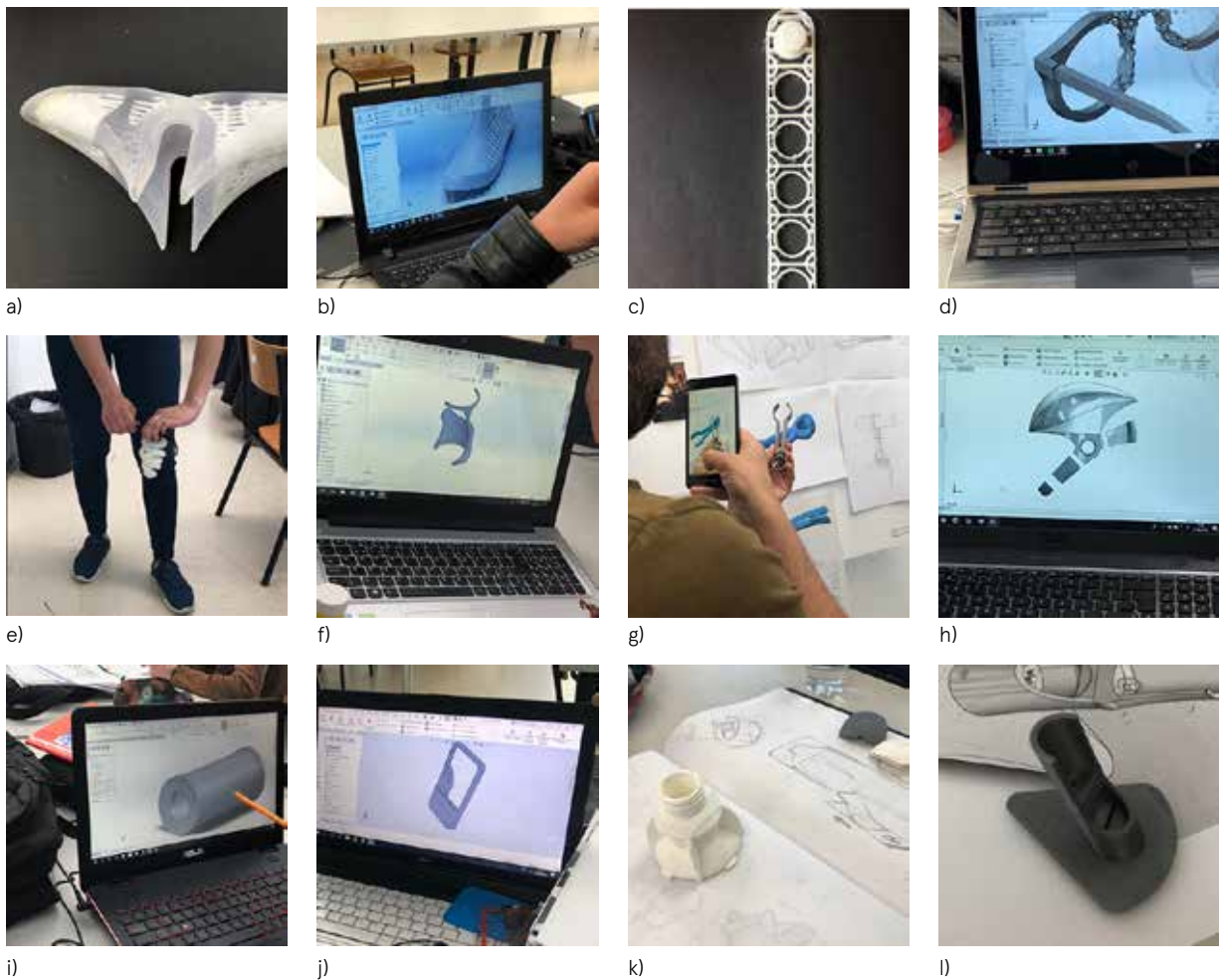
Vocês não vão conseguir em tempo real fazer uma coisa paramétrica que seja funcional e ajustável que mantenha um perfil suave e que se adapte à geometria, mas dá para perceber a intenção. (docente)

No decurso da UC, os docentes procuraram seguir o modelo processual orientados pelas fases: Pesquisa, Geração e Desenvolvimento, tentando “forçar” os estudantes a respeitar os prazos e as entregas. Por outro lado, tratando-se de um projeto de design, cujos problemas são não-definidos e não-estruturados (Cross, 2006), onde as decisões são tomadas em função dos dados recolhidos ao longo do projeto, a ausência de dados, aliada à pouca experiência em projetar, pode ter dificultado a “chegada à solução final”, por isso nem todos

os grupos chegaram à apresentação final com um produto impresso, próximo do resultado final. Contudo, dos 12 projetos desenvolvidos, todos os grupos utilizaram as impressoras para prototipar.

O Quadro 8.7 resume os 12 projetos resultantes dos trabalhos dos alunos e os atributos do produto consequentes do processo de fabrico identificados pelos estudantes. A Figura 8.8 representa os produtos desenhados. Nem todos os grupos conseguiram materializar um produto “funcional”, por isso as imagens escolhidas refletem as intenções dos alunos através dos *renders* 3D ou de protótipos intermédios. Dois grupos participantes (Grupo 9 e Grupo 10) não foram considerados nesta análise pois não obtiveram aprovação à UC.

Figura 8.8
Projetos desenvolvidos no âmbito da intervenção em PDP II



Quadro 8.7 Projetos desenvolvidos pelos estudantes na UC de PDP II e respetivas vantagens do fabrico aditivo que os estudantes identificaram

Grupo	Figura 8.8	Área do projeto	Mercado-alvo	Descrição do projeto	Atributos referidos pelos alunos a integrar no produto
1	a)	Mobiliário	Jovens adultos 25-40	Linha de mobiliário montável de múltiplas configurações de cariz D.I.Y. para interiores domésticos de áreas reduzidas	Customização Disponibilidade <i>online</i> Permitir componentes modulares Formas de inspiração biomimética/orgânica
2	b)	Calçado	Seniores 60-85 anos	Calçado para seniores ativos	Customização Formas de inspiração biomimética/orgânica
3	c)	Ajudas técnicas	Seniores 60-85 anos	Pulseira para seniores realizarem exercícios com as mãos	Usar padrão no interior para melhorar o desempenho da peça
4	d)	Óculos	Crianças 5-10 anos	Óculos para crianças com uma maior resistência à queda	Formas de inspiração biomimética/orgânica Personalização
5	e)	Brinquedos	Crianças 5-10 anos	Pião para ajudar a motricidade fina	Geometrias complexas Inserir componentes Formas de inspiração biomimética/orgânica
6	f)	Ajudas Técnicas	Seniores 60-85 anos	Equipamento para facilitar a abertura dos frascos com diâmetros diferentes	Explorar texturas para conseguir propriedades no produto
7	g)	Tipi	Crianças 5-10 anos	Pinça para montar tendas em diferentes espaços de uma habitação familiar	<i>Print-on-demand</i> Impresso numa única operação
8	h)	Capacete	Jovens adultos 25-40	Capacete para desporto	Personalização Permitir modularidade Usar <i>lattice</i> para melhorar o desempenho da peça Formas de inspiração biomimética/orgânica
9	i)	Punho para o cross fit	Jovens adultos 25-40	Equipamento para barra de <i>cross-fit</i>	Não foi considerado para a análise
10	j)	Capa de telemóvel	Jovens adultos 25-40	Capa para o telemóvel multifuncional	Não foi considerado para a análise
11	k)	Kit diário para transporte de comprimidos	Seniores 60-85 anos	Sistema de transporte de comprimidos para acopular a garrafa de água <i>standard</i>	Formas de inspiração biomimética/orgânica
12	l)	Luz de presença	Crianças 5-10 anos	Luz de presença para quarto	Impresso numa única operação Integrar a funcionalidade

8.2 Descrição dos projetos de acordo com as fases do modelo E.6²

Nesta secção serão descritas as tarefas realizadas pelos estudantes no decurso do projeto de acordo com as fases do modelo E.6² utilizado para orientar na sistematização dos dados relativos à praxiologia. Para cada fase do modelo E.6², Emergência (E1) e Empatia (E2), Experimentação (E3), Elaboração (E4) e Exposição (E5) e respetivas subfases Exploração (Exp) e Escolha (Esc), os estudantes desempenharam tarefas específicas consoante os resultados que pretendiam atingir. Note-se que, como a maioria dos projetos académicos excecionalmente consegue chegar à fase final do modelo E.6² Extensão (E6), optou-se por o retirar, antevendo uma ausência de dados para análise.

Nas secções seguintes descrevem-se as tarefas realizadas pelos estudantes e a informação presente nos cadernos de projeto para a fase da Emergência e Empatia, Experimentação e finalmente Elaboração. A investigadora optou por agrupar as fases da Emergência e Empatia, tendo em conta que alguns grupos iniciaram o projeto com a recolha de necessidades junto do público-alvo, já decidido no *project brief*, e outros pela identificação da oportunidade através da tecnologia de fabrico.

8.2.1 Emergência e Empatia

Na fase da Emergência, os estudantes exploraram, com base no *project brief* proposto pelos docentes, diferentes oportunidades. A partir das possibilidades encontradas, identificaram e selecionaram uma oportunidade/problema para dar resposta através do design. Na fase da Empatia, os estudantes recolheram as necessidades a partir de informação recolhida junto do público-alvo (entrevistas, observação direta) e de produtos similares. Posteriormente e tendo em conta interpretação da informação recolhida, transformaram as necessidades em requisitos do produto.

O Quadro 8.8 apresenta as tarefas desempenhadas pelos estudantes atribuídas às fases da Emergência e Empatia e os tipo de registos encontrados nos cadernos individuais dos estudantes. Para cada uma das fases e subfases a investigadora estabeleceu uma correspondência com os resultados esperados de cada fase e subfase, uma relação que será posteriormente retomada na ficha de recolha de dados para auscultação das perceções dos estudantes.

Os estudantes iniciaram o processo de design a desconstruir as três premissas propostas no *project brief* aberto fornecido dos docentes: Corpo + Natureza + Tecnologias de Fabrico Aditivo, a partir do qual teriam de identificar uma oportunidade para fechar o *project brief*.

Nos *moodboards*, a maioria dos grupos exploraram as três premissas, descrevendo cada uma delas isoladamente. Na vertente Corpo procuraram caracterizar o público-alvo, identificar problemas, interesses e atividades

Quadro 8.8

Correspondência entre as tarefas realizadas pelos estudantes e as fases da Emergência e Empatia do modelo E.6²

Tarefas realizadas pelos estudantes	Caderno de projeto	Fases do Modelo E.6 ²	Subfases	Resultados esperados das fases e subfases do Modelo E.6
Analisaram o <i>brief</i> : estudaram os três pressupostos pedidos Recolheram informação Realizaram entrevistas	<ul style="list-style-type: none"> Textos descritivos do público-alvo Fotografias de produtos de fabrico aditivo Fotografias de elementos da Natureza Esquemas com os três pressupostos Guião de entrevistas 	EMERGÊNCIA (E1) Identificação da oportunidade	Exp	A partir do <i>project brief</i> proposto pelos docentes, os estudantes exploraram diferentes oportunidades
Analisaram as entrevistas Realizaram inquéritos ao público-alvo	<ul style="list-style-type: none"> Análise de entrevistas Listas com os problemas/dificuldades encontradas Modelo de Kano 		Esc	Identificaram e selecionaram uma oportunidade/problema perante as possibilidades exploradas
Observaram produtos semelhantes Realizaram entrevistas Observação direta	<ul style="list-style-type: none"> Benchmarking Guião de entrevistas mais específicas Fotografias de produtos de fabrico aditivo Fotografias de elementos da Natureza 	EMPATIA (E2) Conhecer o contexto	Exp	Recolheram as necessidades a partir de informação recolhida junto do público-alvo (entrevistas, observação direta) e de produtos similares
Analisaram e sistematizaram a informação recolhida	<ul style="list-style-type: none"> Análise das entrevistas Lista de requisitos do produto 		Esc	Transformaram as necessidades em requisitos do produto

diárias relacionadas com a proteção/segurança/conforto. Para a inspiração na Natureza, recolheram imagens de elementos naturais como conchas, flores, plantas e aves, de onde poderiam retirar ideias ou palavras-chave como “Ecológico, Texturas e Simetria”.

Relativamente à tecnologia, os estudantes pesquisaram de uma forma alargada e mais superficial, referindo as oportunidades que identificaram como “Liberdade formal, Complexidade do Design e Personalização”, mas também os constrangimentos como “Custo e Dimensões”. Recorreram a fotografias de produtos, de formas geométricas complexas e disruptivas, impressos por fabrico aditivo, para visualizar algumas das possibilidades da tecnologia. Nesta fase inicial, foi referido o processo de fabrico como pressuposto, mas sem referir de forma aprofundada as diferenças entre tecnologias. Os estudantes

recorreram a esquemas para estabelecerem pontos de ligação entre o público-alvo e questões relacionadas com a proteção, a segurança, o conforto e a tecnologia de fabrico (Figura 8.9).

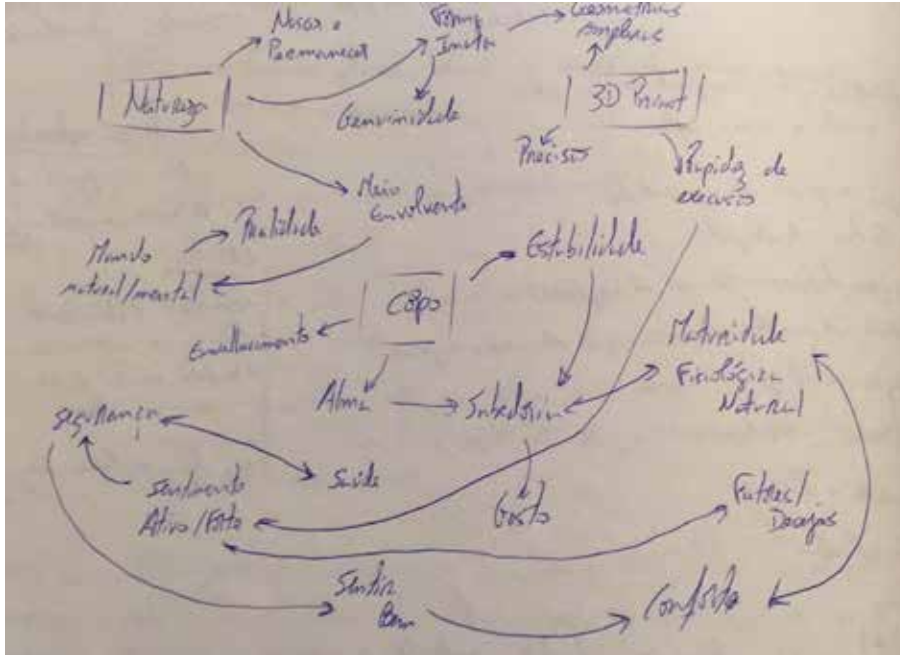


Figura 8.9
Um esquema apresentado pelo Grupo 2 para relacionar os três pressupostos do projeto

Durante as discussões sobre os trabalhos em curso, a maioria dos grupos foi incentivado pelos docentes a utilizarem a observação direta, registarem através de fotografias, entrevistas, registos em áudio em ambientes relacionados com os seus públicos-alvo. Depois de identificarem a oportunidade e conhecerem melhor o contexto das três premissas propostas, os estudantes analisaram as necessidades recolhidas junto do público-alvo e transformaram em requisitos do produto. Os requisitos representam um conjunto de características que o produto deverá ter para satisfazer as necessidades dos utilizadores. As técnicas/instrumentos a aplicar em cada fase foram comunicadas aos estudantes nas aulas teórico-práticas pelo docente responsável da UC, cujos resultados da sua aplicação esperam-se ver refletidos no projeto em si. A Figura 8.10 apresenta os requisitos identificados pelo Grupo 5 para o seu produto, um brinquedo para crianças dos 5 aos 10 anos que ajude na motricidade fina, organizados pelas categorias Obrigatórios, Unidimensionais e Atração. Para cada requisito/atributo do produto foi indicada a respetiva métrica e unidade de medida.

	Requisitos	Métricas	Unidades	
Obrigatórios	O artefacto é seguro	Segurança	Binário	
	O artefacto é atóxico	Unid. de toxicidade	ppm	
	O artefacto é resistente ao impacto	Ductilidade	Mod Young	
	O artefacto é interativo	Comunicativo	Binário	
	O artefacto é dinâmico	velocidade angular	kg/m ³	
Unidimensionais	O artefacto é resistente à humidade	temperatura	°C	
	O artefacto é inodoro	Cheiro	Binário	
	O artefacto é insípido	Sabor	Binário	
	O artefacto é intuitivo	Perceptivo	Binário	
	O artefacto é leve	Massa	kg	
	O artefacto é resistente à radiação UV	raios UV	nm	
	O artefacto é ambidestro	-	Binário	
	O artefacto é ergonómico	Forma	Binário	
	O artefacto é orgânico	Forma	Binário	
	O artefacto tem textura	Forma	Binário	
	O artefacto é colorido	Tonalidade	Binário	
	Atrativos	O artefacto é versátil	Multifunções	Binário
		O artefacto é flexível	Ductilidade	Mod Young
O artefacto é didático		Educativo	Binário	

Figura 8.10

Lista de requisitos do produto identificados pelo Grupo 5 e respetivas métricas e unidades

Os estudantes identificaram requisitos como: “o artefacto é seguro”; “o artefacto é intuitivo”; “o artefacto é flexível”, e “o artefacto é orgânico”, um requisito unidimensional que remeteu para a inspiração biomimética “forçada” no *project brief*. A informação registada nos cadernos refere-se essencialmente ao público-alvo: necessidades, ambientes, dificuldades no dia a dia, rotinas e hábitos. Alguns grupos planearam entrevistas ao público-alvo e a especialistas, a partir das quais realizaram uma análise dos dados para identificar a oportunidade. Da observação dos cadernos de projeto é visível, nesta fase, um predomínio de informação mais descritiva. O objetivo parece ser a recolha do maior número de dados sobre o problema identificado ou a caracterização do público-alvo. Nesta fase, os docentes incentivaram e reforçaram a pertinência do fabrico aditivo para o projeto, lembrando os estudantes de que esta era a tecnologia de fabrico para produzir o produto final:

Tentem ver o potencial do 3DP porque é com esta tecnologia que vão trabalhar. (docente 1 na sessão n.º 1)

Não se esqueçam da impressão 3D e terá de ser impresso em 3D, e não recortado a *laser* numa folha. (docente 1 na sessão n.º 3)

Vejam lá o tamanho das coisas que vão desenhar, não se esqueçam que isto terá de ser produzido através do 3D Print. (docente 2 na sessão n.º 3)

8.2.2 Experimentação

Com o *project brief* fechado, os estudantes iniciaram a fase da Experimentação, na qual é suposto gerarem uma grande quantidade de ideias, avaliarem as ideias geradas e selecionarem o conceito para detalhar. O Quadro 8.9 apresenta as tarefas realizadas pelos estudantes durante a Experimentação para explorar a solução para o problema proposto.

Quadro 8.9 Correspondência entre as tarefas realizadas pelos estudantes e a fase da Experimentação do modelo E.6²

Tarefas realizadas pelos estudantes	Caderno de projeto	Fases do Modelo E.6 ²	Subfases	Resultados esperados das fases e subfases do Modelo E.6 ²
Geraram vários conceitos	Desenhos exploratórios com anotações; Analogias com elementos da Natureza	EXPERIMENTAÇÃO (E3) Gerar ideias e desenvolver conceitos	Exp	Geraram uma grande quantidade de ideias
Realizaram o <i>concept scoring</i> e <i>screening</i> ; Discutiram com os docentes a melhor solução	Matrizes com os diferentes conceitos para selecionar o conceito “vencedor”; Com base na intuição e nos requisitos recolhidos junto do público-alvo escolheram um conceito “vencedor”		Esc	Avaliaram as ideias geradas e selecionaram o conceito a desenvolver

Alguns grupos realizaram um *benchmarking* competitivo a partir de uma seleção de produtos de funções similares ao que pretendem desenvolver. Pela análise dos cadernos e dos registos áudio, não é possível afirmar com certeza que todos os grupos recorreram às mesmas técnicas/instrumentos apresentados nas aulas TP para fazer avançar o projeto, no entanto a maioria elaborou uma lista de requisitos para ajudar na geração de ideias e recorreu a esboços/desenhos como instrumento para gerar ideias e para comunicação das mesmas. A geração de ideias é um elemento essencial no processo de design de produto e o comportamento sugerido para melhorar a qualidade das ideias é aumentar a quantidade (Yang, 2009). O desenho é utilizado pelos designers como meio de registo do pensamento, uma ideia ou para ajudar no enquadramento do problema. Na fase da Experimentação, o desenho serve como uma ferramenta para pensar e comunicar. À medida que um projeto de design avança, o desenho ganha novas funções. Ao início é um desenho

mais preliminar, esquemático, executado de forma rápida e sem grandes detalhes. Nesta fase, o desenho deve ser utilizado de forma intensa, rápida e sem grandes preocupações de escala, pois o que importa é gerar o maior número de ideias. Numa fase mais avançada do projeto, o desenho poderá assumir uma postura mais persuasiva, mais realista, que melhor comunique a funcionalidade do produto.

Os *moodboards* apresentados durante esta fase foram completados com imagens e elementos da Natureza (Figura 8.11), alguns recolhidos de forma espontânea, outros focados no produto a desenhar. Relativamente à inspiração na Natureza, os grupos procuraram gerar conceitos a partir de formas complexas encontradas nos elementos naturais das imagens que recolheram durante a pesquisa, como teias de aranha, ou flor de lótus, ou mesmo a partir de modelos reais, como mostra a Figura 8.12.

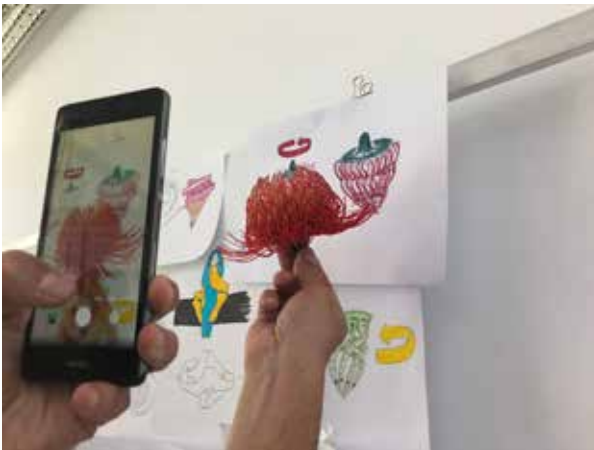


Figura 8.11
Moodboard apresentado pelo Grupo 5 com vários exemplos de conceitos inspirados na Natureza



Figura 8.12
Desenho de conceito inspirado na Natureza

A escolha do conceito final realizou-se através das ferramentas de seleção referidas na aulas teórico-práticas pelo docente responsável, como o *Concept Screening* ou o *Concept Scoring*, ou de uma forma mais intuitiva em discussões com os docentes. A Figura 8.13 mostra uma parte (9 dos 12 conceitos) do *Concept Screening* realizado pelo Grupo 8 para comparar os conceitos desenhados com o produto selecionado do *benchmarking* que melhor responde aos requisitos definidos. A ferramenta permite, com base em critérios definidos, identificar quais os conceitos que devem avançar e quais os que poderão ser combinados entre si.

Critério de avaliação	Conceitos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Não manuseável	+	-	0	-	0	0	-	0	-	-
Leve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Não arrumável	0	0	+	0	0	0	+	+	+	0
Resistente ao impacto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Protege o utilizador	0	-	0	0	0	0	0	0	0	+
Confortável	0	-	0	0	0	0	0	0	0	+
Útil	0	+	+	+	0	+	+	0	+	+
Aerodinâmico	0	-	0	0	0	0	-	0	0	+
Estético	-	0	0	-	-	-	-	0	0	0
Intuitivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Organizável	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+
Seguro	-	+	+	0	0	+	+	+	+	+
Resistente ao fogo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Protege o utilizador	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Resistente	0	-	+	0	0	+	+	+	+	0
Resistente	0	-	-	0	0	0	-	0	0	0
Protege a equipa	+	0	+	+	+	+	0	0	0	0
Protege a obra	0	0	0	0	+	0	0	0	+	0
Confortável	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+
Sumatório 1	2	5	8	3	2	1	4	8	8	8
Sumatório 2	9	2	1	2	2	2	7	0	1	1
Sumatório 3	14	10	12	14	15	16	8	13	16	16
Normalização	-1	3	3	3	3	0	-1	-1	8	3
Ranking	10	6	4	6	9	10	12	12	2	1
Conclusão	não	não	potencial	não	não	não	não	potencial	potencial	sim

Figura 8.13
Concept Screening realizado pelo Grupo 8

Nesta fase, os grupos, que ainda não tinham iniciado a sua pesquisa sobre fabrico aditivo, foram, por isso, mais uma vez questionados pelos docentes sobre quais seriam as vantagens/contributos que a tecnologia poderia trazer para os produtos/soluções que estavam a desenvolver. Desde então, a pesquisa relacionada com o processo de fabrico aditivo incidiu nas especificidade dos equipamentos e respetivos materiais disponíveis na instituição.

8.2.3 Elaboração

Seguiu-se a fase de Elaboração, onde o conceito selecionado começou a ser detalhado, prototipado, experimentado, testado e melhorado com vista à solução final. O Quadro 8.10 apresenta as tarefas desempenhadas na fase final do projeto e o tipo de registos existentes nos cadernos individuais.

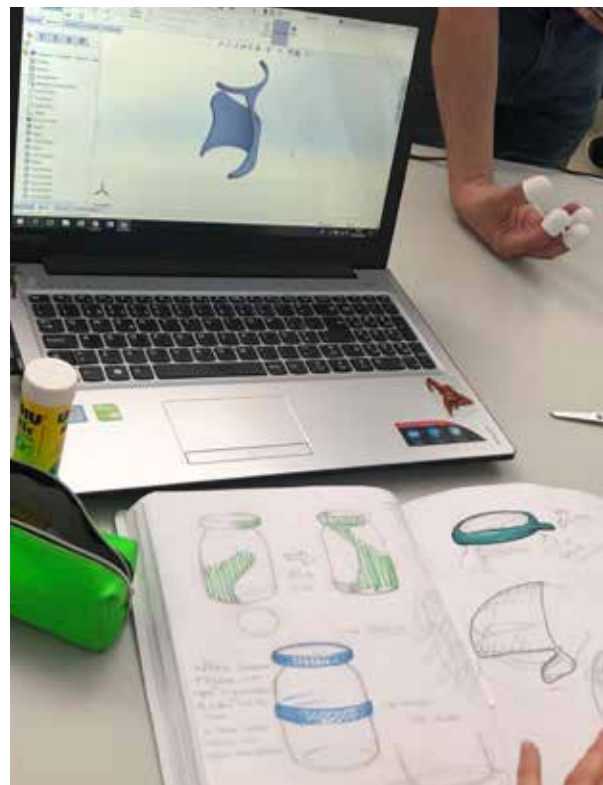
Após a definição do conceito final, surge a necessidade de começar a trabalhar para a validação do mesmo. Os estudantes começaram por analisar o conceito selecionado, e dividiram-no em subproblemas, tentando não perder a visão do artefacto como um todo. Para modelar o produto, os estudantes usaram o *SolidWorks*, um programa de computação paramétrica que gera formas tridimensionais a partir de operações geométricas elementares. A preferência deve-se ao facto de existir um contacto prévio com a ferramenta em outras duas UC da licenciatura, Modelação I e Modelação II. Desta forma, os estudantes exploraram modos de funcionamento e desenvolveram modelos e protótipos para teste. Nesta fase, o registo áudio foi complementado com fotos e vídeos.

As iterações passam a ser alternadas entre o caderno de projeto — para registo das próprias ideias ou para esboços rápidos de comunicação com os outros elemento da equipa — e o ficheiro *Computer Aided Design* (CAD) que

Quadro 8.10 Correspondência entre as tarefas realizadas pelos estudantes e a fase da Elaboração do modelo E.6²

Tarefas realizadas pelos estudantes	Caderno de projeto	Fases do Modelo E.6 ²	Subfases
Imprimiram, experimentaram e melhoraram o protótipo Redesenharam em função dos problemas ocorridos durante a impressão	Desenho de partes do conceito mais detalhadas. Desenhos de pormenor	ELABORAÇÃO (E4) Detalhar, prototipar e testar o conceito	Exp Detalharam e melhoraram o conceito final
Prototiparam em cartão, plasticina, barro técnico Imprimiram nos equipamentos FFF	Desenhos de pormenor Anotações com os problemas identificados durante a impressão		Esc Experimentou e testou o conceito final (<i>mock-ups</i> , protótipos) e melhorou-o

Figura 8.14
Registos visuais realizados no caderno e modelo 3D desenhado no *SolidWorks*



começa agora a ser desenhado com medidas rigorosas e mais próximas do produto final (Figura 8.14).

Nesta fase, os estudantes tiveram a possibilidade de ajustar, redesenhar, melhorar o modelo CAD em função das conclusões que retiravam dos protótipos produzidos nas impressoras FFF. Os estudantes mostraram-se

bastante motivados para começar de imediato a materializar as suas ideias e experimentar as impressoras. Nesta fase os protótipos foram úteis para comunicar, explicar e verificar a funcionalidade e o desempenho e validar aspetos estéticos ambicionados. Começaram também a ser testadas geometrias e dimensões. O projeto progride diretamente através do *software*, onde são realizadas alterações rápidas e ligeiros aperfeiçoamentos, e sem passar pelos cadernos. Em alguns casos, aparentemente a precipitação em modelar e ter um ficheiro CAD pronto fez saltar algumas etapas essenciais, como aprofundar melhor a geometria final da peça através de uma maior exploração do desenho manual, ou de protótipos menos fidedignos para os quais não seria necessário o ficheiro CAD, como em cartão ou papel. Seriam mais rápidos de executar e ajudariam na procura da melhor configuração para a seguir modelar no *software*. Na sessão n.º 10, dez grupos apresentaram peças produzidas pelas impressoras de livre acesso CubeX e Prusa 3D TFA. Desta forma, a discussão com os docentes sobre o trabalho semanal (Figura 8.16) passou a realizar-se junto ao computador com o ficheiro CAD aberto e os modelos físicos materializados até à data (Figura 8.15), abandonando os *moodboards* como suporte de comunicação.



Figura 8.15
Projeto Luz de presença – Protótipo impresso em FFF



Figura 8.16
Sessão de discussão do protótipo apresentado

A prototipagem das peças permitiu aos estudantes adotarem uma postura de questionamento para a identificação de possíveis modos de falha, explorar uma solução viável, imprimir e testar novamente. A Figura 8.17 mostra um protótipo intermédio apresentado aos docentes em aula, e na Figura 8.18 um desenho esquemático onde os estudantes identificaram as zonas problemáticas. A materialização do protótipo permitiu colocar questões relacionadas com a funcionalidade do produto, como “Cumprir a função?” ou “Não deixa sair a argola?”, mas também relacionadas com a resistência dos materiais face ao sistema de fabrico: “Aguenta o esforço?” e “Não parte?”



Figura 8.17
Projeto Pinça 3D – Impressão 1

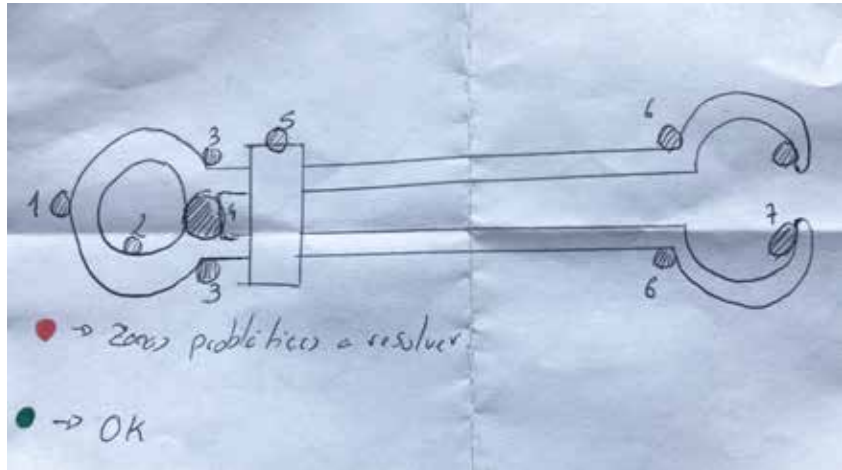


Figura 8.18
Desenho esquemático da pinça com anotações sobre possíveis modos de falha

Apesar de não ser novidade, a impressão de protótipos revelou ser uma parte fundamental para o processo de design de produto para FA. No caso de produtos desenhados para serem produzidos por fabrico aditivo, poderão ocorrer duas situações: a TFA utilizada para prototipar durante o processo de design será a mesma a fabricar o produto final ou prototipar recorrendo a uma tecnologia de baixo custo como a FFF, mas o produto final ser impresso noutra TFA, com maior rigor e precisão.

Os estudantes registaram nos seus cadernos os diferentes testes que realizaram com as impressoras, as circunstâncias da impressão, observações retiradas e problemas identificados que serviram para fundamentar as suas decisões. Os estudantes refletiram sobre o processo de fabrico e procuraram soluções para os problemas que encontraram:

Nós já estivemos a tirar medidas, e em relação ao CAD a nossa impressão está ligeiramente maior. Achamos que é da impressão, mesmo assim vamos reduzir um bocado. (estudante do Grupo 2 na sessão n.º 11)

Nós tivemos alguns problemas com a impressão, pois os encaixes não são os melhores (...), esquecemo-nos de algumas tolerâncias e tivemos de resolver o problema dos encaixes. (estudante do Grupo 11 na sessão n.º 11)

8.3 Projetos resultantes da intervenção

Nesta sessão estão descritos os dez projetos apresentados pelos alunos e que obtiveram aprovação no final à UC. Dos dez projetos, dois foram analisados de forma mais aprofundada: a linha de mobiliário *Do-it-Yourself* (DIY) do Grupo 1, e um produto de ajudas técnicas, desenvolvido pelo Grupo 3. A razão para a sua seleção teve a ver com o facto de no final do semestre terem conseguido apresentar um artefacto impresso, com alguns problemas ainda por resolver, como seria expectável, mas próximos de um produto final. Os restantes oito projetos encontram-se descritos de forma sucinta, no entanto foram considerados para a análise dos dados, no que se refere à praxiologia e epistemologia no projeto de DpFA. Os resultados encontram-se sistematizados nos diagramas apresentados na secção 10, onde são abordadas particularidades ou questões relevantes que contribuíram para as questões de investigação.

8.3.1 Projeto linha de mobiliário *Do-it-Yourself*

Fase Emergência

O Grupo 1 desenvolveu uma linha de mobiliário desmontável de múltiplas configurações de cariz DIY para interiores domésticos de áreas reduzidas com reaproveitamento de peças *standard* destinada a jovens dos 25 aos 40 anos.

Na sessão de trabalho n.º 1, contrariamente aos restantes grupos, o Grupo 1 procurou identificar a oportunidade relacionando os três pressupostos do *project brief* (Natureza, Corpo e 3DP). A partir das características mais evidentes de cada uma das premissas, elaborou um esquema para encontrar o ponto de espaço comum, que pudesse ser o caminho a seguir. Os estudantes identificaram a “Personalização” e o *Do-it-Yourself* (DIY) como elemento agregador para o projeto a desenvolver. No *moodboard*, os estudantes destacaram um gráfico que estabelecia a relação entre volume de produção e custo por peça produzidas por injeção e por fabrico aditivo. A partir do gráfico, o grupo referiu na sua intervenção que o custo por peça é sempre igual no FA, independentemente do volume de produção.

Ficou evidente pelos conteúdos registados no caderno, no *moodboard* e no discurso com os docentes, que os estudantes detinham um conhecimento mais avançado comparando com a generalidade da turma em relação à TFA. Um conhecimento que resultou da experiência prática tida previamente em outra UC do curso e em projetos extracurriculares que envolveram o FA. O discurso mais técnico, os tópicos abordados e os contributos referidos que descrevem potencialidades únicas do FA revelaram uma maturidade e experiência em relação à tecnologia:

(...) forma de tecnologia de fabricação aditiva onde um modelo tridimensional é criado por sucessivas camadas de material. (estudante)
(...) geometrias complexas e únicas (...) liberdade formal (...) tecnologia no foco de desenvolvimento. (estudante)

A motivação intrínseca que a TFA suscitaram no grupo, foi perceptível nos comentários dos docentes durante a discussão do trabalho realizado:

Vocês focaram-se completamente na tecnologia e esqueceram completamente o vosso público-alvo. (docente)

Na percepção da investigadora, a motivação e este conhecimento prévio contribuíram para uma maior facilidade na experimentação, uma vontade de querer explorar mais as potencialidades da tecnologia, o que poderá ter tido impacto no artefacto final. O envolvimento anterior dos estudantes em projetos extracurriculares relacionados com o fabrico aditivo permitiu-lhes um acesso mais facilitado às restantes tecnologias (localizadas num laboratório de acesso condicionado). Estes múltiplos fatores resultaram numa quantidade de protótipos em diferentes processos. Esta capacidade dos estudantes também ajudou na resolução de problemas mais técnicos relacionados com as impressoras que surgiram na fase da produção.

O foco, em relação às características do FA, foi direccionado para a personalização e o público-alvo, jovens dos 25-40 anos. Os docentes incentivaram os estudantes a passarem para a fase da Empatia:

Estar com pessoas desta idade e ninguém melhor do que eles para vos falar sobre a sua vida, quais as suas dificuldades (...) recolham imagens a pensar sobre a condição de quem tem esta idade. (docente)

Fase Empatia

A partir da observação de tendências, o grupo identifica a oportunidade e caracteriza resumidamente o seu público-alvo:

Uma geração de pessoas com 30 anos que já não tem lugar fixo... Arranjam quartos em vez de casa (...) com pouco espaço, mais apertado e de mobílias escassa (...) Necessitam de uma mobília que permita a mobilidade (...) procuram soluções diferentes (...)

O produto pretende dar resposta a uma geração de pessoas jovens em situação de trabalho precário, o que implica uma maior mobilidade. Sem um lugar fixo para morar, têm necessidade de arrendar um quarto, que precisa de ser mobilado. O projeto pretende dar resposta ao problema através da

conceção de uma linha de mobiliário desmontável, facilmente transportável e com aproveitamento de peças já existentes. O grupo aprofundou também a questão da personalização e customização, acrescentando a disponibilidade dos ficheiros *online*.

Focados na tecnologia, no enquadramento do problema a resolver, referiram nos seus objetivos estratégicos: “integração de materiais normalizados com a tecnologia aditiva para potenciar maior acessibilidade material e digital, assim como a criatividade aos utilizadores em desenvolver soluções pessoais”.

Cada pessoa organiza à sua maneira, então pode imprimir. Uma pessoa pode descarregar o ficheiro. Preciso desta articulação para produzir mais uma prateleira, ou para produzir mais uma cadeira. (estudante)

Fase Experimentação

Nos cadernos exploraram ideias diferentes para dar resposta ao problema através de desenhos rápidos e esboços. A ideia de conseguir com as mesmas peças impressas em fabrico aditivo construir diferentes configurações de mobiliário personalizado foi explorado em diferentes páginas dos cadernos. Os desenhos revelaram uma preocupação subjacente à inspiração biomimética, que este projeto teve como Analogia, as teias de aranha.

A nível da forma, das articulações que nós tentamos explorar, as ligações entre placas e tubos uniformizados, procuramos fazê-lo tendo sempre como base a ideia da teia de aranha. (estudante)

Um dos estudantes reflete sobre a forma familiar que se tem dos objetos, e como pode ser difícil quebrar com este arquétipo, mesmo com recurso a uma tecnologia que se diz disruptiva:

Uma coisa que me faz confusão, ou se calhar não faz, (...) é a forma familiar que temos de uma cadeira ou de uma mesa. Não está muito dentro do pressuposto que está no 3DP. (estudante)

Fase Elaboração

Os objetos intermédios de teste, de forma simples e escala reduzida, começam a surgir na sessão n.º 8 para validação da geometria exterior da peça de união, como a peça verde presente na Figura 8.19. Para ensaiar possíveis configurações que os utilizadores poderiam montar, os estudantes imprimiram um conjunto de minipeças que lhes permitiu ter uma noção das configurações possíveis e das peças necessárias para a montagem de uma estante (Figura 8.20).



Figura 8.19
Objeto intermédio de teste para discussão do projeto com os docentes



Figura 8.20
Maquete para comunicar modos de funcionamento, montagem do sistema e possíveis configurações.

Tendo em conta que os ficheiros STL seriam para estar disponíveis *online* ou em lojas de FA onde as pessoas pudessem imprimir, a linha de mobiliário foi desenhada para não serem necessários parafusos.

A ideia aqui é não adicionar parafusos mas há formas de o fazer sem adicionar parafusos. (estudante)

Os estudantes modelaram a peça em *SolidWorks* aplicando uma textura que formalmente remete para a imagem da teia de aranha (Figura 8.21).

É de notar que inicialmente desenhada e apresentada como primeiro protótipo (Figura 8.22) aos docentes teve de ser redimensionada para poder ser impressa, pois não estava desenhada a pensar nas restrições associadas à área de impressão do equipamento disponível. O redimensionamento implicou um redesenho total da peça, visto que algumas das medidas teriam de ser mantidas, nomeadamente a distância da abertura que permite colocar a placa em madeira ou a entrada para o tubo metálico.

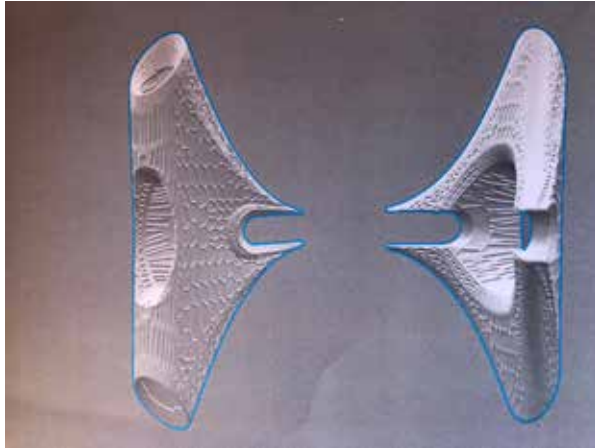


Figura 8.21
Render da peça com uma textura a simular a teia de aranha



Figura 8.22
Primeiro protótipo texturado apresentado aos docentes

Nesta fase surgem as dificuldades relacionadas com o processo de impressão, como os longos tempos de impressão e as dificuldades em produzir geometrias mais complexas. As primeiras impressões demoraram cerca de 20 horas, por isso houve uma preocupação por parte dos estudantes em encontrar estratégias para otimizar o tempo de impressão, sem perder o desempenho mecânico e descuidar o lado estético.

As nossas peças demoram um bocado (...)

Esta textura acho que não vamos conseguir fazê-la, porque esta peça demora 11 horas a imprimir, com um textura demora 22. É muito tempo, mesmo para prototipar e mesmo que a pessoa queira imprimir a peça em casa, duas horas já é um bocadinho excessivo. (estudante)

Uma solução para reduzir o tempo de impressão foi retirar material em zonas onde era menos necessário. De acordo com os estudantes, recorreram ao MeshMixer da Autodesk, um software livre que permitiu retirar material à peça e finalmente incorporar a teia de aranha do ponto de vista forma (Figura 8.23).

No entanto devido à complexidade formal das peças, a máquina Prusa 3D teve dificuldades em as fabricar. Para conseguir avançar com o projeto, os estudantes recorreram, com a autorização dos docentes, à impressora Dimension disponível no laboratório da ESAN. Um equipamento também do processo FFF, mas de alta precisão que possibilitava a colocação de estrutura de suporte na peça num material solúvel num banho ácido. Os novos protótipos (Figura 8.24 e Figura 8.25) permitiram ensaiar em aula e discutir com os docentes, a configuração imaginada para a estante (Figura 8.26).

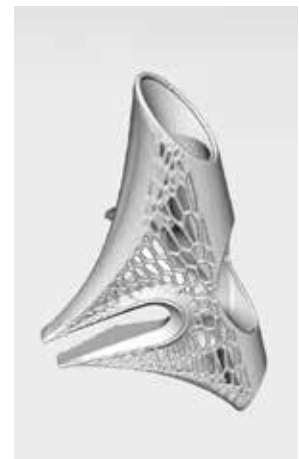


Figura 8.23
Render após a utilização do software Meshmixer (<http://www.meshmixer.com>)



Figura 8.24
Protótipos em ABS impresso por FFF na
impressora *Dimension*



Figura 8.25
Protótipos em ABS impresso por FFF na
impressora *Dimension*

Apesar das especificações técnicas estarem bem definidas, a uniformidade e reprodutibilidade das peças ainda é difícil de conseguir com estas tecnologias. Quanto maior for o grau de precisão da tecnologia, maiores serão as garantias da sua reprodutibilidade. No entanto, mesmo usando a mesma tecnologia de fabrico, as diferentes calibrações das máquinas, as condições do material utilizado, o ambiente externo condicionam os resultados da impressão, logo a qualidade do produto final.



Figura 8.26
Configuração de estante do projeto da Linha
de Mobiliário desmontável



Figura 8.27
Objetos intermédios de teste para acertar
as medidas dos tubos de metal

Os estudantes concluem que durante a modelação das peças não conseguem ter a noção dos tempos de impressão. Para dar mais resistência à peça final e tentar minimizar os problemas da reprodutibilidade, os estudantes decidiram imprimir as peças finais através do processo *Material Jetting*, num equipamento Object Stratasys EDEN 260VS com tamanho de construção de 255 x 252 x 200 mm (Figura 8.28). A Figura 8.29 mostra um *render* com a estante montada.

No final do semestre, o artefacto que resultou deste projeto foi analisado de acordo com a matriz de avaliação quanto à complexidade formal, funcional, hierárquica e material descrita na secção 6.6.2.



Figura 8.28
Peça impressa em 3D pelo processo MJ



Figura 8.29
Render da estante montada

8.3.2 Pulseira para *kit* de ajudas técnicas

Fase Emergência e Empatia

O Grupo 3 desenvolveu uma pulseira portátil para seniores dos 65 aos 80 anos com problemas de motricidade fina para integrar em kit de ajudas técnicas. Os problemas e dificuldades foram determinados a partir de questionários, entrevistas, observação direta em centros de dia, no sentido de identificar uma oportunidade para o design. Depois da pesquisa realizada, o grupo apresentou a análise dos resultados que destacou a perda de motricidade fina por parte dos seniores como algo que inviabiliza muitas das suas tarefas rotineiras. O Grupo 3 procurou usar as ferramentas que foram lecionadas na componente teórico-prática da UC, como o modelo Kano e o *Benchmarking* competitivo. De salientar que, nesta fase, este grupo não havia envolvido ainda a TFA no

projeto. O foco principal terá sido conhecer o público-alvo para elaborar a lista de necessidades para transformar em requisitos. Perante as intervenções dos docentes, os estudantes reagem no sentido de investigarem mais sobre o processo de fabrico:

Têm de perceber também as propriedades dos materiais do 3DP. Vocês devem também agora tentar perceber como é que 3DP funciona (docente 1)
Exatamente, as limitações e as potencialidades da tecnologia e em simultâneo as vossas inspirações e ideias. (docente 2)
Sim, vão ter de cruzar isso também... não é só o que estavam aqui a falar... (docente 1)

A partir da interpretação da análise recolhida, o projeto pretendeu dar resposta ao problema da perda de motricidade fina que afeta os seniores dos 60 aos 85 anos nas suas tarefas diárias e nos utensílios que manuseiam. Para tal desenvolveram um artefacto que permitiria realizar exercícios próprios para retardar a perda de capacidades relacionadas com a motricidade fina e que fosse “fácil de usar”, “transportável” e “leve”.

Para o desenvolvimento dos nossos conceitos, as palavras mais importantes foram “fácil de usar”, “leve” e “transportável”.

Fase Experimentação

Em seguida, iniciaram a fase de geração de ideias a partir dos requisitos identificados na fase anterior. Para a geração de conceitos, os estudantes utilizaram, como seria de esperar, o caderno, no qual é possível reconhecer um conjunto de desenhos rápidos com ideias associadas a requisitos que os estudantes colocam como anotação ao lado do desenho. As Figura 8.30 e Figura 8.31 mostram as páginas dos cadernos onde estão presentes dois dos conceitos elaborados.



Figura 8.30
Desenho de conceito 1



Figura 8.31
Desenho de conceito 2

Relativamente à seleção dos conceitos, para eleger um conceito “vencedor” foram consideradas, de acordo com os estudantes, “a possibilidade da forma e a funcionalidade pretendida”, o que significa que o processo de fabrico contribuiu para a seleção de um conceito a desenvolver”:

Foram analisados os 4 conceitos tendo em conta a possibilidade da forma (...) pretendida com o processo de fabrico aditivo, como também as zonas das mãos que cada um destes conceitos permite exercitar. (estudante)

O conceito selecionado foi uma pulseira perfurada na qual seria possível colocar os dedos para realizar movimentos específicos com determinada força (Figura 8.32). A particularidade de ser uma pulseira com um encaixe para apertar e desapertar permitiria que fosse transportável, podendo ser utilizada em qualquer lugar.

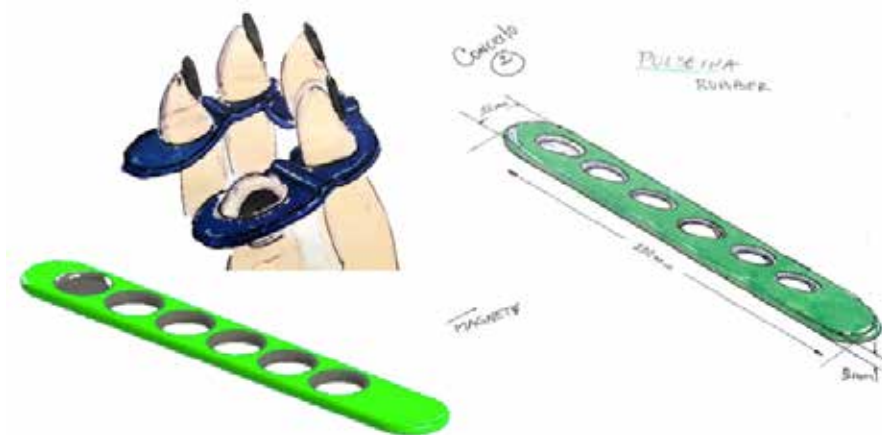


Figura 8.32
Conceito selecionado para avançar para a fase de Elaboração

O Grupo 3 rapidamente definiu a forma (quase) final, o que lhes permitiu adiantar-se na modelação, passar para a prototipagem e iniciar a fase de testes através da TFA. O produto teria, no final, de possuir determinadas propriedades, como, por exemplo, flexibilidade, o que implicou procurar materiais flexíveis passíveis de serem usados em fabrico aditivo e nas máquinas disponíveis. Na sessão n.º 7, os estudantes apresentaram aos docentes os primeiros protótipos de teste da pulseira (Figura 8.33).

As peças foram impressas na CubeX em PLA, um material rígido inadequado para o produto, no entanto, o objetivo era encontrar as dimensões dos furos (Figura 8.34), a totalidade da pulseira e considerar possíveis formas do fecho (Figura 8.35). O atraso na chegada da impressora Prusa 3D, a única de acesso livre que permitiu a impressão em material flexível, condicionou o avanço dos projetos que já se encontravam em fase mais adiantada. Quanto



Figura 8.33
Interação entre os estudantes e docentes na sessão n.º 7
sobre os protótipos de teste



Figura 8.34
Protótipo para testar as
dimensões dos furos



Figura 8.35
Protótipos para testar modos
de fecho

aos problemas técnicos com as impressoras, foram também referidas a dificuldade de leitura dos ficheiros por parte das impressoras CubeX.

Com a chegada da impressora adequada, os estudantes começaram a prototipar os seus produtos e a analisar os diferentes resultados, de forma a controlar melhor os parâmetros do equipamento e conseguir alguma repetibilidade nas peças.

Os protótipos permitiram que os estudantes imprimissem e testassem possíveis soluções para dois subproblemas: o modo de prender as duas extremidades designado por fecho, e a flexibilidade necessária para a realização do exercício. Foi impresso um possível modo de fecho (Figura 8.36). No entanto, devido à a forma como foi impresso, no sentido de menos resistência das camadas, rapidamente se descolaram, o que, segundo os alunos se deveu a problemas de aderência do material relacionado com o processo FFF.



Figura 8.36
Problemas na impressão
devido à anisotropia do
processo FFF

Idealmente, seria necessário redesenhar o fecho para que a limitação da anisotropia do processo não interferisse na qualidade do produto. No entanto, os estudantes referiram que “o encaixe mais indicado seria o tipo botão” e que “a máquina teve problemas com o filamento na altura de imprimir o fecho da pulseira”, por isso, a solução do botão manteve-se até ao produto final.

Identificaram também problemas com o filamento e com a falta de elasticidade que era pretendida no produto. Os Quadros 8.11 e 8.12 mostram os registos feitos por um dos estudantes no caderno de projeto, após a impressão dos dois protótipos.

Quadro 8.11

Análise do protótipo intermédio realizada pelos estudantes após a impressão do primeiro artefacto



IMPRESSÃO 1

Impressora Prusa 3D

Material: TPU Flexível

Espessura da peça: 5 mm

Infill: 10%

Características da impressão:

Velocidade 15 mm/s

Extruder Multiplier: 1.1

Temperatura: 230 °C

Tempo de impressão : 1h10m

Observações:

Não é suficientemente elástico

Acabamento 2/5

Problemas identificados:

Pouca elasticidade do produto

Para a impressão 2, o grupo diminuiu a espessura da peça para tentar aumentar a elasticidade, no entanto isso não se verificou.

Os protótipos foram discutidos em aula, numa sessão de *brainstorming* entre os docentes e o grupo de estudantes, como mostra a Figura 8.37. Foi sugerido por um dos docentes explorar as geometrias que o fabrico aditivo permite, experimentar a colocação de texturas e padrões no preenchimento da peça e através da geometria conseguir o grau de elasticidade desejado. Para tal, os estudantes desenharam vários padrões que aplicaram na peça e realizaram uma análise empírica da elasticidade. A Figura 8.38 mostra os protótipos com os diferentes padrões desenhados numerados de 1 a 4. Os estudantes, por comparação, concluíram que:

O melhor padrão seria o número 2, pois era o mais elástico. No entanto a geometria teria de ser ligeiramente alterada devido ao sair da geometria quando a pulseira era colocada no pulso. (estudante)

Quadro 8.12

Análise do protótipo intermédio após teste de impressão 2



Impressora Prusa 3D
Material: TPU Flexível
Espessura da peça: 2,5 mm
Infill: 10%

Características da impressão:
Velocidade: 17,5 mm/s
Extruder Multiplier: 1,2
Temperatura: 235 °C
Tempo de impressão : 1h30m (interrompido)

Observações:
É menos elástico do que a impressão 1, embora a espessura tivesse sido reduzida da maneira aumentar a elasticidade
Acabamento: 3,5/5 (+ tempo)
O aumento do *Extrude Multiplier* de 1.1 para 1.2 preencheu mais a forma.

Problemas identificados:
Para materiais flexíveis, o melhor é colocar a temperatura a 240 °C.

IMPRESSÃO 2



Figura 8.37
Discussão em aula com os docentes sobre os testes realizados

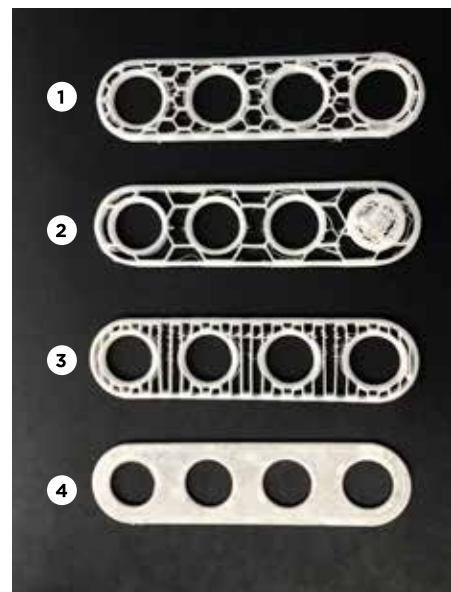


Figura 8.38
Protótipos para teste de elasticidade

Foram discutidas propostas de melhoria da funcionalidade da peça, como o tipo de exercícios que poderiam fazer, os movimentos com os dedos e a força necessária... O docente sugeriu que o padrão interior poderia ser “desenhado” diretamente no *software* de modelação:

Já percebemos que teremos de juntar um bocado mais os buracos... e fazer a pulseira um bocado maior... (estudante)

Vocês vão ter de modelar o desenho que querem, quer interior quer do contorno exterior (...) só vão conseguir fazer o que está aqui se desenharem o *infill* (...) para mim aqui a questão é: definir qual vai ser o padrão interior. (docente)

O produto final (Figura 8.39) foi impresso em TPU na Delta Wasp 2040 Clay e foi posteriormente avaliado através da matriz de avaliação por especialistas de diferentes áreas. Os resultados encontram-se descritos no capítulo 10.

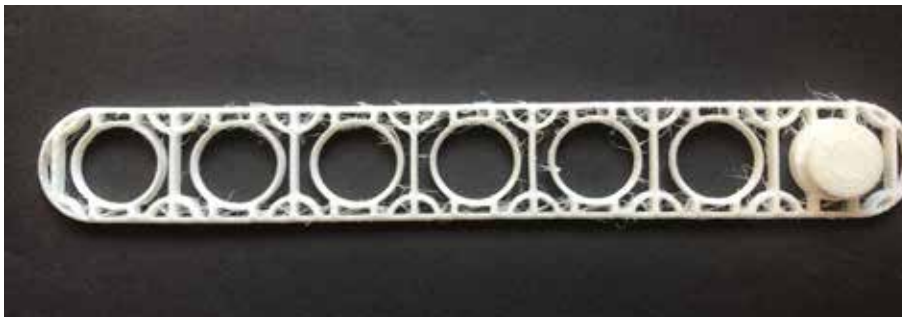


Figura 8.39
Artefacto final impresso em TPU

8.3.3 Resumo dos restantes projetos

À data da apresentação final, os projetos apresentados pelos diferentes grupos de alunos encontravam-se em diferentes fases do processo. Na sua maioria já se encontravam na fase de detalhe do conceito seleccionado, uns mais próximos de um produto final do que outros. Para uma melhor compreensão da análise dos dados apresentados no capítulo 10, nesta secção serão descritos de forma sucinta os restantes oito projetos resultantes da intervenção em PDP II. Oito grupos não conseguiram concretizar o produto “final”, mas todos recorreram à TFA disponível para prototipar.

O Grupo 2 idealizou um sapato “Newtime” (Figura 8.40) para seniores dos 65 aos 80 anos com um estilo de vida ativo frequentadores de espaços de cultura e ligados às artes. O sapato seria totalmente produzido por fabrico aditivo e inspirado no bico da cegonha bico-de-sapato.

Figura 8.40

Render da proposta de sapato “NewTime” inspirado no bico da cegonha bico-de-sapato



O Grupo 4 apresentou uma proposta de óculos (Figura 8.41) para crianças com idades compreendidas entre os 5-10 anos. Para responder ao pressuposto da inspiração na Natureza, houve uma tentativa de incorporar nos óculos um padrão semelhante ao tecido ósseo, em zonas estrategicamente escolhidas.

Figura 8.41

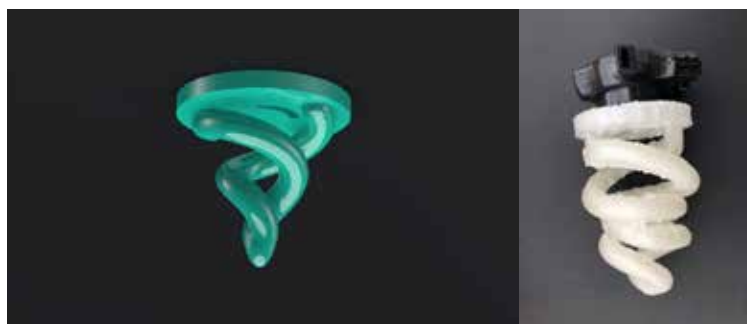
Render da proposta de óculos para crianças



O Grupo 5 apresentou dois piões para promover a motricidade fina das crianças dos 5 aos 10 anos. Procuraram explorar uma complexidade geométrica em conceitos inspirados na série de *Fibonacci* presente nos elementos da Natureza, como o pião da Figura 8.42, e em flores, como a *Protea* (Figura 8.43) que serviu de inspiração para o segundo pião da Figura 8.43. Para fazer girar o pião era necessário adquirir um mecanismo já existente no mercado que, colocado nas ranhuras existentes na parte superior do pião, permitia girar o pião.

Figura 8.42

Render e pião impresso na CubeX



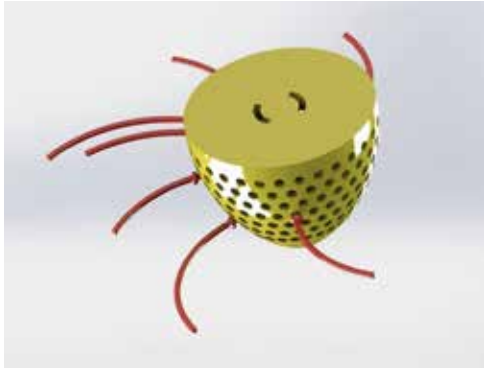


Figura 8.43
Pião inspirado na planta
Protea

O Grupo 6 apresentou um produto para facilitar a abertura de frascos (Figura 8.44) destinado a seniores dos 65 aos 80 anos. Apesar de a solução final ser facilmente produzida através de processo convencional, o grupo procurou explorar diferentes texturas várias que possibilitassem uma maior aderência da peça ao frasco e tirassem partido das vantagens do processo aditivo. A Figura 8.45 exemplifica a forma de colocação do produto no frasco.

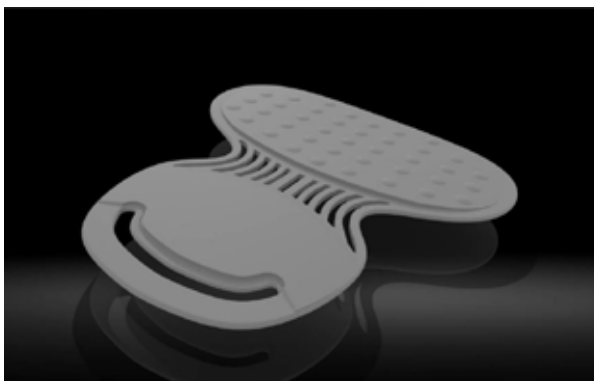


Figura 8.44
Render do produto



Figura 8.45
Protótipo de teste do
produto em contexto de uso

O Grupo 7 apresentou um produto destinado a crianças dos 5 aos 10 anos que permitia montar uma tenda em interiores utilizando objetos frequentes existentes no espaço doméstico, como um lençol, uma cadeira, uma mesa, entre outros. A solução final foi uma pinça, inspirada nas tenazes do caranguejo, com uma argola que permitia atar um lençol (Figura 8.47). Para este produto os alunos imprimiram 16 versões diferentes com ligeiras alterações para testarem, da qual resultou o produto final apresentado na Figura 8.46.



Figura 8.46
Pinça impressa em FFF numa só operação

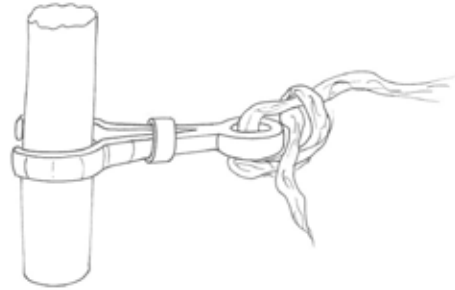


Figura 8.47
Ilustração do modo de funcionamento da peça

O Grupo 8 apresentou um capacete (Figura 8.49) para adultos dos 35 aos 45 anos de idade praticantes de desportos de velocidade, não motorizados. Após o fecho do *project brief*, procuraram elementos na Natureza que pudessem melhorar o desempenho do produto. A inspiração foram as escamas de tubarão, que “reduzem o arrasto ao manipular o fluxo de água para a pele e desta forma aumentam a velocidade e reduzem o atrito”. No projeto referiram também a possibilidade de através do FA poder imprimir o interior em *lattice* com uma estrutura hexagonal, favo de mel, a estrutura ideal para uma melhor absorção do impacto. No entanto tiveram dificuldades em imprimir a totalidade do capacete, conseguiram apenas imprimir uma versão à escala (Figura 8.48), distante da proposta para o produto final.



Figura 8.48
Protótipo de capacete impresso em escala reduzida pelo processo FFF



Figura 8.49
Render final do capacete

O Grupo 11 apresentou o “LotusCap” (Figura 8.50) para seniores dos 65 aos 80 anos que necessitam de transportar a medicação diária. Inspirado na flor-de-lótus, o produto consiste numa peça maior onde encaixam quatro compartimentos, nos quais é colocada a dose diária da medicação (Figura 8.50). O produto foi desenhado com uma rosca no seu interior que permitia enroscar uma garrafa de água para facilitar o transporte da peça e não esquecer a garrafa de água. O primeiro protótipo foi impresso na PRUSA i3 MK3, mas tiveram alguns problemas com a impressora, acabando por recorrer à impressora *Dimension* disponível no laboratório da ESAN, também do processo FFF, mas mais precisa e rigorosa do que as CubeX (Figura 8.51).

O Grupo 12 idealizou a “Bamboo and water”(Figura 8.52), uma luz de presença para mesa de cabeceira para crianças dos 5 aos 10 anos. Uma luminária inspirada na cana de bambu que procurou resolver o medo do escuro das crianças. O Grupo 12 procurou aplicar algumas linhas orientadoras descritas na bibliografia disponibilizada pelos docentes e referida pelo designer do estudo prévio I, nomeadamente a regra dos 45°.

Depois de falarmos ontem com o designer, estamos a tentar começar a desenhar em função dos 45° para depois não termos problemas na impressão e para que seja mais fácil imprimir... (estudante)

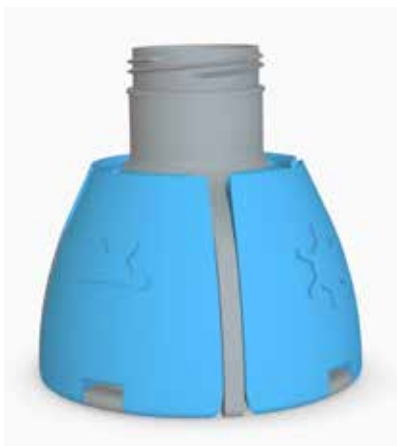


Figura 8.50
Render da proposta LotusCap



Figura 8.51
Protótipo produzido na impressora Dimension

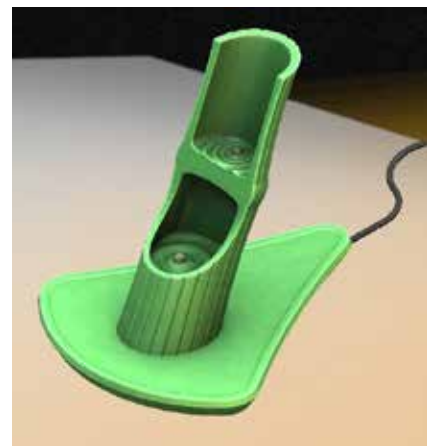


Figura 8.52
Render da proposta Bamboo and water

Capítulo 9

Análise dos dados recolhidos em design para fabrico aditivo

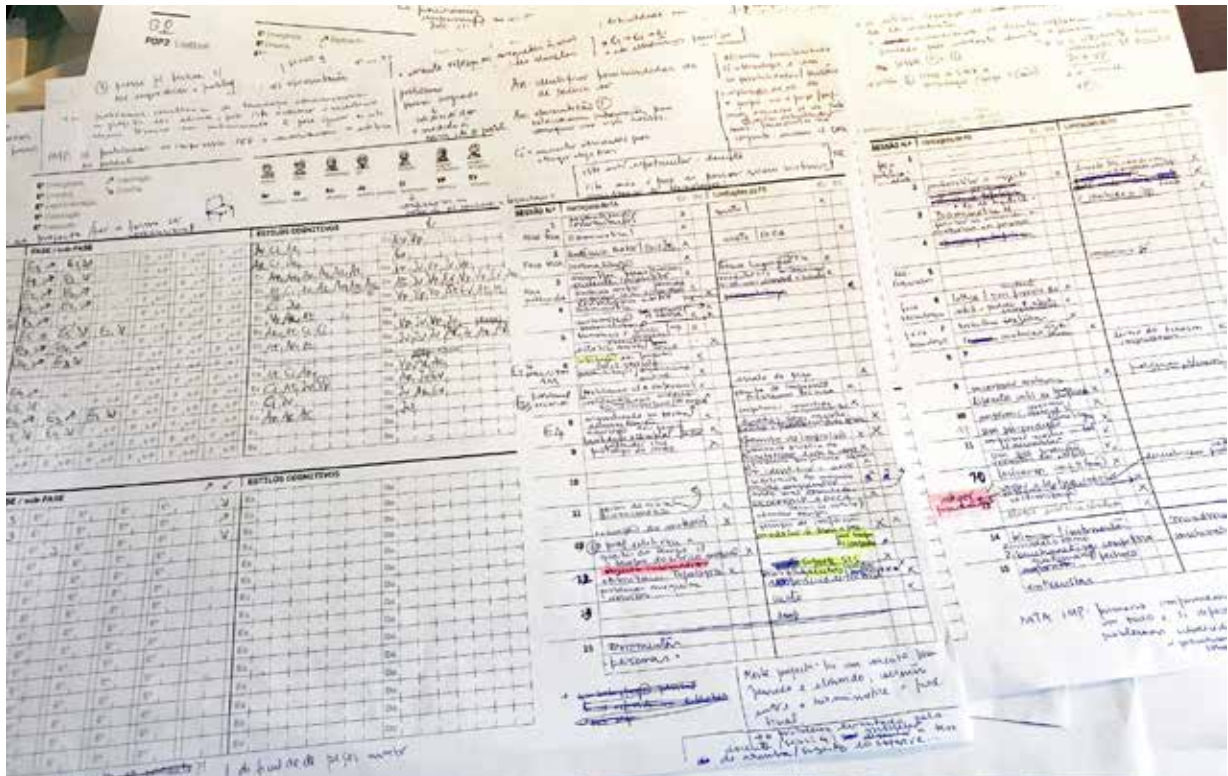
Neste capítulo, sistematizam-se e analisam-se os dados recolhidos durante o estudo de caso em PDP II, com o intuito de dar resposta à questão de investigação, no que se refere aos contributos da introdução do fabrico aditivo em projeto de design no contexto académico, a partir das vertentes praxiológica (processo), epistemológica (pensamento) e fenomenológica (artefactos). Tendo em conta que, para a análise praxiológica e epistemológica, foram utilizadas as mesmas fontes de dados e o mesmo instrumento/técnica para tratamento dos dados, o Diagrama Processual a partir de *Logbook* adaptado de Clemente (2016) (Anexo 4), decidiu-se agrupar as duas análises na secção 9.1. O modo de preenchimento do *Logbook* adaptado que serviu para sistematizar os dados apresentados no diagrama foi descrito anteriormente no capítulo destinado à metodologia na secção 6.6.1. A análise fenomenológica a partir dos artefactos resultantes, realizada através do preenchimento da matriz (Anexo 6) por um painel de especialistas, encontra-se descrita na secção 9.2.

9.1 Pela prática do design e pelo pensamento durante o projeto

Foi auscultado o registo áudio das treze sessões/aulas de PDP II num total de 41 horas, e posteriormente transcritas em 96 páginas com os excertos das interações entre estudantes e docentes (Anexo 5). Comprovando as afirmações de Goldschmidt, Hochman & Dafni (2010) “On average, teachers’ verbalizations are much longer than students’ verbalizations” (p. 287), as verbalizações dos docentes foram mais longas e em maior número (estudantes = 1054 e docentes = 1572), mesmo contabilizando as apresentações formais, nas quais os estudantes tiveram uma participação mais ativa. Em cada sessão de trabalho (aula prática e de orientação tutorial de 3 horas), apenas foram transcritas as interações entre docentes e estudantes que apresentaram conteúdo relevante para a investigação. As transcrições que incidiram nas críticas ao projeto e nas apresentações do projeto por parte dos estudantes foram sistematizadas com base no *Logbook* adaptado de Clemente (2016). Para além das transcrições, sempre que necessário, foram consultados os cadernos individuais de projeto dos estudantes e o registo fotográfico (*moodboards* atualizados semanalmente, modelos e protótipos discutidos em sala de aula) realizado pela investigadora no decurso do projeto.

A partir dos dados sistematizados no *Logbook* adaptado (Figura 9.1), e para uma melhor visualização dos dados para análise, foram concebidos os diagramas processuais dos 10 grupos participantes, nos quais é possível

identificar o processo metodológico, os estilos de pensamento mobilizados em cada sessão, tal como as vantagens e limitações do FA que os estudantes e docentes foram referindo ao longo do projeto.



Os diagramas processuais são constituídos por três partes principais: (1) Processo; (2) Pensamento e (3) Fabrico aditivo (Figura 9.2). As duas primeiras partes estão separadas por uma Linha de Tempo onde se representam as 13 sessões correspondentes ao tempo de duração da UC. Para cada sessão são preenchidos os dados relativos ao processo metodológico, os estilos cognitivos mobilizados pelas estudantes e as vantagens e limitações do FA que foram identificadas no respetivo registo áudio pelos estudantes e docentes. As sessões assinaladas a cinza no Diagrama significam que o grupo não esteve presente ou que, nessa sessão, não acrescentou nenhum elemento novo ao projeto.

Na parte superior do Diagrama Processual destinada ao Processo, estão identificadas num eixo vertical situado à esquerda as cinco fases do modelo E.6²: Emergência, Empatia, Experimentação, Elaboração e Exposição. A partir dos excertos dos alunos auscultados e transcritos para cada sessão, a investigadora identificou a fase e a subfase (Exploração ou Escolha) em que

Figura 9.1
Sistematização dos dados recolhidos através de Logbook adaptado (Clemente, 2016)

se encontrava o projeto. A informação percebida sobre a fase e subfase foi assinalada no Diagrama na respetiva sessão com um (ou mais) círculo de cor. A paleta de cores selecionada para os círculos (amarelo, rosa-claro, rosa, laranja e verde) corresponde às cores atribuídas pelo modelo E.6² às respetivas fases. Para identificar visualmente as subfases, Exploração e Escolha, optou-se por utilizar um círculo em linha (○) para momentos de Exploração e um círculo preenchido (●) para os momentos de Escolha. Para ajudar na visualização do processo foram colocadas setas que enfatizam os avanços e recuos dos projetos. Ainda relacionado com o Processo, foram assinalados dois momentos relacionados com o fabrico aditivo. As “Vantagens/oportunidades do FA introduzidas pelos estudantes” permitiram determinar em que sessão os estudantes (não os docentes) começaram a projetar com o processo de fabrico em mente e tentaram incorporar algumas dessas vantagens no produtos a desenhar. A sessão onde está assinalada os “Objetos intermédios produzidos por FA” indica em que aula os estudantes apresentaram pela primeira vez protótipos impressos por FA para discussão com os docentes.

Na parte dedicada ao Pensamento, foram assinalados os estilos cognitivos mobilizados pelos estudantes durante o projeto de DpFA. Para efeitos de simplificação da análise selecionou-se em cada sessão os dois estilos cognitivos (EC) predominantes no discurso dos estudantes. Para determinar os EC predominantes foram analisadas as verbalizações dos estudantes durante a sessão. Na maioria da sessões, os estilos cognitivos predominantes foram facilmente identificados pela investigadora. Pontualmente, quando isso não se verificou, foi atribuído um estilo cognitivo a cada verbalização dos estudantes, e no final foram contabilizados os que mais tinham sido mobilizados nessa sessão.

Os dados relacionados com o Fabrico Aditivo surgem na parte inferior do Diagrama Processual. A partir da análise das transcrições, foram identificadas as vantagens/oportunidades para o design e as limitações do FA referidas pelos estudantes e docentes no decurso do projeto. Em cada sessão foram identificadas as vantagens, sinalizadas com um sinal positivo, e as limitações, identificadas com um sinal negativo. No decurso do projeto, repetiram-se tópicos em diferentes sessões, no entanto foram na mesma indicados no Diagrama, no sentido de analisar a importância atribuída pelos grupos à tecnologia. Por último, na base do Diagrama Processual, de modo a facilitar a interpretação da simbologia presente em cada uma das três partes, foi colocada uma Legenda.

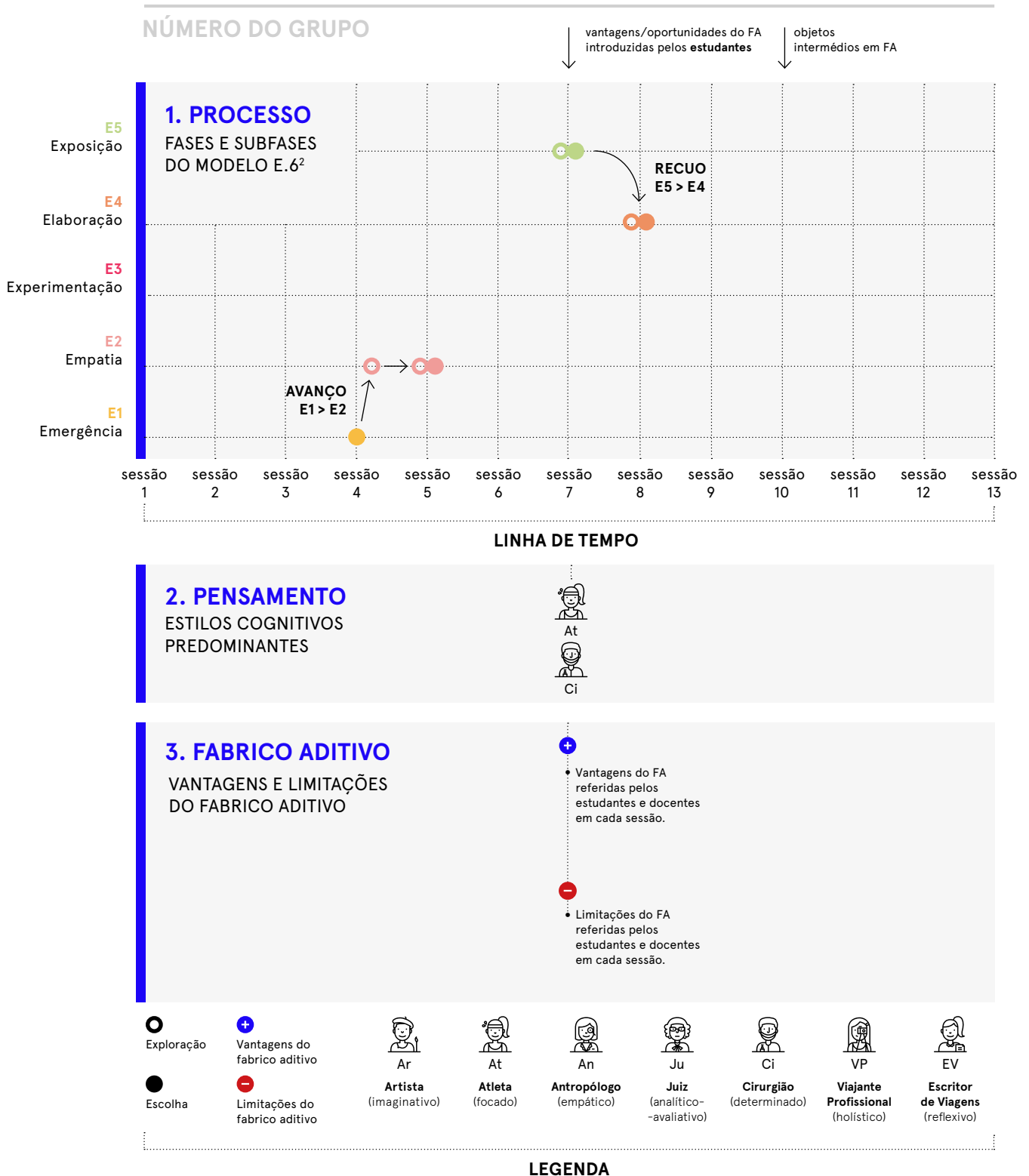


Figura 9.2 Esquema explicativo do Diagrama Processual

Quanto às fases do modelo E.6², as transcrições dos registos áudio, a consulta dos cadernos individuais de projeto e os *moodboards* permitiram identificar o tipo de tarefas que os estudantes haviam realizado durante a semana findada. Algumas das informações relatadas pelos estudantes foram posteriormente validadas através da leitura do dossier do projeto (relatório) entregue aos docentes na última aula.

O Quadro 9.1 apresenta alguns exemplos dos excertos das verbalizações dos estudantes presentes nas transcrições e a respetiva fase do modelo E.6².

Quadro 9.1 Correspondência entre as fases, as tarefas realizadas pelos estudantes e os excertos durante as críticas ao projeto

Fases do Modelo E.6 ²	Subfases	Excertos das verbalizações dos estudantes
1. EMERGÊNCIA Identificação da oportunidade	EXP	· A partir do <i>project brief</i> proposto pelos docentes os estudantes exploraram diferentes oportunidades “Pegámos nos conceitos, segurança, proteção, conforto que os professores nos tinham dado no <i>project brief</i> e começamos a desenvolver tanto para o lado físico como mental.”
	ESC	· Identificaram e selecionaram uma oportunidade/problema perante as possibilidades exploradas “A ideia é criar algo único, que estimule as pessoas a terem um estilo de vida ativo, e a bicicleta parece ser o modo mais fácil de representar, mas não é o único.”
1. EMPATIA Conhecer o contexto	EXP	· Recolheram as necessidades a partir de informação recolhida junto do público-alvo (entrevistas, observação direta) e a partir de produtos similares · Recolheram informações sobre a tecnologia de fabrico aditivo · Procuraram inspiração na Natureza “Nós esta semana estivemos a fazer entrevistas às pessoas, perceber quais as suas atividades, o que elas fazem diariamente, o que fazem para se distrair.” “Estivemos a analisar também os materiais possíveis para fabrico aditivo.” “Vimos na Natureza várias geometrias, espirais e texturas.”
	ESC	· Transformaram as necessidades em requisitos do produto “Identificamos requisitos importantes como a portabilidade e a mobilidade e a maneira como funcionam.”
3. EXPERIMENTAÇÃO Gerar ideias e desenvolver conceitos	EXP	· Geraram uma grande quantidade de ideias “Aqui temos alguns conceitos, este é um conceito que tem uma argola de engrenagem (...) Este aqui é diferente, a pessoa carrega com o dedo no meio, e sai esta peça...”
	ESC	· Avaliaram as ideias geradas e selecionaram o conceito que iriam desenvolver “Fizemos também o <i>concept screening</i> : concluímos que os conceitos que têm maior pontuação são o 9 e o 12, optámos por combinar o 3 e o 8 e o 11 e a partir daí geramos novos conceitos.”

Fases do Modelo E.6 ²	Subfases	Excertos das verbalizações dos estudantes	
4. ELABORAÇÃO Detalhar, prototipar e testar o conceito	EXP	· Melhoraram e detalharam o conceito final	“A partir destes conceitos queremos começar a trabalhar as texturas, já temos o fecho, já temos tudo desenvolvido mas em termos dos materiais e algumas questões de aparência...”
	ESC	· Experimentaram e testaram o conceito final (<i>mock-ups</i> , protótipos) e melhoraram-o	“Nós só conseguimos perceber isso esta semana com o protótipo na mão.”
5. EXPOSIÇÃO Comunicar o conceito. Apresentar o conceito e as soluções separadas. Apresentar a solução final	EXP	· Exploraram diferentes estratégias (<i>storytelling</i> , protótipos) para melhor comunicar o seu projeto	“Podemos colocar vídeos na apresentação?”
	ESC	· Selecionaram a informação relevante e selecionaram a melhor forma de comunicar	“Temos aqui o nosso amigo que arranjou um quarto apertado e sentiu a necessidade de o mobilar. Só que as mobílias de hoje, de preços mais acessíveis, não permitem tanto a mobilidade depois de estarem montadas.” (<i>storytelling</i>)

No plano epistemológico, os docentes assumiram diferentes posturas e mobilizaram diferentes estilos cognitivos para ajudar os estudantes, na tentativa de os motivar para que os próprios se entusiasmassem com o projeto. O Quadro 9.2 apresenta alguns exemplos dos excertos das verbalizações dos estudantes e docentes presentes nas transcrições, o estilo cognitivo associado e respetivo *mindset*.

Durante as críticas ao projeto, os docentes mobilizaram vários estilos cognitivos, como Juiz (Ju), quando avaliaram e colocaram questões para voltar a avaliar em função da resposta ao trabalho apresentado; Viajante Profissional (VP), quando olharam para o projeto de forma global, avisaram os estudantes dos prazos a cumprir e anteviram situações que poderiam subverter ou emperrar o processo; e Escritor de Viagens (EV), quando, com base na experiência, refletiram sobre o trabalho apresentado pelos alunos, transformando em conhecimento útil que pode (ou não) ser aproveitado pelo grupo nas etapas seguintes do projeto. Mobilizam também os estilos cognitivos Atleta (At), quando, perante os conteúdos apresentados pelos alunos, lhes solicitaram decisões, ou Artistas (Ar), quando participam em breves sessões de *brainstorming* para dar ideias para a resolução dos problemas do projetos. Quanto ao estilo cognitivo Antropólogo (An), em algumas interrogações ou avaliações dos docentes, implicam que estes se coloquem no lugar do público-alvo.

Apesar de o EC dos docentes não terem sido considerados como dados para análise, estes estão interligados com os EC dos estudantes. Em alguns grupos, quando as considerações do docente remetiam para a necessidade de conhecer melhor o público-alvo ou o contexto da tecnologia de FA, o EC dos estudantes na semana seguinte indicava Antropólogo e na fase da Empatia.

Quadro 9.2 Estilos cognitivos identificados nos excertos dos estudantes e docentes durante as críticas ao projeto

Profissão (Estilo cognitivo)	Mindset	Excertos das verbalizações dos estudantes	Excerto das verbalizações dos docentes
Atleta Olímpico (Focado)	Focaram-se no que é importante e conseguiram distinguir o essencial do acessório	“Em termos da ideologia do projeto, dos três tópicos achamos que a personalização era o ponto focal, a trabalhar.”	“Se não resolverem a questão da aerodinâmica, estão a resolver outra questão...”
Antropólogo (Empático)	Colocaram-se no lugar do público-alvo	“Tentámos pesquisar tudo sobre essa faixa etária, tudo o que engloba atividades, os comportamentos, os riscos e seguranças delas, do quotidiano.”	“A questão do arrumar não é só tirar peças, senão eu posso perder peças ou esquecer-me de peças. Isso tem problemas...”
Cirurgião (Determinado)	Executaram tarefas para atingir objetivos Tomaram decisões com base na intuição e fizeram avançar o projeto	“No entanto temos ainda dois problemas a resolver, que são as texturas que ainda queremos aplicá-las na modelação mas temos de as experimentar primeiro.”	“Eu senti um bocado disso no vosso desenho (...), mas depois quando vamos para o 3D isso tem de ser afinado.”
Juiz (Analítico e Avaliativo)	Tomaram decisões com base em dados e critérios bem definidos	“Para fixar, decidimos usar duas cavilhas, uma atrás, onde terá maior resistência, e uma frente, para fixar bem produto.”	“Vocês neste momento ainda estão à procura de informação, por isso questiono a utilidade do inquérito nesta fase.”
Viajante Profissional (Holístico)	Viram o projeto como um todo e definiram qual a etapa seguinte	“Estamos a pensar cruzar estes três fatores de modo a conseguir obter algo que ajude a desenvolver a motricidade fina.”	“Agora não podem abrandar para os resultados serem de excelência.”
Escritor de Viagens (Reflexivo)	Refletiram sobre o projeto e retiraram conhecimento útil para projetos futuros e para a sua vida profissional	“Nós esta semana trabalhamos bastante, em termos de ideias, do que é que se pode fazer com o 3D.”	“Se vos falta experiência em modelar e não o conseguem fazer, podem trazer um bocado de cartão e um bocado de fio e assim pode ser mais fácil para explicar...”
Artista (Imaginativo)	Geraram muitas ideias inovadoras	“Nós esta semana trabalhamos bastante, em termos de ideias.”	“Isso pode ter uma lente para projetar uma imagem que as pessoas podem imprimir (...) ou pode ser liso se as pessoas quiserem liso.”

Desta forma, os docentes são elementos colaborativos dos projetos para o quais contribuem com a sua experiência e conhecimento.

O terceiro ponto analisado no Diagrama Processual foi a evolução das referências às vantagens e limitações relacionadas com o FA no decurso do projeto. As vantagens como a “costumização”, “personalização” ou “formas de inspiração biomimética/orgânicas” são destacadas nas fases iniciais e advêm da pesquisa feita pelos estudantes. Nas fases iniciais são também referidas as limitações mais óbvias, como os limites da área de impressão e o custo das peças. O Quadro 9.3 apresenta por ordem alfabética as vantagens para o design e as limitações do FA referidas pelos estudantes e docentes durante o projeto.

De seguida são apresentados os diagramas referentes aos grupos 1-8, 11 e 12, logo depois uma análise global dos resultados.

Quadro 9.3 Vantagens para o design e limitações do FA referidas pelos estudantes e docentes durante o projeto

Vantagens do fabrico aditivo/oportunidades para o design	Limitações do fabrico aditivo
<ul style="list-style-type: none">· Acessibilidade à tecnologia· Costumização· Disponível <i>online</i>· Explorar texturas superficiais· Explorar texturas para conseguir propriedades no produto· Formas de inspiração biomimética/orgânicas· Formas de geometrias complexas· Geometrias originais· Impresso numa única operação· Integrar a funcionalidade· Multimaterial· Multiassemblagem· Novas linguagens estéticas· Otimização topológica· Permitir componentes modulares· Permitir incorporar peças· Personalização· Possibilidade de materializar o produto· <i>Print-on-demand</i>· Prototipar rapidamente durante o projeto· Reaproveitamento de peças existentes· Reduzir o número de peças para montar· Satisfação do consumidor através de produtos DIY· Sem pós-produção· Tendências <i>Maker/DIY</i>· Usar <i>lattice</i> para melhorar o desempenho da peça· Usar <i>infill</i>· Versatilidade dos materiais	<ul style="list-style-type: none">· Aleatoriedade da impressora· Anisotropia do processo· Ajustes das tolerâncias· Custo· Desconhecimento de especificidades do processo de impressão· Dificuldades com o <i>software</i> de otimização topológica· Erros de razões desconhecidas· Fragilidade do material impresso· Fraca qualidade da peça· Impressora desadequada ao produto· Indisponibilidade da máquina· Limite dos materiais para impressão· Limite da área para impressão· Limites da tecnologia condicionam o desenho· Material de suporte na superfície da peça· Necessidade de suporte· Necessidade de ficha técnica· Orientação da peça na plataforma· Problemas durante a impressão· Problemas nas leituras do ficheiros STL· Problemas com o desempenho das impressoras· Remoção dos suportes· <i>Software</i> desadequado· Tempos de impressão

GRUPO 1

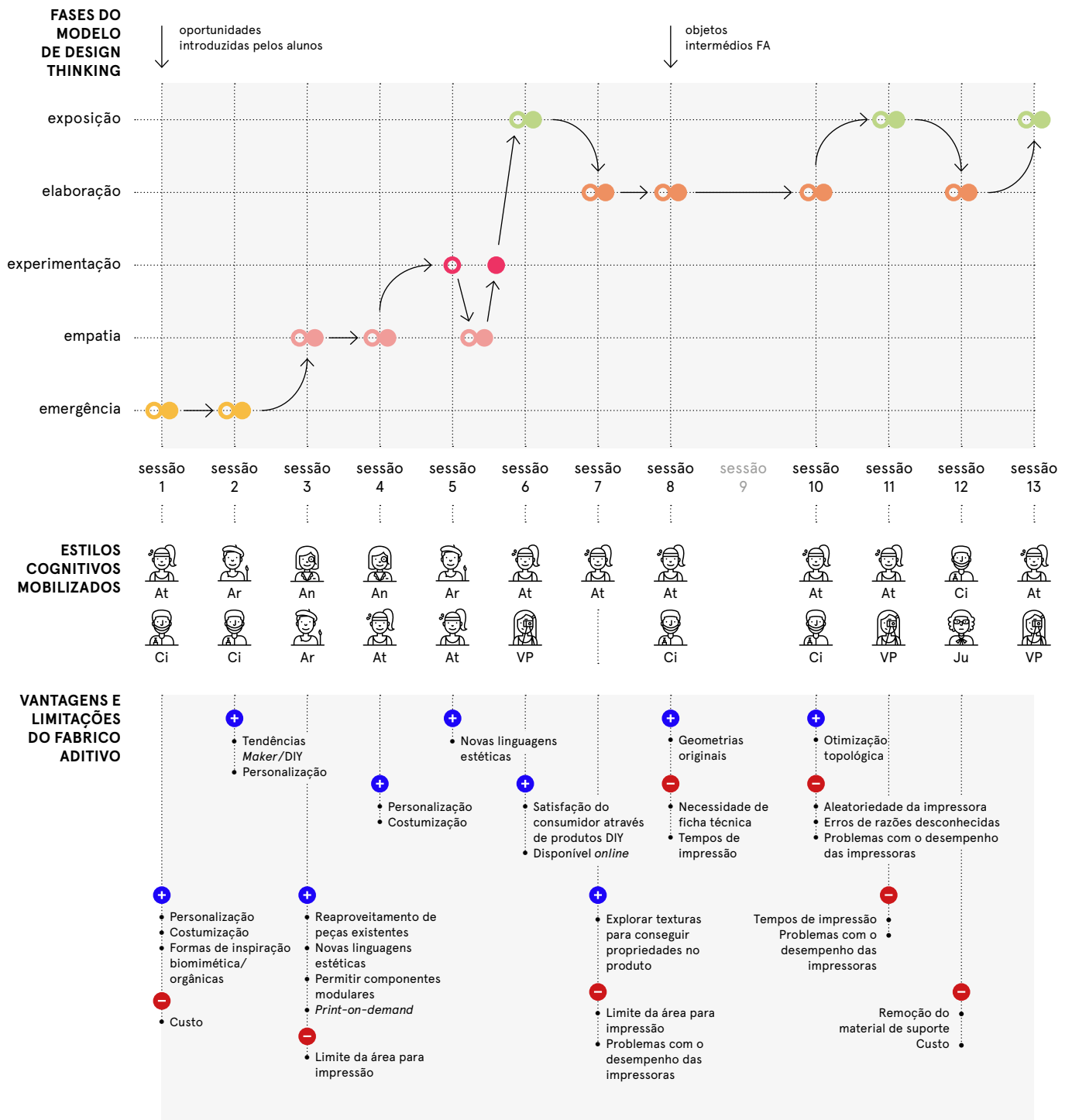


Figura 9.3
Diagrama processual do Grupo 1

GRUPO 2

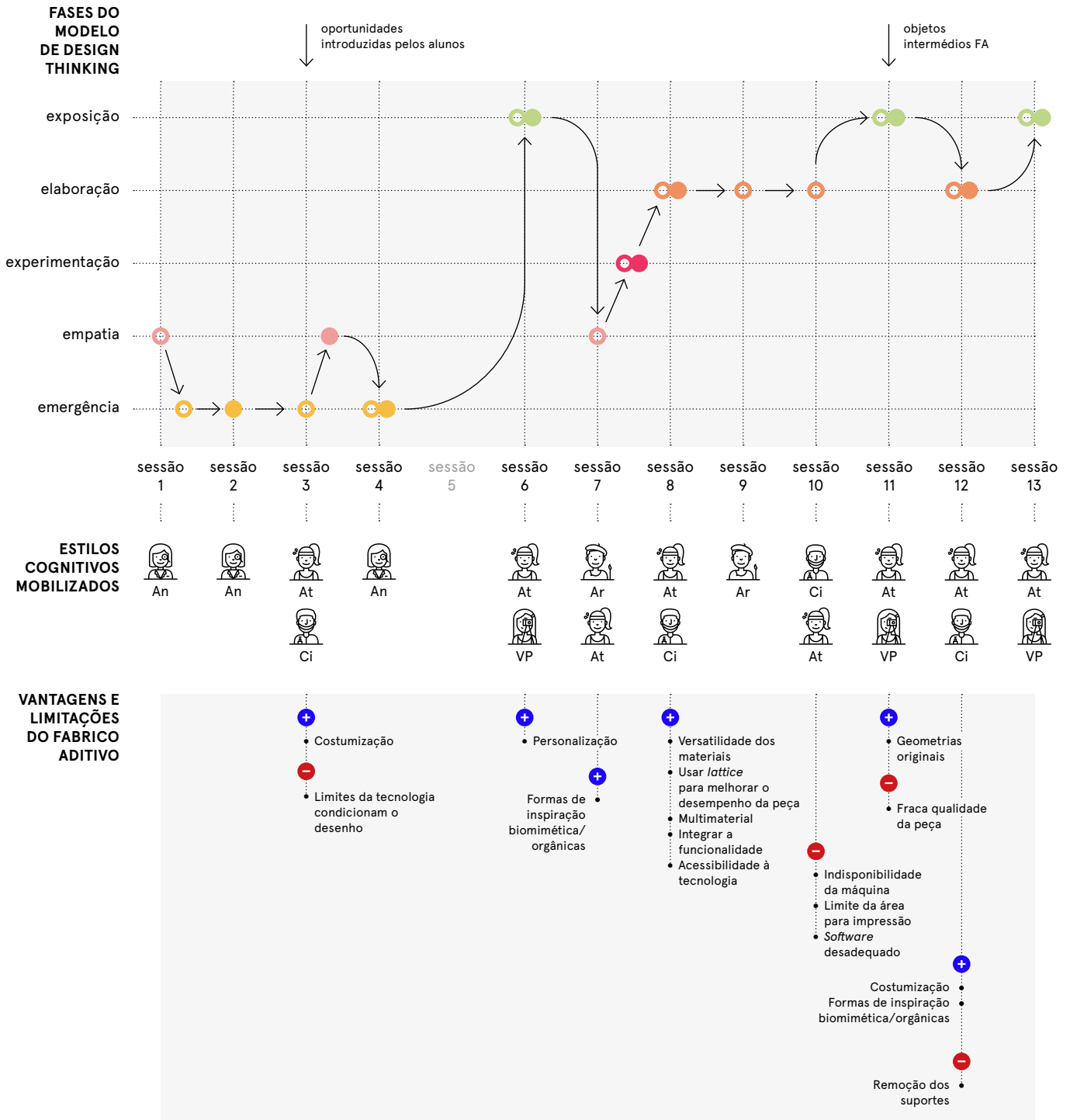


Figura 9.4 Diagrama processual do Grupo 2

GRUPO 3

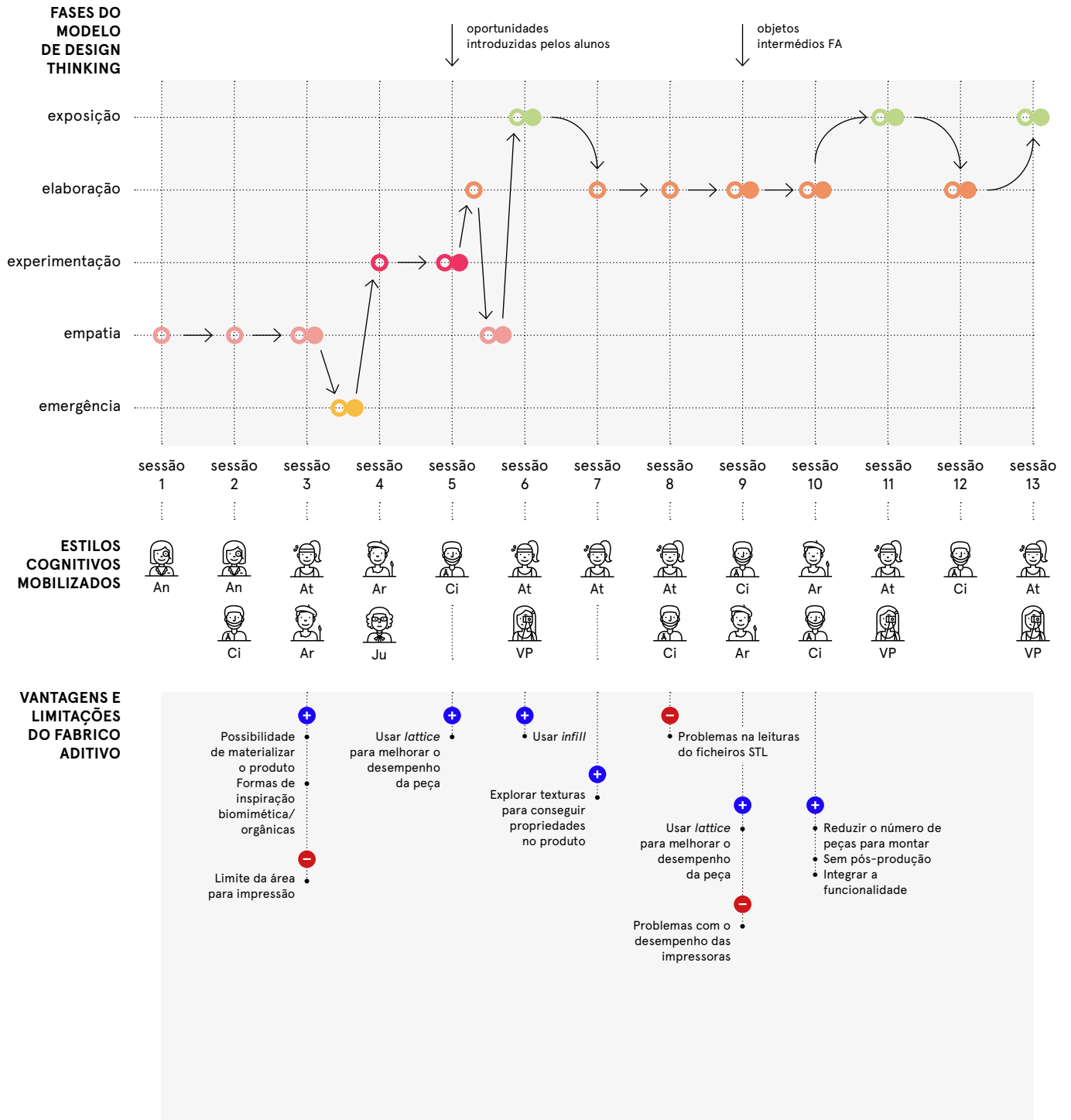


Figura 9.5
Diagrama processual do Grupo 3

GRUPO 4

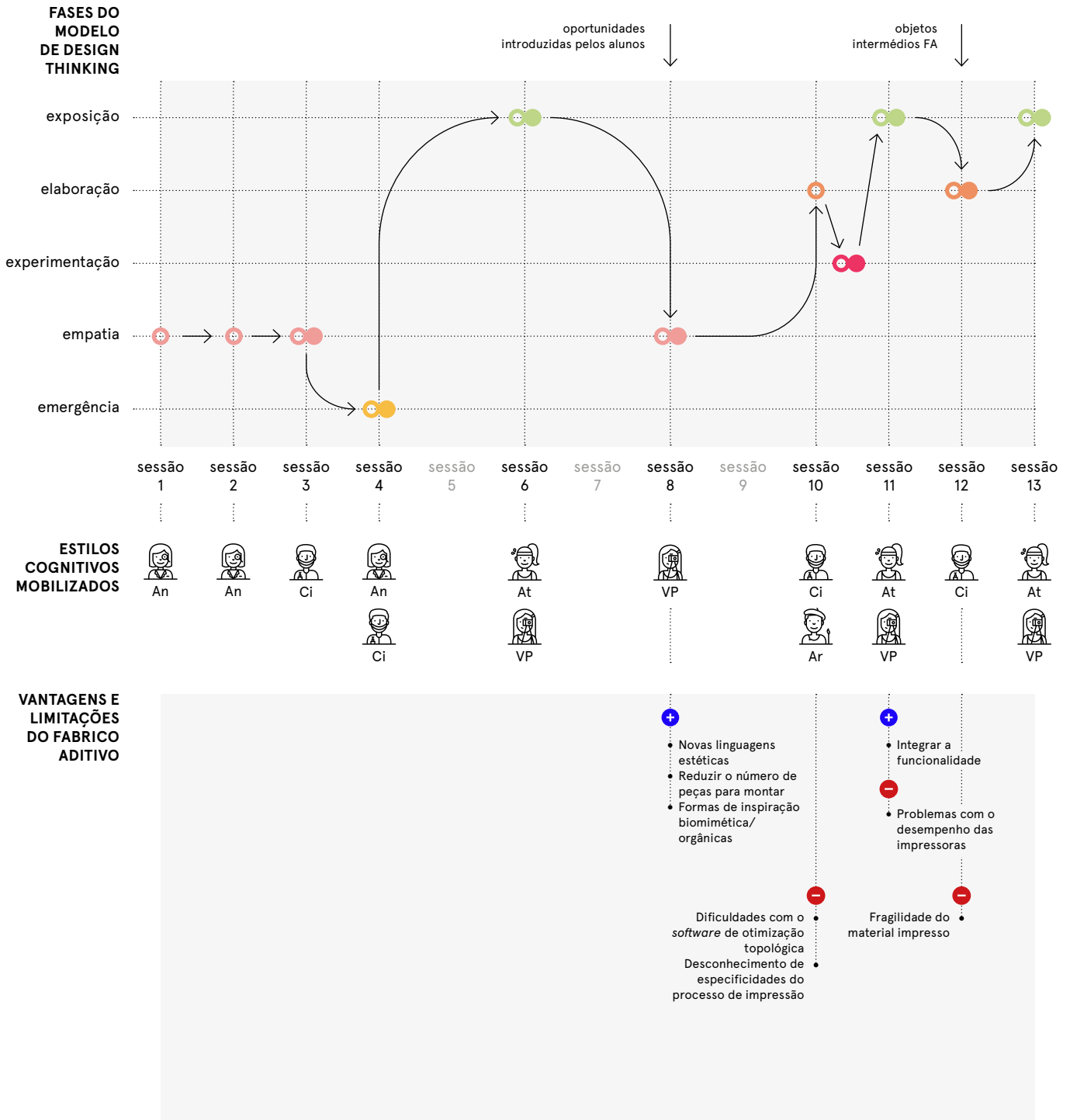


Figura 9.6 Diagrama processual do Grupo 4

GRUPO 5

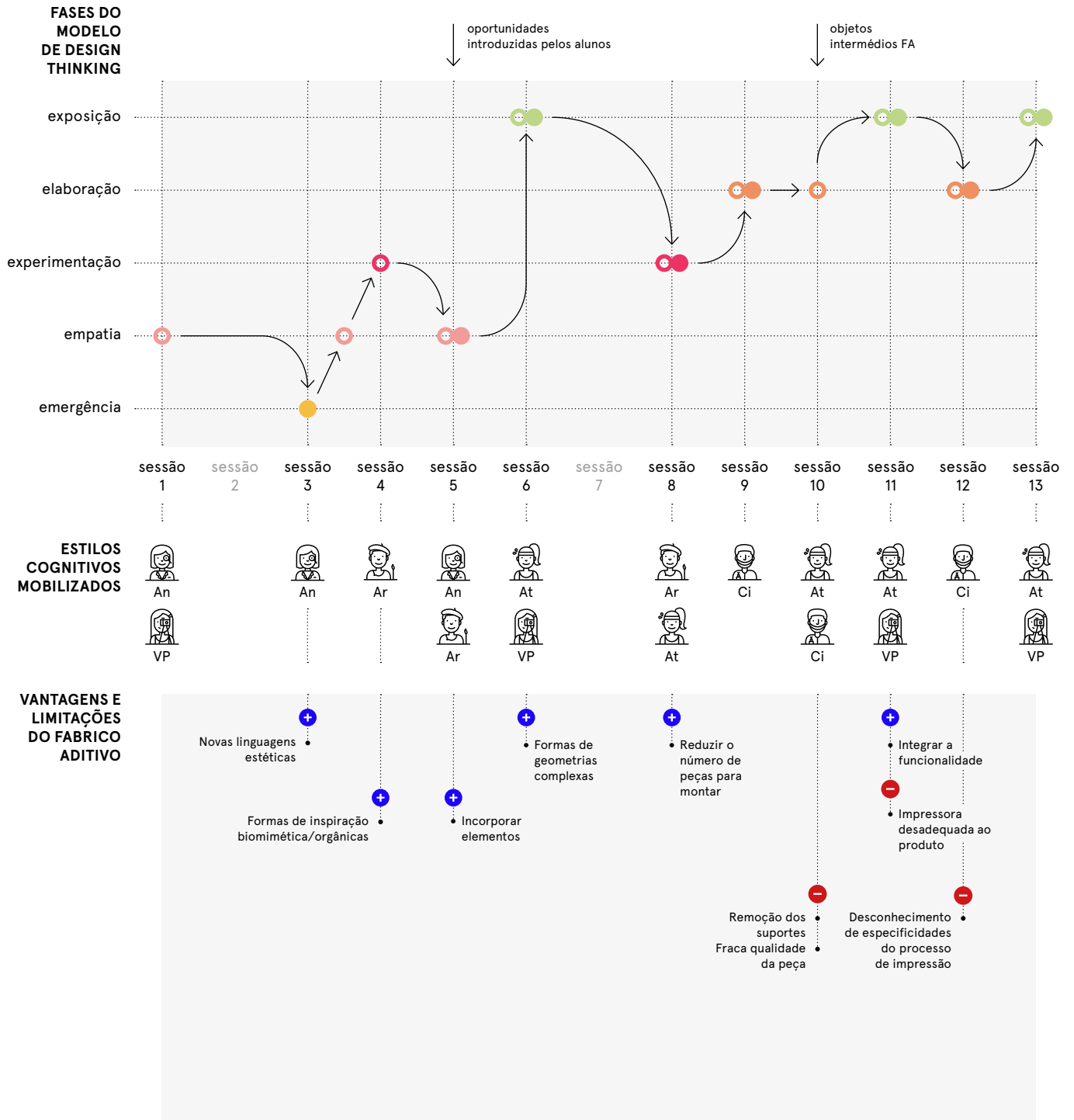


Figura 9.7
Diagrama processual do Grupo 5

GRUPO 6

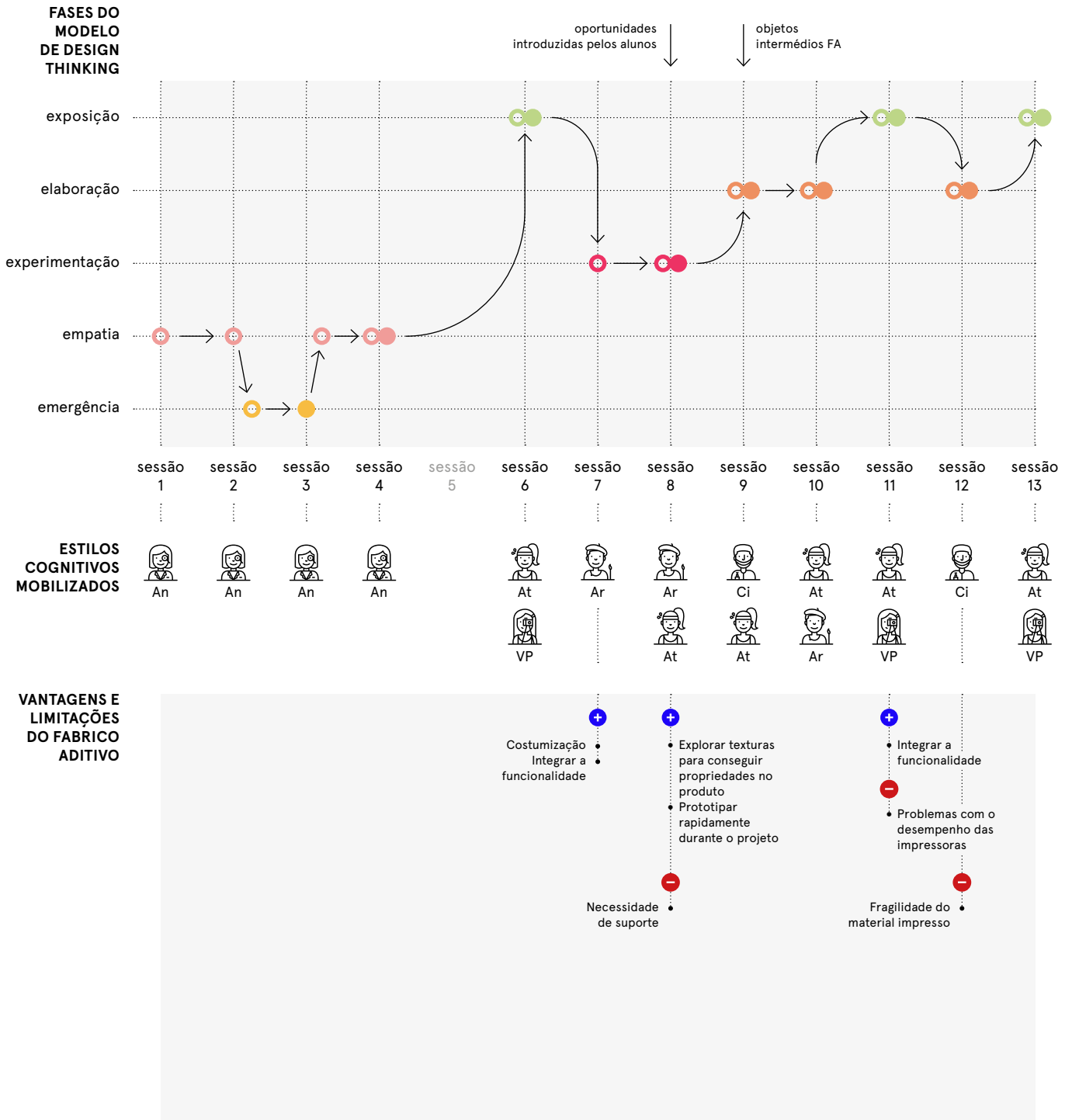


Figura 9.8 Diagrama processual do Grupo 6

GRUPO 7

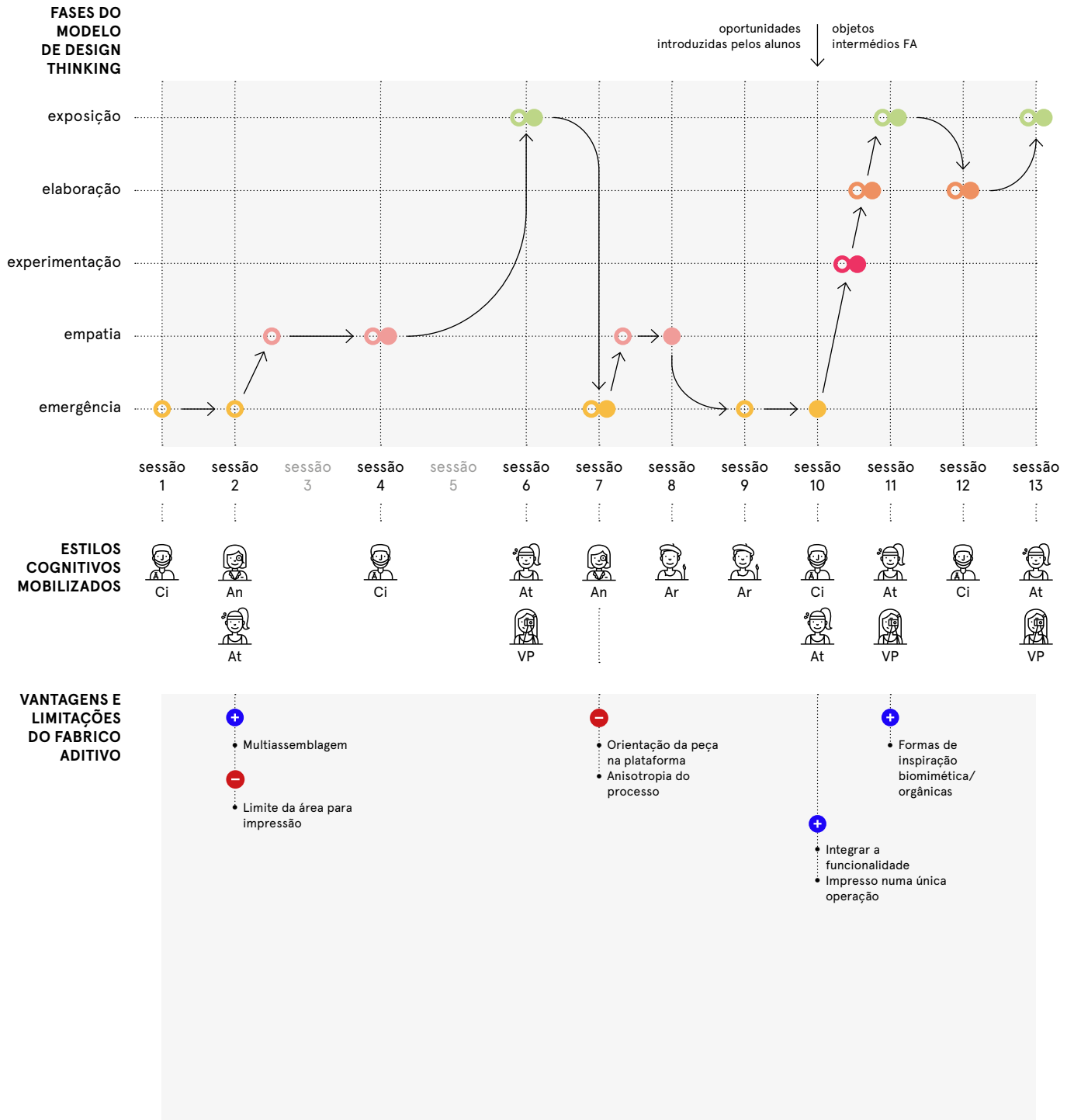


Figura 9.9
Diagrama processual do Grupo 7

GRUPO 8

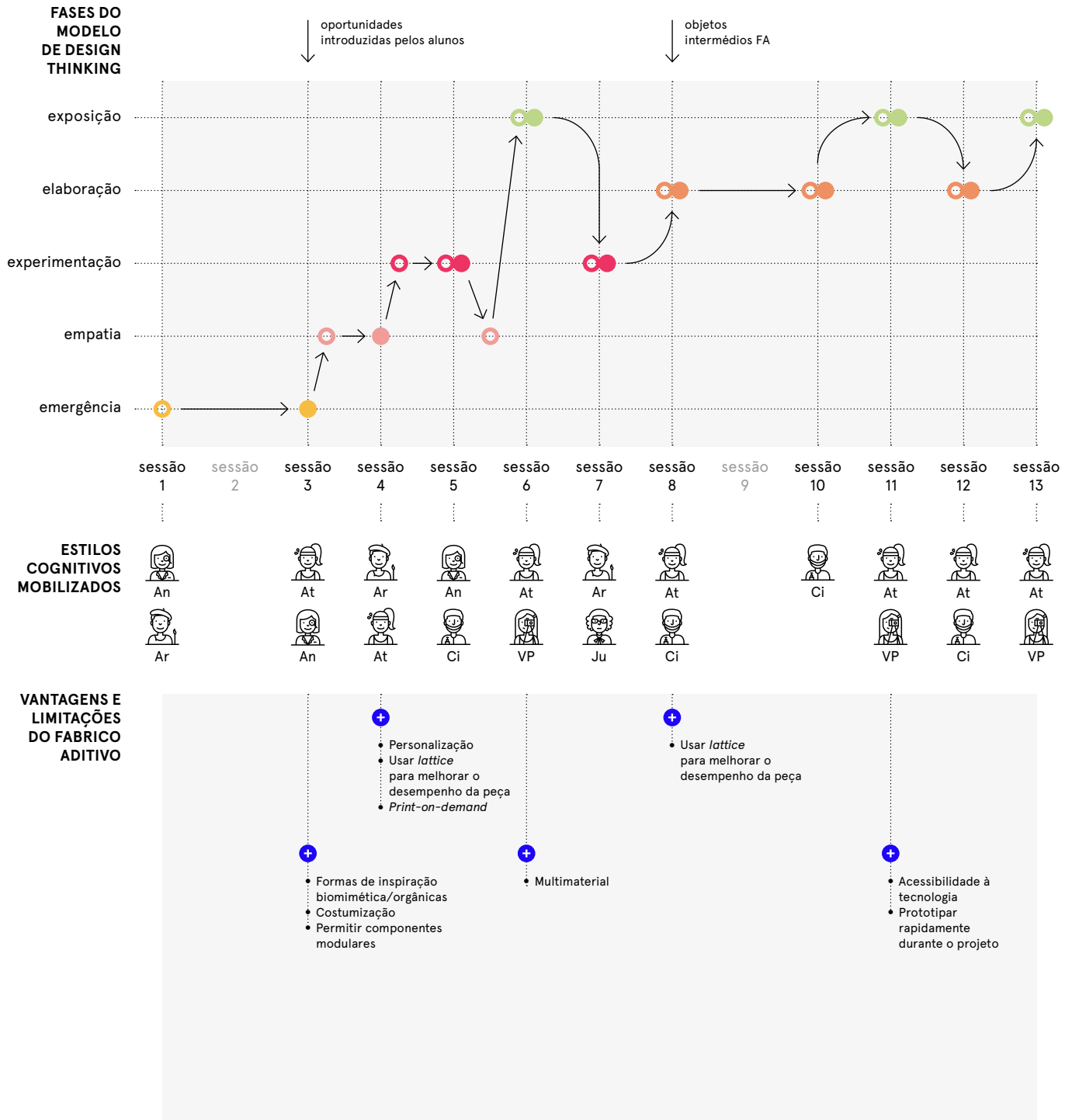


Figura 9.10 Diagrama processual do Grupo 6

GRUPO 11

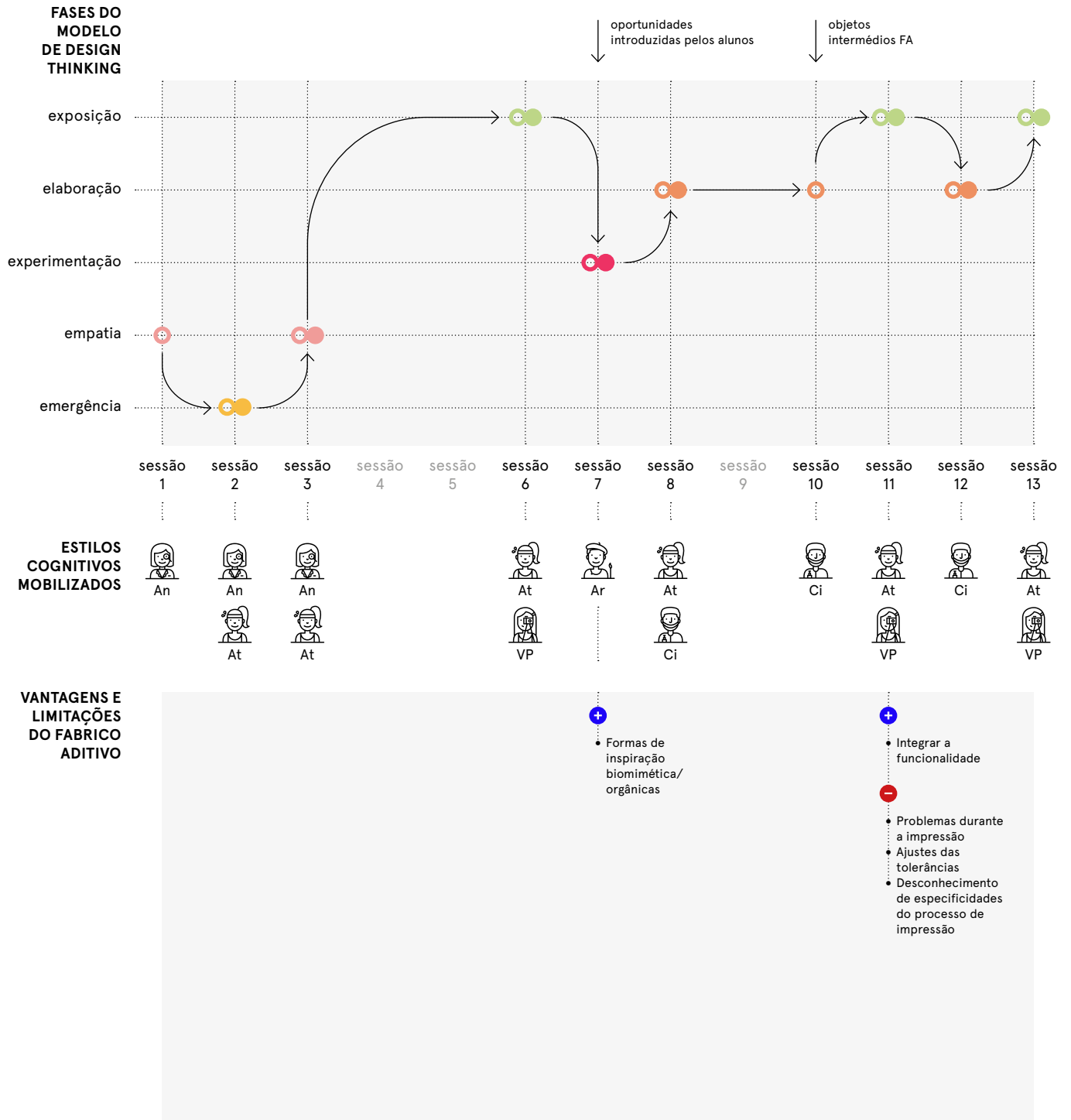


Figura 9.11
Diagrama processual do Grupo 11

GRUPO 12

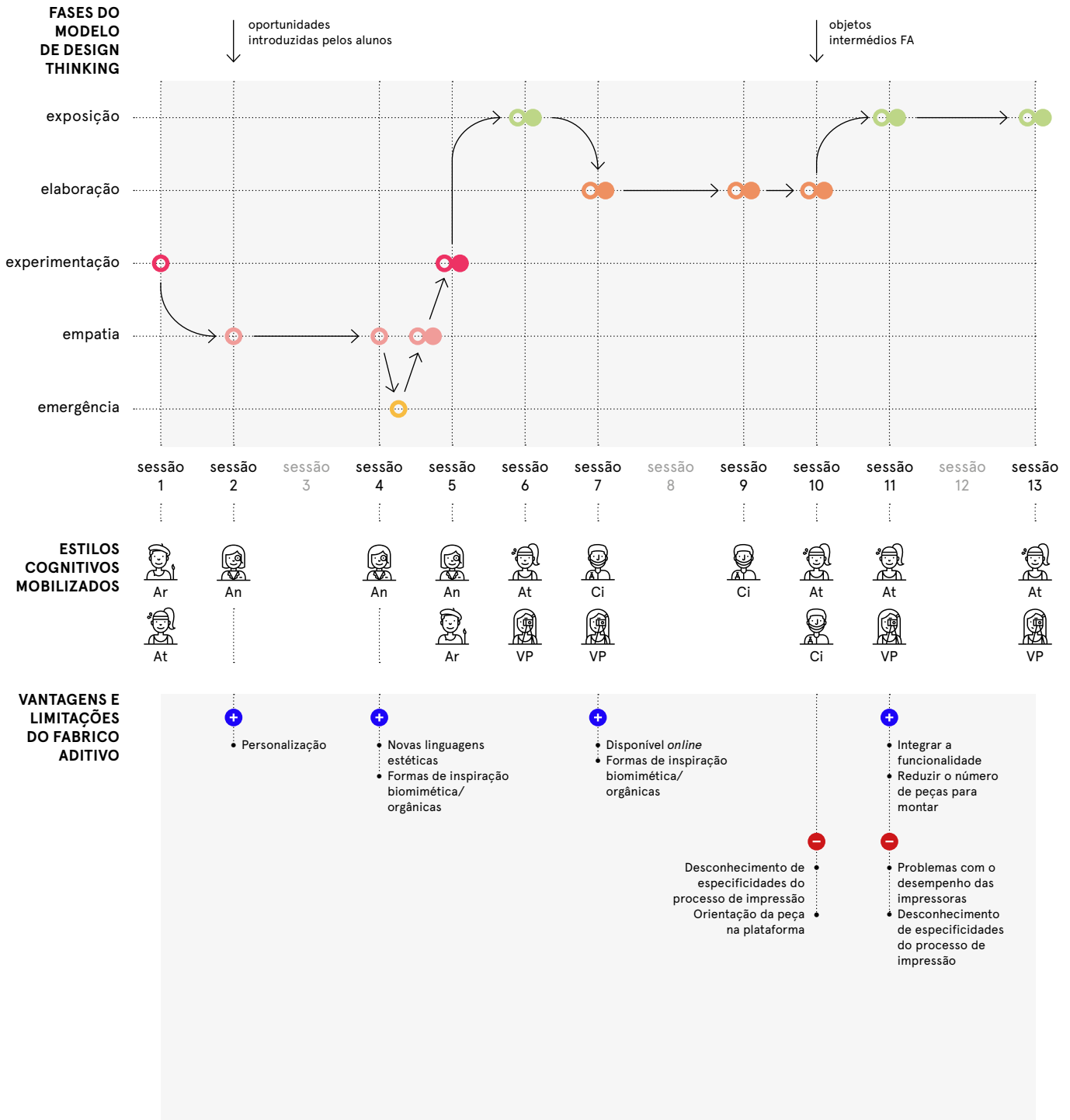


Figura 9.12 Diagrama processual do Grupo 12

De um modo geral, os grupos iniciaram o projeto a partir da análise dos três pressupostos propostos pelos docentes, Corpo, Natureza e tecnologia de fabrico 3DP. Alguns procuraram definir cada um dos pressupostos isoladamente, outros procuraram estabelecer relações entre eles, e outros encontrar pontos de contacto entre as três premissas. Para além do conforto e segurança associado ao corpo, da inspiração na Natureza e da tecnologia de fabrico aditivo, pressupostos que deveriam cumprir, foi atribuído a cada grupo um determinado público-alvo delimitado pela faixa etária. As informações facultadas pelos docentes no *project brief* aberto permitiram que os estudantes encarassem o projeto de três formas diferentes. Grupos como o 3 e o 11 iniciaram o seu processo criativo pela caracterização do público-alvo: conhecer as atividades, gostos e dificuldades à procura de uma oportunidade para dar resposta através do design. O Grupo 8 também procurou emergir dentro do contexto, mas no seu caso da Natureza, na procura de soluções funcionais da Natureza que pudessem importar para o seu projeto. O Grupo 1 focou-se na tecnologia e identificou a Personalização como uma das vantagens a incluir no seu produto. Pode-se dizer que uns iniciaram o projeto pela fase da Empatia (E2) e outros pela Emergência (E1), o que estará relacionado, em parte, com o facto de o *project brief* ter sido parcialmente avançado pelos docentes.

A importância de conhecer bem o contexto dos três pressupostos foi salientada várias vezes pela equipa de docentes no sentido de se conseguir estabelecer ligações entre eles. Por isso, os docentes incentivaram os estudantes a irem conhecer o seu público-alvo, a envolverem-se no seus contextos, a conhecerem as rotinas, as dificuldades, e a estarem atentos às oportunidades que poderiam surgir das conversas informais, das entrevistas ou da observação direta em contexto durante as atividades diárias, semanais ou esporádicas. Para além disso foram também sugerindo pistas relacionadas com as potencialidades únicas do fabrico, como a personalização, a customização ou as geometrias complexas, para incentivar os alunos ao questionamento sobre essas possibilidades e à inclusão das mesmas nos produtos a desenvolver. Nos diagramas processuais, é possível verificar no caso dos grupos 4 e 6 que a maioria das vantagens de FA são inicialmente referidas pelos docentes para incentivar, cativar e motivar o aluno para o projeto. Em ambos os grupos, apenas na sessão/aula n.º 8 surge a indicação das “oportunidades/vantagens do FA referidas pelos alunos”. A introdução tardia de um pensamento para o processo de fabrico aditivo poderá ter resultado em produtos pouco inovadores, facilmente produzidos por uma tecnologia convencional (Grupo 6), ou uma reação tardia por parte do estudantes que inviabilizou a materialização de um artefacto próximo de um produto final (Grupo 4).

Para conhecer os diferentes contextos e atividades diárias relacionadas com o público-alvo mobilizaram o estilo cognitivo mais empático, o EC

Antropólogo, no entanto, esporadicamente descreviam o que faltava fazer e intenções futuras (Viajante Profissional):

Procurámos englobar tudo o que envolvia as crianças, todas as suas atitudes e comportamentos para perceber o que poderíamos fazer para ajudar e desenvolver um produto útil para elas. (...) O nosso próximo passo será conversar com os adultos para perceber (...) as preocupações que têm com as crianças. (estudante)

Nas interações semanais, os docentes referiram a questão do fabrico aditivo durante todo o processo, mostrando aos estudantes de que forma as potencialidades do FA poderiam contribuir para um produto criativo e inovador.

No decurso do projeto, o pressuposto do FA foi sendo referido pelos estudantes e pelos docentes. A pergunta colocada pelos docentes: “Como pode a tecnologia de fabrico aditivo resolver esse problema?”, forçava os estudantes a refletirem sobre as potencialidades, e surgiram respostas como: “pela customização”, “pela possibilidade de produzir uma única peça”, “pela liberdade formal que possibilita ao designer,” e “pela vantagem de poder enviar o ficheiro para o outro lado do mundo”. Nem todos os grupos encararam, ou se motivaram com, a tecnologia da mesma forma, e isso é observável na sessão onde as vantagens/oportunidades do FA para o design foram introduzidas pelos alunos pela primeira vez durante o projeto. O Grupo 1, que tal como já foi referido anteriormente, evidenciou um maior conhecimento em relação à tecnologia, centrou-se na tecnologia e nas suas potencialidade. Outros grupos, como o 3 ou o 6, preocuparam-se primeiro em caracterizar o público-alvo, encontrar uma oportunidade, definir requisitos e só depois explorar a tecnologia mediante o propósito e as características necessárias identificadas para o produto.

Nas primeiras sessões, os grupos foram mostrando projetos bastante válidos, os quais, no entendimento da investigadora, poderiam beneficiar bastante com as tecnologias de fabrico aditivo, e à medida que as sessões foram avançando, a premissa do 3DP foi sendo cada vez mais referida. A partir da análise dos gráficos, depreende-se a afluência com que as vantagens e limitações da tecnologia foram surgindo em cada grupo e em que fase. Em alguns grupos, tais como os Grupos 4 e 7, os tópicos associados ao fabrico aditivo surgiam primeiramente nas verbalizações dos docentes.

Na sessão n.º 6 decorreu a apresentação intermédia, onde os estudantes deveriam ter já apresentado um “caminho”, e assinalado também as vantagens do FA para a ideia de um *Projet Brief*, que, nesta fase, já deveria estar fechado.

Na apresentação da próxima semana terão de ter já um caminho (...) Apresentar também a questão do 3DP... isto vai ser assim e vai resolver o problema desta forma; têm que explicar dentro deste contexto o vosso produto.

Partiu-se do princípio de que os estudantes analisaram o trabalho que tinham realizado até à data, selecionaram o que consideraram mais relevante e a destacar, mediante as sugestões dos docentes, sintetizando as informações numa apresentação de 10 minutos. Por isso, os EC mobilizados predominantes apontam para o Viajante Profissional quando, de forma retrospectiva, analisaram o trabalho realizado até à data, e Atleta, quando escolheram a informação relevante a comunicar. Pode-se dizer que o processo de seleção de conteúdos é ligeiramente mediado pelos docentes, na medida em que foram estes que indicaram que tipo de informação os estudantes deveriam colocar. Como seria expectável, nem todos os projetos se encontravam na mesma fase, tendo alguns deles de recuar, pois, na opinião dos docentes, aquele não era o caminho:

Eu ainda não entendi... já pesquisaram o que há no mercado? (...)
Diria que vocês têm que refletir muito mais sobre isto, ainda não é claro o que é que é diferenciador no vosso produto, em relação ao que já existe... essa diferenciação (...) pelas oportunidades que o 3DP oferece. (docente)

Isto verificou-se, por exemplo, no caso dos grupos 2, 4 e 7, em que na sessão n.º 7 houve um “retrocesso” para a fase da Empatia, ou no caso do Grupo 7, mesmo para a Emergência. A apresentação intermédia funcionou como um ponto de situação do projeto que validou as escolhas dos estudantes até à data. Na sessão seguinte à apresentação foram evidentes os avanços e recuos inerentes a um processo de design iterativo, e apesar de serem relativizados pelos docentes e até “assegurados” como “um passo atrás para avançar”, foram encarados pelos estudantes com alguma ansiedade. Uma reação que resulta da dificuldade dos estudantes em lidar com a “incerteza” de não ter ainda um caminho definido.

No decurso do projeto, e dependendo de vários fatores, os grupos foram-se posicionando nas diferentes fases do modelo. Os diferentes estados dos projetos exigiram que o discurso dos docentes se adaptasse à realidade de cada grupo no sentido de os motivar e de os ajudar a fazer avançar o projeto. Em alguns casos, houve uma maior insistência dos docentes para os estudantes aprofundarem o seu conhecimento ao nível do FA de forma a conseguirem cruzar as suas ideias e inspirações que tiveram a partir do conhecimento do público-alvo, das suas dificuldades e potenciais problemas a resolver. Em outros grupos, como o Grupo 5, procuraram incentivar à inspiração

biomimética e à transposição das características funcionais da Natureza para o produto afim de conseguirem gerar conceitos inovadores impossíveis de reproduzir pelos processos de fabrico convencionais.

Pelos diagramas, é possível verificar o tempo dedicado à fase da Experimentação (E3). Nesta fase é suposto os estudantes, a partir da lista requisitos, comecem a gerar conceitos. As listas de requisitos elaboradas pelos estudantes referem questões relacionadas com a funcionalidade do produto, que se subdividem em categorias como Obrigatórios, como “O produto é seguro”; Unidimensionais, como “O produto é ergonómico”; e Atrativos, como “O produto tem aspeto apelativo”. Os requisitos são na sua maioria vagos e não referem as oportunidades do fabrico aditivo, nem as limitações que a tecnologia impõe. Pela observação dos Diagramas, os grupos dedicaram em média uma a duas semanas à fase da Experimentação. Nesta fase, é esperado que os estudantes mobilizem o EC do Artista (imaginativo) para gerarem uma “grande” quantidade de ideias, no entanto apresentaram dificuldades, ficando muitas vezes “presos” ao primeiro conceito que parece conseguir dar resposta ao problema de design.

Na opinião da investigadora, esta dificuldade não está relacionada com a tecnologia de fabrico aditivo, inserida neste projeto como condição, mas com a dificuldade de os estudantes gerarem uma “grande” quantidade de ideias num curto espaço de tempo. Esta é também a perceção da investigadora enquanto docente em projeto onde o FA não esteve envolvido e foram observadas as mesmas dificuldades. Salienta-se que não se trata de um resultado do estudo, mas uma perceção alicerçada na experiência profissional, corroborada através de conversas informais com os docentes da UC.

Apesar de a pesquisa de imagens e outros objetos/produtos evidenciarem a complexidade da Natureza que os estudantes recolheram na fase da Empatia, o contributo que a liberdade formal atribuída à TFA poderia ter dado na fase mais exploratória da forma não se verificou para a maioria dos estudantes da turma.

Os estudantes atualizavam semanalmente o *moodboard* com o trabalho realizado. Algumas ideias apresentadas e discutidas com os docentes necessitavam, por vezes, de mais trabalho e dedicação para poderem avançar, o que significava um recuo no projeto, normalmente para a fase da Empatia. Os recuos, visíveis nos Diagramas, resultaram na sua maioria, das questões pertinentes colocadas pelos docentes, às quais os estudantes tinham dificuldade em responder ou nem sequer tinham pensado. Uma pergunta recorrente recaía sobre a TFA, e de que forma esta poderiam ser um contributo para o produto. Mesmo assim, os estudantes procuraram explorar novas ideias através do desenho manual, algumas formas complexas de inspiração na Natureza como o pão idealizado pelo Grupo 5, ou a possibilidade de colocar material apenas onde é necessário e criar um padrão no produto, como a

pulseira do Grupo 3. A fase da geração de ideias foi rapidamente ultrapassada para uma fase de detalhe e refinamento do produto, denominada no modelo de Elaboração (E4). O “desejo” de rapidamente “fechar” a solução para fazer avançar o projeto, aliado a uma calendarização estabelecida pelos docentes (previstas 3 sessões), poderá ter influenciado a duração da fase da Experimentação.

Para poder usar a tecnologia de FA é necessário possuir um ficheiro CAD, por isso os estudantes, a partir do momento em que selecionaram um conceito final, recorreram aos *softwares* disponíveis para modelar e detalhar o conceito. Os estudantes recorreram ao *SolidWorks*, um *software* com o qual estão familiarizados devido às UC de Modelação I e II nos anos transatos. Novamente, a calendarização do projeto e a vontade de alcançar resultados poderão ter conduzido alguns grupos a avançar precocemente para o modelo 3D:

Antes de passarem para o 3D têm que ter já uma coisa muito bem definida no papel e o que eu vejo é que nada está definido no papel... não vão passar já para o 3D porque senão depois quem vai estar a modelar o vosso produto é o *SolidWorks*, não são vocês... Vocês têm de controlar o *software*. (docente)

Temos de controlar primeiro o desenho... Vocês não têm o desenho ainda controlado, e vocês não se devem deixar levar pelo *software*... (docente)

Em alguns casos, como nos Grupos 2 e 11, os professores incentivaram a construção de uma maquetização menos fidedigna através de *mock-ups* em papel ou cartão, antes da passagem para o CAD.

Estou a dizer para vocês procurarem uma solução mais rápida do que o 3D. O processo para chegar a uma ideia pode ser um papel ou cartão (...). algo sem grande refinamento, mas que já permite perceber a escala, a proporção, uma série de coisas que não conseguem ver pelo desenho... (docente)

Em outras situações, como no caso do Grupo 3, que rapidamente definiu o conceito final (sessão n.º 5), os docentes sugeriram que avançassem para a modelação em *SolidWorks*, de forma a conseguirem tomar decisões fundamentadas em questões relacionadas com o funcionamento dos produtos e eliminarem a subjetividade permitida pelos desenhos.

Se já tiverem o ficheiro 3D, (...) podem imprimir à escala, acho que seria ainda mais interessante. Na parte do desenvolvimento para rapidamente perceber a escala. (docente)

Nas intervenções, os docentes destacaram a importância de poderem materializar o conceito, testar e refinar um produto que será depois um produto final. Neste caso, a tecnologia que permite prototipar é também a mesma tecnologia que irá produzir o produto final. Da observação do esquema, os grupos que dedicaram mais tempo à fase da Elaboração (E4) conseguiram concretizar o produto no final.

A partir da sessão n.º 7, os grupos com o conceito selecionado e com a modelação desenvolvida, começaram a utilizar as impressoras FFF de livre acesso para prototipar objetos tangíveis que permitiram esclarecer ou suscitar mais dúvidas junto dos docentes. Da motivação para usar a tecnologia, do fácil acesso às impressoras FFF e da vontade em materializar algo para mostrar, resultou num conjunto de modelos e protótipos que serviram para os alunos discutirem o projeto junto dos docentes, mas principalmente para aprenderem por tentativa e erro, através da manipulação dos equipamentos de forma autónoma. Uma tentativa e erro que se revelou em alguns casos desesperante para os alunos. Os problemas relacionados com os protótipos impressos foram sendo reportados nas aulas, onde se discutiram propostas de melhoria e possíveis soluções para a concretização ou otimização da peça.

A ausência de conhecimentos técnicos relacionados com a tecnologia dificultou a interpretação dos erros que foram surgindo na fase da impressão, e a forma de os solucionar para minimizar as falhas visíveis no protótipo. No contexto educativo, o pouco domínio sobre a tecnologia poderá ter causado frustração nos estudantes, devido às dificuldades em resolver erros sistémicos e o receio de experimentar correndo o risco de demorar tempo a imprimir e, após horas de espera, a peça ficar incompleta ou com defeitos visíveis. É um conjunto de fatores que poderão inibir os estudantes na exploração de formas inovadoras e disruptivas, procurando arriscar pouco mas garantindo a exequibilidade do projeto. A motivação intrínseca que surge ao início, perante a possibilidade de materializar o “seu” produto, esmorece diante das barreiras, problemas técnicos e limitações ao nível dos conhecimentos para encontrar soluções otimizadas para o produto impresso por FA. No entanto, o estudo parece indicar que os estudantes com alguma experiência de utilização se sentem motivados para o voltar a fazer e arriscar a exploração de geometrias (mais) complexas.

As tentativas de resolução dos problemas relacionados com a impressão que ocorreram durante a fase da Elaboração contribuíram, na perspetiva da investigadora, para um melhor entendimento sobre o processo de fabrico utilizado (neste caso o FFF). A compreensão das questões técnicas, como a espessura mínima das paredes ou o diâmetro mínimo de furos, resultaram da interação dos estudantes com o equipamento, reforçando as vantagens de permitir aos estudantes a manipulação autónoma das impressoras, mesmo

que de baixa precisão. O fácil acesso a estas tecnologias por parte dos alunos acelerou o processo e obrigou a decisões mais rápidas, mas também mais conscientes.

Relativamente aos estilos cognitivos mobilizados pelos estudantes durante o projeto, alguns foram mais fáceis de identificar nas transcrições do que outros. O EC Antropólogo foi evidente, tendo em conta as técnicas/instrumentos a que é suposto recorrer nessa fase. Quanto ao EC Atleta, foi mobilizado por todos os grupos no decurso do projeto, e apesar de os estudantes se mostrarem focados e motivados para o projeto, nem sempre conseguiram distinguir o essencial do acessório, tendo os docentes de os chamar a atenção:

Não é por aí, isto aqui é que tem de estar bem... e ainda não está. (docente 1)
O que eu disse foi exatamente isso, trabalhar com este e depois se tivessem tempo desenvolviam o sistema... O vosso foco é o pião. (docente 2)
Vamos organizar as ideias... (docente 1)
Sim, é melhor. (estudante)

O projeto de design para FA proposto apresentou um *project brief* aberto, no qual foram estabelecida três premissas: Corpo, Natureza e 3DP (Fabrico Aditivo). A existência de três “focos” poderá ter contribuído para a dispersão do estudantes, a partir do momento em que tiveram dificuldades em conciliar os três pressupostos no artefacto final.

A insegurança nas decisões tomadas está patente em algumas situações em que os alunos aguardavam a validação do docente para avançar o projeto, ou tomavam uma decisão com base nos comentários do docente.

O professor acha que essa parte é mais interessante? (estudante)
Estamos no bom caminho? (estudante)

As tomadas de decisão quando não existem “critérios” e ocorrem com base na intuição estão relacionadas com o EC do Cirurgião. Ao longo do projeto, todos os grupos mobilizaram o EC do Cirurgião, no sentido em que executaram tarefas, nomeadamente as técnicas sugeridas pelo docente responsável da UC, para atingir os objetivos. No caso do Grupo 1, cujos estudantes possuíam conhecimento prévio, as decisões foram tomadas de acordo com a experiência prática adquirida anteriormente, algo relacionado com o EC Cirurgião.

Apesar de não terem sido considerados para o diagrama processual, os docentes mobilizaram frequentemente o EC Juiz quando avaliaram semanalmente as ideias apresentadas pelos estudantes. No caso dos estudantes, sempre que recorreram a instrumentos como o *Concept Screening* ou *Concept Scoring*, decidiram em função de critérios previamente definidos para o projeto. Embora não tenham um carácter obrigatório, os instrumentos foram

utilizados, referidos nas transcrições e apresentados nos *moodboards* pelos grupos 3, 5 e 8.

Note-se que no diagrama estão representados apenas os dois EC predominantes na sessão. A partir das verbalizações é possível encontrar referências a outros EC mobilizados, como, por exemplo, o EC de Viajante Profissional, quando os estudantes referem preocupações com os prazos de entrega e apontam pontualmente as tarefas seguintes.

As circunstâncias em que foram realizados os registos áudio na intervenção de PDP II poderão também ter condicionado os estilos cognitivos identificados àquela data nas verbalizações. Os estudantes fizeram semanalmente um ponto de situação do projeto, onde selecionaram o trabalho realizado naquela semana e o que consideraram mais relevante a comunicar aos docentes (EC Atleta), e de seguida aguardaram os comentários, as validações e as sugestões dos docentes. Pontualmente referiram as etapas seguintes (Viajante profissional) e discutiram possíveis soluções com os docentes. Nas interações com os docentes, alguns estudantes adotaram uma postura mais passiva e expectante, o que pode ser confirmado pelo número de verbalizações recolhidas nas transcrições.

Na sessão 11 foi realizada uma pré-apresentação com o objetivo de preparar os estudantes para a apresentação final (sessão n.º 13) marcada para a época de exames. Teve como objetivo fazer um ponto de situação sobre cada trabalho, identificar falhas na comunicação dos projetos, dar a conhecer aos colegas o trabalho desenvolvido e afinar detalhes no produto. No final de cada apresentação de 10 minutos, os docentes pronunciaram os seus comentários sobre o estado atual do projeto, o que ainda falta afinar no produto e algumas considerações a terem para a apresentação final.

Na últimas semanas os grupos recorreram com frequência aos docentes fora do contexto de sala de aula para tirar dúvidas ou então enviaram ficheiros por correio eletrónico para receberem opiniões, comentários e sugestões relacionadas com os projetos em curso. Nestas ocasiões, a investigadora não esteve presente, tendo conhecimento apenas na sessão seguinte que o projeto tinha sofrido alterações, que para os docentes eram conhecidas, mas que a investigadora ignorava. O que pode significar que houve uma parte do projeto na fase final onde se podem ter perdido dados potencialmente significativos para a investigação.

9.2 Análise dos artefactos resultantes do estudo de caso

Para dar resposta à questão de investigação, na perspetiva fenomenológica, foram analisados alguns dos artefactos do estudo de caso (PDP II). Os artefactos resultantes foram avaliados em sessões com especialistas de diferentes áreas, através da matriz desenhada no contexto da investigação.

As sessões tiveram como objetivo principal o preenchimento da matriz de avaliação de artefactos descrita na secção 6.6.2. A matriz apresentada resultou de um processo de sistematização e clarificação das potencialidades do FA, no sentido de facilitar o entendimento de uma linguagem mais técnica da parte dos participantes sem experiência em FA. É semelhante a uma matriz de seleção de conceitos utilizada frequentemente nos projetos de desenvolvimento de produto para selecionar o conceito/produto que cumpre uma maior número de requisitos identificados (Milton & Rodgers, 2013). As sessões realizaram-se de forma faseada com dois participantes por sessão.



Figura 9.13
Sessão para preenchimento
da matriz de avaliação

A primeira sessão realizou-se com uma investigadora da área de Engenharia de Materiais com formação em Design de Produto (participante 1) e um docente da área da Engenharia Mecânica (participante 2) com experiência em FA (Figura 9.13). Na sessão seguinte, estiveram presentes dois investigadores da área dos Materiais e FA, um deles com formação em Química (participante 3) e o outro da área dos Materiais (participante 4). Na terceira e última sessão, a avaliação foi feita por um docente da área do Design (participante 5) sem experiência em FA e por uma investigadora com formação em Materiais (participante 6) que integra uma equipa multidisciplinar para o desenvolvimento de filamentos compósitos para fabrico aditivo. Os participantes da área do Design e da Engenharia Mecânica possuem também uma experiência significativa na avaliação dos conceitos dos estudantes em UC de Projetos dos cursos de Design de Produto. O Quadro 9.4 apresenta a caracterização da amostra com a área de formação e investigação dos participantes.

Nas sessões não foi realizado o registo áudio, pois a recolha de dados foi feita através do preenchimento da matriz. A investigadora informou os participantes que poderiam colocar as questões que entendessem para esclarecimento de dúvidas.

Quadro 9.4 Caracterização dos participantes segundo a sua área de formação e investigação

Participantes	Caracterização da amostra	Área de investigação
1	Investigadora com formação em Design de Produto	Engenharia dos Materiais para Fabrico Aditivo
2	Docente	Engenharia Mecânica
3	Investigadora com formação em Química	Engenharia dos Materiais para Fabrico Aditivo
4	Investigador com formação em Engenharia dos Materiais	Engenharia dos Materiais para Fabrico Aditivo
5	Docente com formação em Design	Design
6	Investigadora com formação em Materiais	Engenharia dos Materiais para Fabrico Aditivo

No início de cada sessão, com os artefactos a avaliar expostos, a investigadora explicou aos participantes os objetivos da sessão e descreveu os artefactos, referindo o contexto onde tinham sido realizados (académico, alunos de uma UC de ensino e aprendizagem por projeto) e a sua finalidade. A investigadora referiu também o pressuposto do *project brief* proposto pelos docentes: “Construção com base em tecnologias de fabrico aditivo disponíveis na ESAN”. Com vista à familiarização dos participantes com a matriz de avaliação, a investigadora explicou o modo de preenchimento da matriz e, sucintamente, cada um dos tópicos da matriz. Todas as sessões tiveram os mesmos procedimentos e duraram entre 20 e 30 minutos aproximadamente.


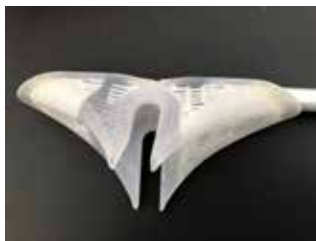
Quadro 9.5 Correspondência entre os atributos do produto e respetivas complexidades

Complexidade	Formal	Funcional	Hierárquica	Material
Atributos do produto	<ul style="list-style-type: none"> · explora formas inovadoras? · tem formas de aparência orgânica? · é customizável/personalizável? 	<ul style="list-style-type: none"> · tem componentes incorporados · tem funções integradas? · tem mecanismos incorporados? 	<ul style="list-style-type: none"> · tem deposição do material otimizada? · usa <i>lattice</i> para reduzir o peso? · usa <i>lattice</i> para melhorar o desempenho do produto? 	<ul style="list-style-type: none"> · é multimaterial para conseguir funcionalidade? · usa múltiplos materiais para ter diferentes propriedades? · dispensa a pós-produção?

A matriz de avaliação dos artefactos (Anexo 6) listava um conjunto de atributos associados ao FA, distribuídos pelas respetivas complexidades (Quadro 9.5). Para avaliar cada atributo do produto foi inserida na matriz uma escala de 0 a 3, sendo atribuída a seguinte codificação: 0 = desconheço; 1 = uso pouco eficiente; 2 = uso eficiente; e 3 = uso altamente eficiente.

Para ajudar na identificação dos artefactos, ao lado da matriz foram colocadas as imagens dos produtos em contexto de uso, com as respetivas identificações: estudo de caso, artefacto A (EC. A); e estudo de caso, artefacto B (EC. B). O Quadro 9.6 identifica os artefactos e a codificação atribuída.

Quadro 9.6 Artefactos resultantes do estudo de caso

EC. A	III / Projeto e Desenvolvimento de Produto · ESAN	Pulseira para <i>kit</i> de ajudas técnicas para seniores Impresso em TPU/ <i>Robocasting</i>	
EC. B	III / Projeto e Desenvolvimento de Produto · ESAN	Peça Linha de mobiliário DIY Impresso em resina/ <i>Material jetting</i>	



Os dados recolhidos foram analisados a partir do preenchimento da matriz pelos participantes. O Quadro 9.7 apresenta o somatório dos valores obtidos pelos artefactos do estudo de caso.

Quadro 9.7 Valores relativos à complexidades atribuídos aos artefactos do estudo de caso

artefacto	Complexidade formal	Complexidade funcional	Complexidade hierárquica	Complexidade material
EC. Artefacto A	40	27	22	23
EC. Artefacto B	47	21	23	19

Embora não sejam diretamente comparáveis por terem sido desenvolvidos em contextos diferentes, uma vez que apenas dois artefactos resultantes do estudo de caso respeitavam o critério de estarem “quase” finalizados até ao ponto de uma impressão “final”, optou-se por incluir nesta parte do estudo também os dois artefactos resultantes do estudo prévio II, de modo a fornecer aos participantes do preenchimento da matriz um contexto de análise mais rico, o que permitiu estimular o diálogo entre os participantes e a investigadora. O Quadro 9.8 apresenta a codificação dos artefactos do estudo prévio, EP artefacto A e EP artefacto B. Os dados referentes a esses dois artefactos estão presentes nos Gráficos 9.1 e 9.2, em pontilhado.

Quadro 9.8 Artefactos resultantes do estudo prévio II

Artefactos Resultantes	Origem/contexto	Breve descrição do produto
<p>EP. A Estudo prévio artefacto A</p>	<p>II / Projeto em Design DeCA</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Peça lateral do sistema de rolo a utilizar nas aulas de desenho · Impressas em PLA /FFF
		
<p>EP. B Estudo prévio artefacto B</p>	<p>II / Projeto em Design DeCA</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Peça para sistema de estanteria · Impressa em PLA /FFF
		

O Quadro 9.9 apresenta o somatório dos valores obtidos pelos artefactos do estudo prévio em cada uma das complexidades. Através do Gráfico 9.1 é observável que os artefactos resultantes do estudo prévio tiveram dificuldade em explorar as diferentes complexidades. Após a finalização do preenchimento da matriz, estabeleceu-se um diálogo entre os participantes e a investigadora com comentários e sugestões sobre os artefactos:

Esta peça tem uma abordagem interessante, que é de utilizar algoritmos de otimização topográfica para o desenho das peças, que eles tentaram mas parece-me que não conseguiram bem... mas pelo menos tentaram! (participante 2 sobre o EC artefacto B)

Quadro 9.9

Valores das complexidades atribuídos aos artefactos do estudo prévio II

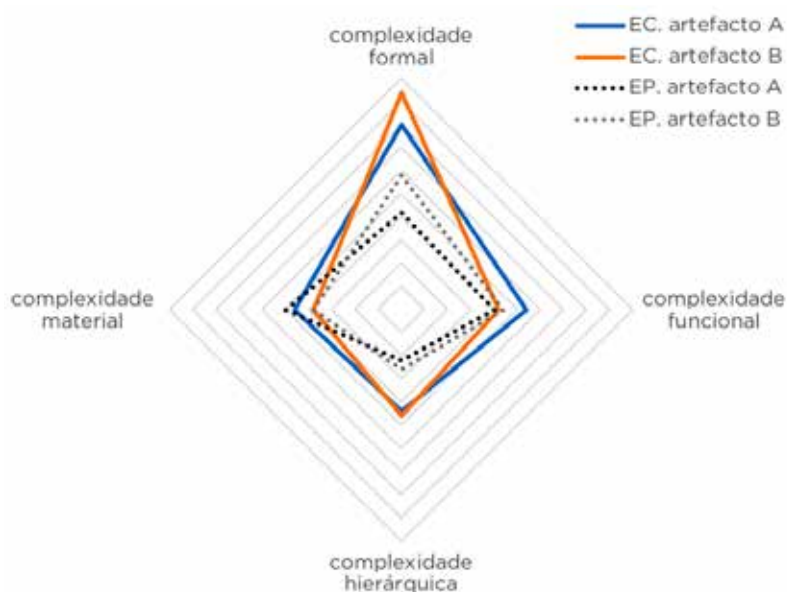
artefacto	Complexidade formal	Complexidade funcional	Complexidade hierárquica	Complexidade material
EP artefacto A	21	20	11	25
EP artefacto B	29	22	13	19

Relativamente ao EC artefacto A, foram também referidas algumas sugestões relacionadas com uma possível customização pela escolha de material e pela edição do ficheiro STL, se estivesse disponível *online*. As variações da geometria do produto para “adaptar aos diâmetros dos dedos” e na quantidade de material depositado poderiam atribuir diferentes propriedades ao longo do artefacto para o tornar “mais duro ou mais macio”:

Este poderia ser personalizável pelo material. (...) poderia ser facilmente personalizável, ao adaptar os diâmetros dos dedos, a adaptar espessuras das paredes para ser mais duro ou mais macio, adaptar a escolha do material para ser mais rígido ou mais flexível. (participante 2 em relação ao EC artefacto A)

Gráfico 9.1

Distribuição dos valores das complexidades atribuídos a cada artefacto (estudo de caso e estudo prévio II)



Dos dois artefactos analisados, o valor que mais se destaca está relacionado com a complexidade formal. Apesar de não ter sido muito desenvolvida, das quatro complexidades foi a única que exploraram. Quanto às restantes três, complexidade material, hierárquica e funcional, os valores obtidos foram muito semelhantes em ambos os protótipos. Relativamente ao material, como os protótipos são monomateriais, os alunos não tiraram partido da multimaterialidade para obterem diferentes propriedades ao longo do produto. Quanto à hierárquica relacionada com a deposição do material e a otimização topológica, poderia estar mais evidente se tivessem usado um *software* de otimização topológica para garantir essa vantagem.

Na sessão de análise dos artefactos resultantes do estudo prévio foram referidas questões sobre o produto ser customizável. Apesar de os conceitos customização/personalizável serem claros, surgiram dúvidas relacionadas com possibilidade de customizar/personalizar, pois seria possível de customizar através de uma plataforma disponível *online*, que permitisse o ajuste das medidas dos artefactos ou “customizar” o ficheiro depois de o descarregar através de um *software* próprio. Dessa forma, o produto poderia ser customizado ou personalizável, e por isso, a decisão do participante 2 para o artefacto A do estudo prévio II, caiu na opção 0 = desconheço. No entanto refere:

Imprimir esta forma por fabrico aditivo só faria sentido se desse para rapidamente afinar o diâmetro e poder usar por exemplo um tubo que já tivéssemos sem estar a ser utilizado (...) Ou a peça ser desenhada para (...) conseguir adaptar-se a tubos de vários diâmetros, uma espécie de obturador. E essa customização estava feita na peça e não no ficheiro, e assim dava para ver. (participante 2 sobre o EP artefacto A)

Os artefactos foram também avaliados pelos participantes quanto à: originalidade, atratividade estética, concretização do propósito, aproveitamento da tecnologia do FA e viabilidade de ser produzido pelos processos de fabrico convencionais.

Gráfico 9.2

Distribuição dos valores quanto à originalidade, atratividade estética, finalidade e aproveitamento da tecnologia



A partir do Gráfico 9.2 é possível ver que o EC artefacto B foi o que os participantes consideraram mais original, mais apelativo esteticamente e o que conseguiu tirar um melhor partido das tecnologia. No entanto, quanto à originalidade, os participantes consideraram que nenhum era realmente original, alguns poderiam ser originais na forma estética, mas não na funcionalidade, referindo que os artefactos EC artefacto B e EP artefacto B serviam o mesmo propósito de assemblar peças já existentes.

Em relação à possibilidade de serem reproduzidos pelos processos de fabrico convencionais, foi pedido que tivessem em consideração o custo necessário para a produção da peça, caso tivesse de ser fabricado um molde, por exemplo. Foi referido por um dos participantes:

Na maioria das peças que estão aqui não há nada que esteja muito longe de peças de fabrico convencional... (participante 2 da sessão 1 em relação ao artefactos no geral)

No entanto, a opinião unânime dos participantes sobre o EC artefacto B foi (n.º de respostas = 6) que dificilmente seria reproduzido por um processo de fabrico convencional.

9.3 Perceções dos estudantes

Na secção 9.1 foram analisados e sistematizados os dados relativos ao processo metodológico e cognitivo dos estudantes durante um projeto de design para fabrico aditivo. Os dados foram recolhidos através do registo áudio, posteriormente transcrito das interações semanais entre docentes e estudantes. Contudo, a análise dos dados das verbalizações resultou da perceção da investigadora, que durante a intervenção foi também observadora participante, acompanhando todos os projetos do início ao fim.

Com vista à triangulação dos resultados, procedeu-se à recolha das perceções dos estudantes através de uma ficha de recolha de dados. A ficha aplicada teve como objetivo recolher as perceções dos estudantes quanto à metodologia de projeto que adotaram e como entenderam o seu processo cognitivo ao longo da prática projetual no contexto do desenho de produtos para a TFA. Nesta secção sintetizam-se os resultados da auscultação aos estudantes da intervenção na UC de PDP II.

As fichas de recolha de dados (Anexo 1) foram preenchidas pelos estudantes individualmente, em contexto de sala de aula em dois momentos no decurso do projeto. A ficha de recolha de dados (fase 1) foi preenchida durante a sessão n.º 4 pelos 22 estudantes presentes na aula. Na sessão n.º 13, a última sessão do projeto destinada às apresentações finais, foi preenchida novamente a ficha de recolha de dados. Estiveram presentes os 25 alunos, pois não houve desistências ao longo do semestre, no entanto, 2 alunos não entregaram a ficha no final, obtendo-se assim 23 respostas. Das fichas recolhidas em ambas as sessões, foram retiradas as correspondentes aos grupos 9 e 10, excluídas da análise, o que reduziu o número de fichas analisadas, como mostra o Quadro 9.10.

Quadro 9.10 Sessões destinadas ao preenchimento das fichas e número de fichas recolhidas e analisadas

Sessão de trabalho/aula	Atividade realizada durante a aula	n.º de fichas recolhidas	n.º de fichas analisadas
4	Acompanhamento do projeto por parte dos docentes	22	18
13	Apresentação final do projeto	23	19

A ficha de recolha de dados, constituída por 4 partes, foi desenhada para auscultar os estudantes durante o processo em curso, mas principalmente no final do projeto. Cada parte (A, B, C e D) foi delineada de acordo com um objetivo:

- A: identificar as fases do modelo E.6² (Emergência, Empatia, Experimentação, Elaboração, Exposição e Evolução) e as respetivas subfases (Exploração e Avaliação) já percorridas;
- B: identificar os *mindsets* mobilizados durante as primeiras 4 sessões/aulas e no final do projeto;
- C: identificar as vantagens e limitações do fabrico aditivo para o projeto a desenvolver;
- D: avaliar o conhecimento dos alunos sobre o FA.

Atendendo a que os projetos em contexto académico raramente atingem a fase final do modelo E.6² Extensão, que visa a implementação do produto em contexto de uso, para uma proposta de melhoria, optou-se por não incluir esta fase do modelo nos dados a recolher junto dos alunos.

A parte A da ficha pretendeu recolher dados referentes à metodologia projetual (componente praxiológica) e auscultar as percepções dos grupos sobre o seu processo no decurso do projeto. Tendo em conta que os estudantes desconhecem o modelo E.6², a investigadora formulou uma lista de frases com tarefas expectáveis para terem correspondência direta com as respetivas fases e subfases do modelo identificadas no Quadro 9.11. A lista de tarefas apresentada resultante foi inserida numa tabela, seguida de mais duas colunas, coluna 1 e coluna 2. Na coluna 1, os estudantes identificaram as tarefas realizadas até à data, e na coluna dois numeraram de forma sequencial, a começar no número um, as tarefas que realizaram. A investigadora salientou ao entregar a ficha que, devido à iteratividade do processo de design, poderiam ter a necessidade de realizar a mesma tarefa ao longo do projeto.

Quadro 9.11 Quadro da correspondência entre as tarefas e as fases e subfases do modelo E.6²

fase	Subfase	Tarefas
E1	Exploração	A partir do <i>project brief</i> proposto pelos docentes explorou diferentes oportunidades/ problemas que necessitem da intervenção do design
E1	Escolha	Identificou/selecionou uma oportunidade/problema perante as possibilidades exploradas
E2	Exploração	Recolheu as necessidades a partir de informação recolhida junto do público-alvo (entrevistas, observação direta) e a partir de produtos similares
E2	Escolha	Transformou as necessidades em requisitos do produto
E3	Exploração	Gerou uma grande quantidade de ideias
E3	Escolha	Avaliou as ideias geradas e selecionou o conceito que irá desenvolver
E4	Exploração	Melhorou e detalhou o conceito final
E4	Escolha	Experimentou e testou o conceito final (<i>mock-ups</i> , protótipos) e melhorou-o
E5	Exploração	Explorou diferentes estratégias (<i>storytelling</i> , protótipos) para melhor comunicar o seu projeto
E5	Escolha	Definiu a estratégia mais adequada para a comunicação do projeto

A parte B da ficha pretendeu identificar os estilos de pensamento (componente epistemológica) percecionados pelos estudantes durante a resolução do problema proposto. A utilização por parte dos estudantes da taxonomia de estilos cognitivos aplicada à investigação (Clemente, 2016) implicaria uma aprendizagem prévia e, principalmente, tempo das sessões semanais dedicadas ao preenchimento de um instrumento para a investigação. Após reunião com os docentes da UC e direção de curso, a investigadora optou por pedir aos estudantes que, a partir da sua perceção, assinalassem os estados mentais que consideraram ter mobilizado. À semelhança da parte A da ficha, foram elaboradas frases explicativas dos estados mentais (*mindset*) correspondentes aos estilos cognitivos da taxonomia utilizada. O Quadro 9.12 identifica a correspondência entre os estados mentais e as profissões da taxonomia utilizada.

Quadro 9.12 Tabela com a correspondência entre *mindsets* sugeridos aos alunos e a taxonomia adotada

	Profissão (Estilo cognitivo)	Mindset
	Atleta Olímpico (Focado)	Focou-se no que é importante e conseguiu distinguir o essencial do acessório
	Antropólogo (Empático)	Colocou-se no lugar do público-alvo
	Cirurgião (Determinado)	Tomou decisões com base na intuição e fez avançar o projeto
	Juíz (Analítico e Avaliativo)	Tomou decisões com base em dados e critérios bem definidos
	Viajante Profissional (Holístico)	Viu o projeto como um todo e definiu qual a etapa seguinte
	Escritor de Viagens (Reflexivo)	Refletiu sobre o projeto e retirou conhecimento útil para projetos futuros e para a sua vida profissional
	Artista (Imaginativo)	Gerou muitas ideias inovadoras

Relativamente às partes C e D da ficha, estas pretenderam recolher dados referentes ao fabrico aditivo. A parte C incidiu sobre as vantagens para o design e limitações do FA que os estudantes consideraram relevantes para o produto que estariam a desenvolver, e a parte D procurou avaliar o grau de conhecimento dos estudantes sobre os processos de fabrico aditivo na sessão n.º 4 e no final do projeto.

A partir das oportunidades para o design através das potencialidade únicas do FA descritas na literatura e destacadas na matriz de avaliação dos artefactos, a investigadora selecionou um conjunto de vantagens para destacar na ficha de recolha de dados. Foi pedido aos estudantes que assinalassem as vantagens/oportunidade para o design que poderiam ser mais relevantes

para o produto que estariam a pensar desenvolver. De seguida, apresenta-se a lista de vantagens disponibilizada aos estudantes:

- Ser customizável/personalizável;
- Ser produzido rapidamente;
- Não necessitar de montagem;
- Possibilitar uma maior liberdade nas formas em relação a outros processos de fabrico convencionais;
- Permitir a produção de pequenas séries e de uma única peça;
- Disponibilidade *online* do ficheiro para imprimir;
- Uso eficiente do material (menos desperdício).





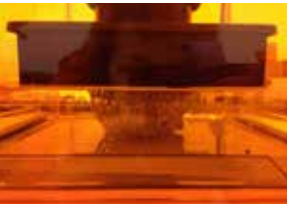


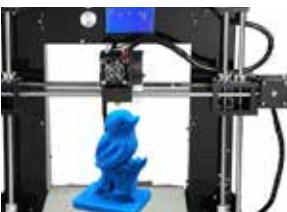

Relativamente às limitações do FA, teve-se o mesmo procedimento. A investigadora elaborou uma lista de limitações identificadas na literatura, das quais os estudantes deveriam seleccionar e indicar as que poderiam representar uma restrição ou obstáculo ao produto que estariam a pensar desenvolver. De seguida, apresenta-se a lista das restrições apresentada na ficha:

- Limites do tabuleiro de impressão;
- Número reduzido de materiais para impressão;
- Fraca resistência mecânica dos produtos;
- Acabamentos de superfícies irregulares (efeito escada);
- Elevados custos de produção;
- Difícil acesso à tecnologia;
- Pouco domínio técnico sobre a tecnologia de impressão.

Por último, a parte D da ficha pretendeu avaliar o grau de conhecimento dos estudantes relativamente aos processos de FA na sessão n.º 4 e no final do projeto. Para tal, foram seleccionadas 9 imagens (Figura 9.14) onde estavam representadas quatro da TFA mais utilizadas: FFF, SLS, SL/SLA e MJ e os respetivos produtos. Os estudantes teriam de identificar o processo de FA ao qual correspondia o equipamento que estava representado na imagem e qual o respetivo processo aditivo do objeto presente na imagem. A informação recolhida contribuiu, sobretudo, para avaliar de que forma a intervenção tinha ajudado para um aumento do conhecimento dos estudantes sobre os processos de FA.

D. Identifique através dos números, a tecnologia associada a cada imagem

01. Fused Deposition Modelling (FLM/ FDM)
02. Laser Sintering (LS/ SLS)
03. Stereolithography (SL/ SLA)
04. PolyJet Modelling (PJM)

<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

fonte: www.3dprinting.com;
www.rapidsol.org;
www.shapeways.com;
fotos da autora.

Figura 9.14
Imagens de equipamentos e produtos resultantes dos quatro processos FFF, SLS, SL e MJ

De seguida apresentam-se os dados recolhidos através da ficha, a partir da auscultação dos estudantes. Sobre o processo metodológico (Parte A da ficha) percecionada pelos estudantes na fase 1 (sessão n.º 4) foi feita uma análise global das respostas obtidas.

Na fase 1, dos 18 inquéritos preenchidos apenas um foi considerado ilegível na parte A, por ter suscitado dúvidas à investigadora relativamente à ordem sequencial das tarefas. No entanto, das 17 fichas analisadas, as iterações estão concentradas nas primeiras fases, Emergência (E1) e Empatia (E2), tendo alguns referido ter já explorado algumas ideias e conceitos na fase da Experimentação (E4). Tendo em conta que o projeto está numa fase inicial, é expectável que as fases iniciais do modelo sejam as mais frequentes. A exceção é um estudante do Grupo 3, que indicou a fase da Empatia, subfase Exploração, como ponto de partida. A percepção do estudante está em linha com a percepção da investigadora, que no Diagrama do respetivo grupo assinala na primeiras sessões Empatia/Exploração. Os restantes estudantes

assinalam como primeiro passo do projeto o “*brief* proposto pelos docentes, explorou diferentes oportunidades/problemas que necessitem da intervenção do design” correspondente à Emergência/Exploração.

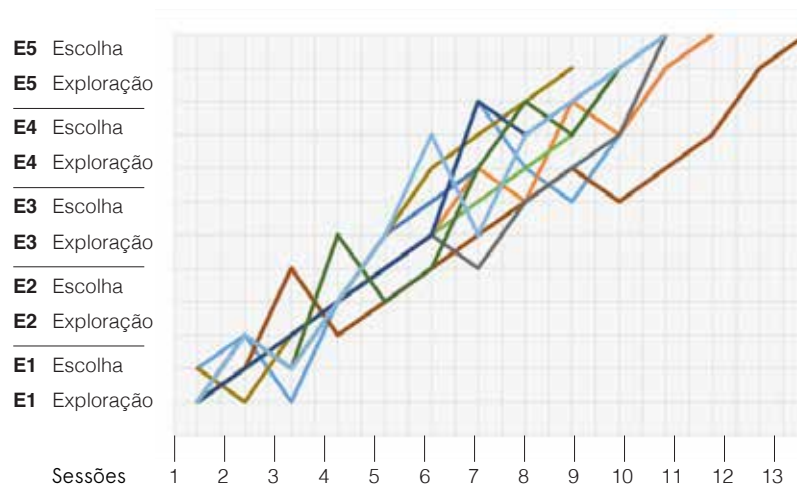
Os estudantes oscilaram entre as duas seguintes tarefas: “Identificou/selecionou uma oportunidade/problema perante as possibilidades exploradas”, que remetia para o fecho da fase da Emergência; e “Recolheu as necessidades a partir de informação recolhida junto do público-alvo (entrevistas, observação direta) e a partir de produtos similares”, que mantinha uma atitude exploratória perante o assunto proposto, mas já na fase da Empatia. Pela perceção da investigadora, os estudantes alternaram entre as duas fases do modelo E.6², divergiram na Empatia (E2) e na procura de conhecer melhor o público-alvo, entender melhor a tecnologia de fabrico proposta ou nas imagens inspiradoras na Natureza e fechar a fase da Emergência (E1).

Na fase 2 (sessão n.º 13), e apesar de terem completado a ficha previamente na sessão n.º 4, revelaram dificuldades no preenchimento da coluna destinada à ordem sequencial pela qual teriam realizado as tarefas. Das 19 fichas analisadas, três estudantes não preencheram a coluna específica e quatro responderam de forma impercetível para a investigadora.

A partir das fichas recolhidas na fase 2 foi elaborado o Gráfico 9.3, onde estão identificadas as fases percecionadas pelos alunos no decurso do projeto. São visíveis alguns movimentos mais concentrados entre as sessões 3 e 4 e depois entre a 6.^a e a 7.^a sessão, no entanto a maioria das linhas acompanham uma diagonal ascendente que resultaria de um processo metodológico linear e sequencial. O enquadramento do projeto dentro da metodologia própria de uma UC, que obedece a entregas com datas a cumprir e objetivos a atingir, poderá ter condicionado os tempos destinados a cada fase e a ordem sequencial pelas quais as tarefas foram realizadas. Para além disso, o preenchimento da ficha na última sessão do semestre “obrigou” os estudantes a refletirem, retrospectivamente, sobre as tarefas que haviam realizado durante o projeto. Tendo em conta que a maioria dos grupos optou por assinalar as tarefas de uma forma sequencial, com poucos recuos, evidenciando pouca iteratividade, pode-se deduzir que tiveram dificuldades em definir a ordem cronológica e até se realizaram ou não a tarefa. Perante a análise obtida, na qual a maioria dos grupos evidencia pouca iteratividade, a investigadora considera que teria sido preferível os estudantes registarem semanalmente as tarefas efetuadas na semana transata.

Gráfico 9.3

Resultados das iterações identificadas pelos alunos durante as 13 sessões de duração do projeto



No entanto, os estudantes identificaram na parte A da ficha as tarefas que realizam ao longo do projeto. O Quadro 9.13 apresenta as respostas dos estudantes, fazendo a correspondência entre a tarefa assinalada na ficha e as fases e subfases do modelo E.6². Os grupos cujas fases e subfases estão assinaladas com um círculo azul foram os que identificaram a tarefa correspondente. Um círculo vermelho significa que os estudantes não executaram a tarefa, pelo menos não perceberam tê-la feito. A maioria dos grupos assinalou todas as tarefas como realizadas, no entanto tarefas como “Experimentou e testou o conceito final (*mock-ups*, protótipos) e melhorou-o” associada à fase Elaboração/subfase Escolha não foi assinalada pelos grupos 2, 4 e 6, três dos grupos que tiveram dificuldades em prototipar, acabando por não conseguir materializar o produto. A tarefa “Definiu a estratégia mais adequada para a comunicação do projeto relacionada como a fase Exposição/Subfase Escolha não foi assinalada pelos grupos 4, 5 e 6, por provavelmente sentirem que a estratégia que selecionaram para comunicar o produto não terá sido a mais adequada, ou mesmo por não terem conseguido finalizar o produto.

Sobre o pensamento durante o projeto, os dados recolhidos contribuíram, sobretudo, para identificar os estilos cognitivos mobilizados pelos alunos durante o projeto. Até à sessão n.º 4, o projeto situou-se, para a maioria dos estudantes, nas duas primeiras fases do modelo E6², Emergência e Empatia. No que diz respeito ao número de estilos cognitivos mobilizados até ao primeiro momento de recolha de dados, todos os estilos cognitivos tinham sido já mobilizados pelos estudantes, com maior incidência no Antropólogo/Empático. Algo expectável, tendo em conta que o preenchimento da ficha ocorreu numa fase inicial do projeto, onde se espera que os estudantes identifiquem oportunidades/problemas, e recolham informação sobre público-alvo através de entrevistas ou por observação direta.








Quadro 9.13 Fases do modelo E.6² percecionadas pelos estudantes durante o seu processo metodológico

	E1 Emergência		E2 Empatia		E3 Experimentação		E4 Elaboração		E5 Exposição	
	↗ Exp	↘ Esc	↗ Exp	↘ Esc	↗ Exp	↘ Esc	↗ Exp	↘ Esc	↗ Exp	↘ Esc
GRUPO 1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 7	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 10	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 11	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 12	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Como esperado, os dados recolhidos na fase 2 permitiram perceber que os estudantes percecionaram ter mobilizado todos os estilos cognitivos, no entanto os menos mobilizados foram o Artista e o Cirurgião, tal como mostra o Quadro 9.13 pelos círculos assinalados a vermelho.

Quadro 9.14

Estilos cognitivos percebidos pelos estudantes durante o processo

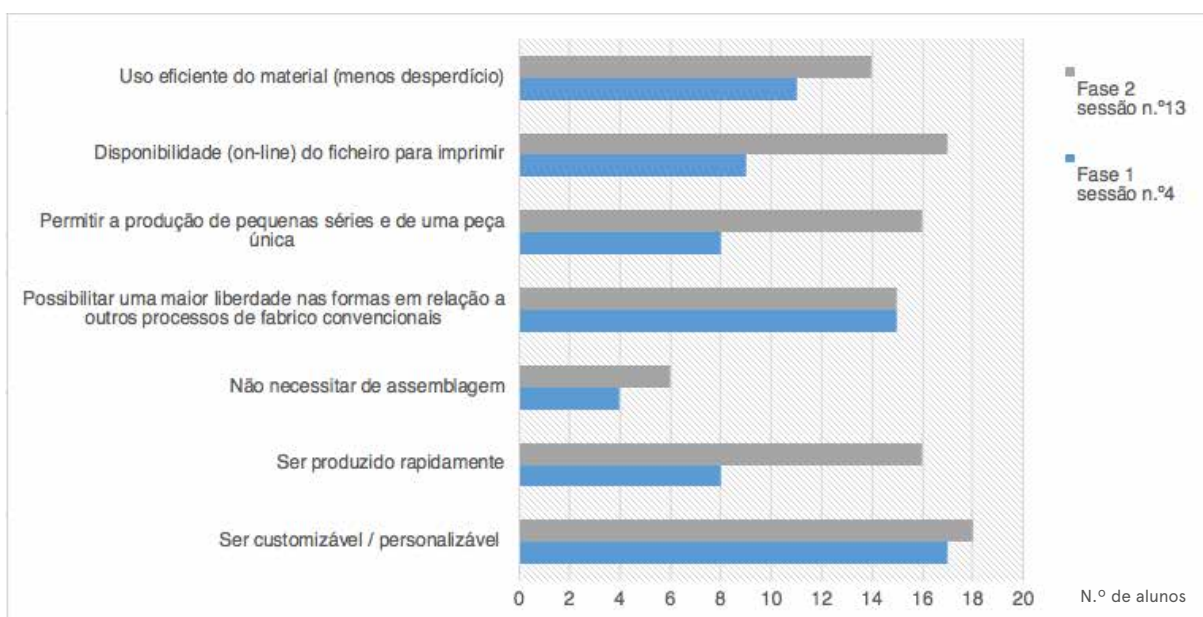
	 Ar Artista (imaginativo)	 At Atleta (focado)	 An Antropólogo (empático)	 Ju Juiz (analítico- -avaliativo)	 Ci Cirurgião (determinado)	 VP Viajante Profissional (holístico)	 EV Escritor de Viagens (reflexivo)
GRUPO 1	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 2	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 3	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 4	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 5	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 6	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 7	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 8	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 9	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 10	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 11	●	●	●	●	●	●	●
GRUPO 12	●	●	●	●	●	●	●

Quanto aos dados recolhidos na última sessão, verifica-se que os *mindsets* “Gerou muitas ideias inovadoras” e “Tomou decisões com base na intuição, e fez avançar o projeto” associados às profissões Artista e Cirurgião, respetivamente, foram os EC que os estudantes consideraram menos mobilizados pelos grupos durante todo o projeto. No que se refere ao primeiro *mindset*, considera-se que os estudantes poderão ter dificuldades em encontrar instrumentos/técnicas que os auxiliem na fase de geração de ideias. Quanto à dificuldade em tomar decisões com base na intuição, tal poderá estar relacionado, na perspetiva da investigadora, com a falta de experiência em projetar, visto serem estudantes do 2.º ano e não terem ainda adquirido a confiança necessária na sua própria intuição.

Os Gráficos 9.4 e 9.5 mostram as vantagens e desvantagens assinaladas pelos estudantes nas sessões n.º 4 e n.º 13 a partir da lista elaborada pela investigadora. Após a experiência prática que tiveram em design para fabrico aditivo na UC de PDP II, pode-se dizer que os estudantes responderam, na Fase 2, estarem mais esclarecidos, quer relação ao significado de cada tópico como com conhecimento de causa.

A customização/personalização foi a vantagem mais assinalada pelos estudantes em ambas as fases, uma das vantagens competitivas do FA perante as outras tecnologias de fabrico convencionais. O destaque atribuído à customização também poderá estar relacionado com o fácil entendimento do seu significado, para ao qual não é necessário grande conhecimento técnico ou experiência sobre o processo. Contudo outras vantagens com “Permitir a produção de pequenas séries e de peças únicas” e “Disponibilidade *online* do ficheiro para imprimir” tiveram um aumento significativo que revela o que aprenderam sobre o FA e o que consideram mais vantajoso. Na fase 2 foram destacadas vantagens que decorreram da experiência durante o projeto para FA, como por exemplo o comentário dos estudantes do Grupo 3, “Alteração das propriedades mecânicas através do *infill*”, algo que o grupo procurou explorar. Comparando as respostas dadas nas duas fases, houve um aumento do número de vantagens identificadas pelos estudantes na fase 2, o que não significa que os produtos desenhados tivessem conseguido tirar mais partido das vantagens anunciadas. O crescimento poderá relacionar-se com um maior conhecimento sobre as potencialidades da TFA no geral, independentemente do produto final.

Gráfico 9.4
Vantagens para o produto identificadas pelos alunos na sessão 6 e no final do projeto



Relativamente às desvantagens depreendidas na sessão n.º 4 (fase 1) e sentidas na sessão n.º 13 (fase 2), evidenciam uma maior consciência sobre o processo de impressão. Uma das limitações com maior destaque e impacto nos produtos, e que foi também referida nos discursos dos alunos durante o projeto, foi a dimensão da área de impressão da máquina. Outra limitação que obteve um aumento significativo relativamente aos resultados da fase 1 foi o “difícil acesso às tecnologias de impressão”, o que poderá espelhar as dificuldades que os estudantes tiveram no acesso às impressoras. O acesso às impressoras e as dificuldades técnicas foi um dos problemas referidos na última sessão, e algo que os alunos consideraram como um aspeto negativo. Apesar do acesso livre às impressoras de FFF, como as CubeX ou a 3D Prusa, estas tiveram problemas técnicos e avarias que inviabilizaram a impressão dos protótipos na fase final, e para além disso, o acesso aos restantes equipamentos com consumíveis mais dispendiosos esteve condicionado pelos docentes e mediante entrega de um ficheiro próximo do resultado final.

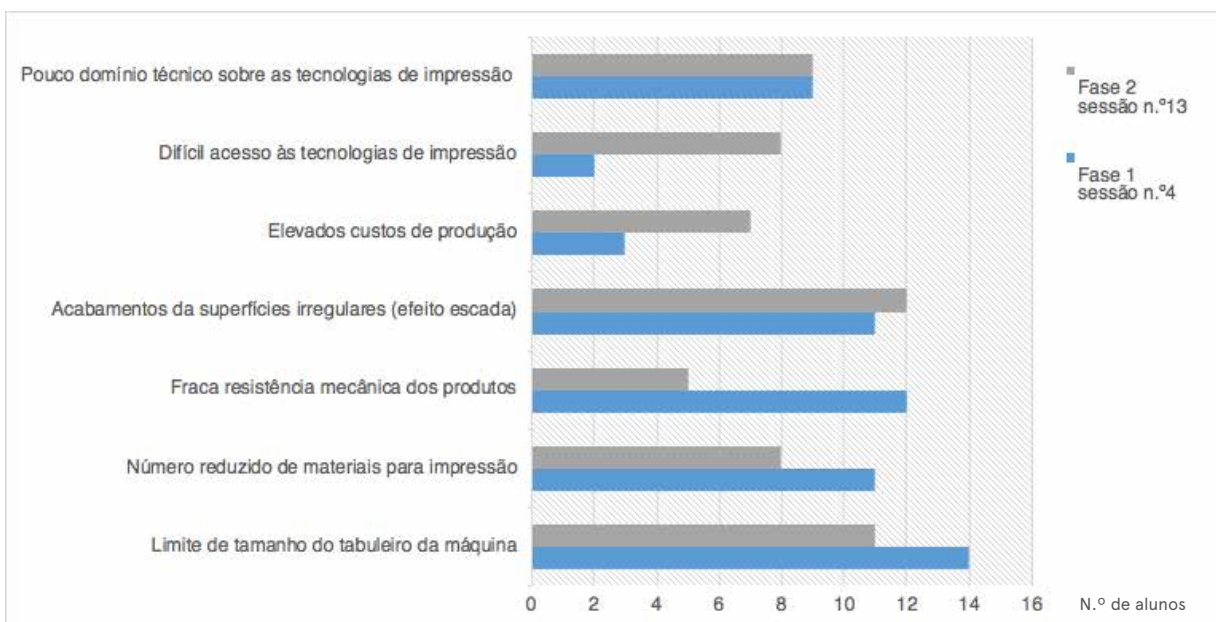


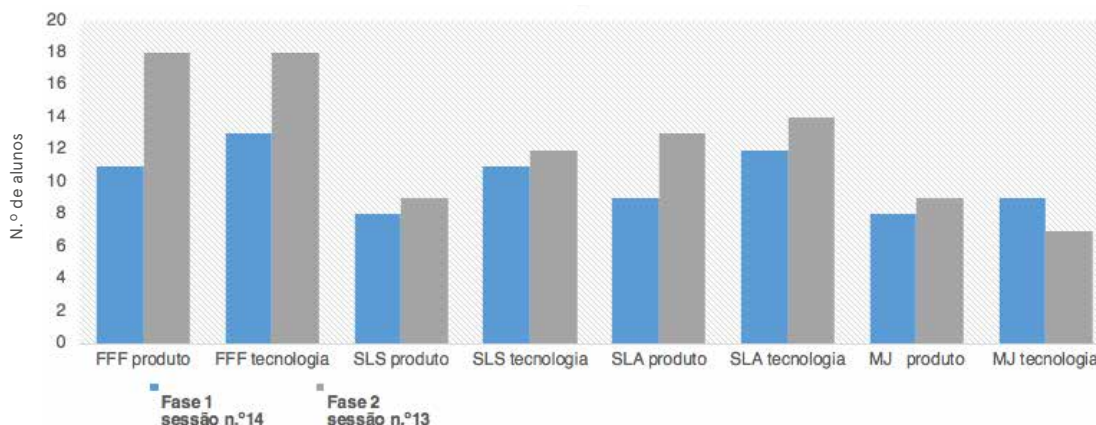
Gráfico 9.5
Limitações do fabrico aditivo percebidas pelos estudantes

Na parte C, os estudantes poderiam também acrescentar às listas de vantagens e limitações novos itens que considerassem pertinentes para o projeto. Na Fase 1 foram identificadas três desvantagens: “Pouca variedade de cores”; “Não existirem materiais apropriados para estarem em contacto com a comida”; e “As impressoras para uso pessoal de diferentes marcas resultam em diferentes propriedades nos resultados da impressão, o que pode interferir no desempenho do produto”. Os primeiros dois itens referem-se às

limitações dos materiais disponíveis para impressão, que são evidentemente uma desvantagem dos processo aditivos.

Nas fichas preenchidas na fase 2, foi mencionada na lista das desvantagens uma constatação que resultou da experiência adquirida no contacto com a tecnologia FFF disponível: “Encaixes e rigor nas tolerâncias, máquinas com maior precisão”.

Em relação à evolução do conhecimento adquirido sobre a tecnologia de FA, os resultados obtidos foram analisados e sistematizados no Gráfico 9.6, mostrando o número de respostas certas respondidas pelos alunos nas Fase 1 e na Fase 2, respetivamente. Pelos resultados obtidos, verifica-se que os alunos tiveram um melhor desempenho na segunda fase, com um maior número de respostas certas nos itens produto e tecnologia, à exceção da tecnologia *Material Jetting*. Este resultado poderá estar relacionado com o pouco contacto dos estudantes com a tecnologia, visto ser uma das mais dispendiosas.



Quanto aos processos, SLA, SLS e MJ, a falta de conhecimento para operar o equipamento e o custo dos consumíveis inviabilizaram o seu acesso livre, à semelhança do que aconteceu com as impressoras de baixo custo. Na perspetiva da investigadora, o conhecimento adquirido na pesquisa realizada para o projeto na fase da Empatia contribuiu para um aumento das respostas certas relativas a todos os processos da TFA. Quanto ao processo FFF, houve um significativo aumento do número de respostas corretas na fase 2. Por isso, considera-se que um contacto mais direto e autónomo com os equipamentos pode promover um maior conhecimento sobre a TFA e facilitar a resposta a um projeto de desenhar para fabrico aditivo.

Gráfico 9.6
Comparação dos resultados obtidos nas fases 1 e 2 relativamente ao conhecimento sobre os processo de FA

9.4 Reflexões da investigadora sobre o estudo de caso

A intervenção realizada em PDP II procurou envolver todos os estudantes com as tecnologias de fabrico aditivo, incluindo o pressuposto “Construção com base em tecnologias de fabrico aditivo disponíveis na ESAN” no *project brief* do trabalho solicitado aos estudantes no início do semestre. Após 13 sessões em contexto de sala de aula que incluíram discussões semanais com os docentes e apresentações em datas previamente definidas, os estudantes apresentaram os resultados obtidos. A investigadora esteve presente em todas as aulas e sentiu os estudantes motivados para o projeto proposto, aceitando, sem dificuldades, a presença da investigadora nas aulas de projeto. Os dois docentes da UC mostraram sempre uma atitude de elevado interesse pela introdução do FA no contexto do ensino/aprendizagem do design por projeto, abordando sempre nas suas intervenções junto dos estudantes assuntos relacionados com as vantagens e potencialidades da TFA, que consideravam pertinentes para o projeto.

No âmbito do design para FA, pretendeu-se que os estudantes explorassem questões em torno das geometrias complexas, da customização, da funcionalidade integrada, o que foi constantemente reforçado pelos docentes ao promoverem e incentivarem em todas as aulas o questionamento por parte dos alunos sobre a TFA e em que medida esta tecnologia seriam uma mais-valia para os seus produtos relativamente às tecnologias de fabrico convencionais. Os produtos desenhados deveriam tentar demonstrar as capacidades únicas do FA que seriam impossíveis de produzir com outro sistema de fabrico.

A pesquisa que os estudantes realizaram na fase da Empatia permitiu a visualização de imagens com produtos de geometria complexa impossíveis de produzir pelos sistemas de fabrico convencionais. Os estudantes procuraram também imagens e elementos da Natureza inspiradoras para dar resposta ao pressuposto “Inspiração na Natureza” do *project brief*. A associação de produtos de FA a artefactos de outras temáticas é proposto pelo método de DpFA, Creative-DfAM (Rias, Bouchard, Segonds & Abed, 2016). O método Creative-DfAM refere a necessidade de ver/conhecer artefactos produzidos por FA e combiná-los com artefactos de outras temáticas, para fomentar a criatividade dos designers. Aparentemente (ou em alguns casos), a transposição dos elementos naturais para a peça foi dificultada pela pouca experiência em modelação avançada.

O conhecimento prévio em fabrico aditivo é referido por Pradel (2018), que apresenta uma lista de proveniências usadas pelos designers para reunir informação e adquirir conhecimento sobre DpFA. Com um maior número de respostas, surge “Experiência prévia em FA”, seguida de “Experimentar os processos de FA”, sendo também importante “Falar com especialistas” e “Ver

como os produtos são feitos”. Posto isto, é importante que a aprendizagem necessária sobre a TFA seja feita com uma forte componente prática, e não apenas de pesquisa. Dois dos estudantes que integraram o Grupo 1 possuíam alguma experiência relacionada com a TFA adquirida em trabalhos práticos realizados em UC anteriores e em projetos extracurriculares e colaboraram com os restantes grupos no esclarecimento de dúvidas que foram surgindo no decurso do projeto.

Apesar do espírito cooperativo que existiu entre os grupos, no final do semestre, as avarias relacionadas com as impressoras, a imprevisibilidade do processo e o acesso às máquinas, a juntar à pressão da aproximação das datas das entregas, causaram algumas situações de *stress* e mal-estar entre os estudantes. No entanto, não impediu que todos os alunos tivessem trabalhado com as impressoras de acesso livre disponibilizadas pela escola, através das quais produziram os protótipos em diferentes fases do projeto. Todos os grupos, no decurso do projeto, expuseram as vantagens da tecnologia que foram recrutando à literatura, ou lhes foram comunicadas pelos docentes. Na prática, pretendia-se que as vantagens identificadas pelos estudantes fossem depois verificáveis no artefacto final. Foram referidas vantagens como a customização, a possibilidade de gerar geometrias complexas, imprimir numa só operação, integrar a funcionalidade, entre outras. No final, verificou-se que a integração das vantagens pretendidas inicialmente para o produto não foi facilmente concretizável. As dificuldades com os equipamentos, tanto na acessibilidade como no conhecimento técnico necessário para minimizar ao máximo os erros que ocorreram durante a impressão, condicionaram a materialização dos produtos. O pouco domínio da tecnologia, que só se memoriza por experimentação direta na utilização do equipamento, paralelamente a uma capacidade criativa limitada e dificuldades na modelação poderão ter condicionado o desenvolvimento de ideias disruptivas. Na perceção da investigadora, com mais tempo de dedicação ao projeto, outros grupos teriam conseguido ficar mais próximos de um produto final.

Na última sessão, um dos docentes comentou com a investigadora que, “entendendo melhor a tecnologia, provavelmente será mais fácil entender a estética do meio”. O comentário do docente da área do design evidencia, como num contexto de DpFA, que é importante conhecer a tecnologia para a qual se está a idealizar. Neste caso conhecer a tecnologia passa pelo entendimento do processo, do comportamento dos materiais e das orientações para o design, o que só se obtém pela experimentação direta e não por uma postura de “secretária” ou pela observação de outros a utilizar o equipamento.

Após a apresentação final, na sala de aula, os estudantes e docentes falaram sobre a experiência que tiveram, reagindo de forma positiva e considerando que contribuiu bastante para a sua aprendizagem em relação às

tecnologias emergentes. Contudo, os alunos mencionam pontos a melhorar como a aquisição de conhecimento sobre a tecnologia através de horas de contato com os equipamentos. Referiram também o espírito de entreeajuda que existiu nos colegas que dominavam melhor as tecnologias.

Em termos logísticos, para que este tipo de iniciativas possa ser repetida e ter sucesso, mencionaram a importância de haver um maior número de equipamentos de fabrico aditivo de baixo custo com acesso livre, disponível para os alunos testarem e prototiparem, e para além disso, em termos de recursos humanos, existir um técnico com conhecimentos avançados, disponível para colaborar mesmo na parte mais técnica da impressão. Isto apesar de um dos docentes ter estado sempre presente e disponível para a resolução de problemas relacionados com o acesso às impressoras, com a impressão, e com os *softwares*. A dificuldade maior, muitas vezes, é a identificação do erro, a razão por que acontece, porque é que a máquina falha. Para além do conhecimento prévio, existe também o fator da motivação intrínseca e resiliência do estudante perante um processo que desconhece e que não consegue controlar, algo válido para um projeto de design para FA como para qualquer outro projeto.

Foi evidente pelos conteúdos registados no caderno, nos *moodboards* e nas transcrições feitas a partir dos registos áudio das interações com os docentes, que alguns alunos revelam um conhecimento mais avançado em relação à TFA. Isto significa que os estudantes partiram para o desafio proposto com graus de conhecimento diferentes relativamente ao processo de fabrico. Esta experiência prévia poderá ter influenciado na identificação da oportunidade, mais próxima das vantagens da tecnologia (costumização, personalização e disponibilidade *online*) e, para além disso, facilitado uma maior segurança em explorar as potencialidades da tecnologia.

No contexto académico de ensino/aprendizagem, sabendo à partida sobre a existência de um prazo e de uma avaliação no final, é expectável que os estudantes procurem realizar algo visível todas as semanas. Para além disso, a necessidade de “fechar a solução”, notória em alguns projetos apresentados, poderá ter resultado das dificuldades em lidar com a não-definição e a incerteza.

O *project brief* inicial do projeto que pretendeu “forçar” a utilização do FA como processo de fabrico do projeto teve como objetivo conseguir uma maior recolha de dados, neste caso, artefactos passíveis de serem analisados pela matriz de avaliação desenhada e contribuir para o conhecimento fenomenológico do design. Contudo, no final do estudo de caso, isso não se verificou, e apenas dois artefactos foram posteriormente analisados através da matriz de avaliação.

A matriz teve como objetivo avaliar os artefactos quantos às potencialidades únicas do FA descritas na literatura, como complexidade formal, hierárquica e material. Através do preenchimento da matriz por um painel de especialistas foi possível concluir que os estudantes exploraram pouco as potencialidades do FA, no entanto a complexidade formal surge da análise dos resultados como a mais explorada.

Parte V

Conclusão

Capítulo 10

Contributos para o ensino e aprendizagem do design para fabrico aditivo

Dado o carácter assumidamente exploratório do estudo, o que se apresenta na conclusão não são respostas definitivas, mas antes provisórias, das quais emergem, mais do que certezas, novas interrogações. Assim, partindo das questões de investigação iniciais, traçam-se perspetivas futuras de investigação, para os quais o presente estudo contribui, também, com instrumentos especificamente desenhados, como é o caso da Matriz de Avaliação dos Artefactos, na vertente fenomenológica, e o Diagrama Processual, nas vertentes praxiológica e epistemológica.

Quais os contributos da introdução do fabrico aditivo como paradigma construtivo em projetos de design no contexto académico no que se refere à metodologia projetual, ao processo cognitivo individual e aos artefactos desenvolvidos?

Com o intuito de dar resposta às questões de investigação, foi realizado um estudo de caso implementado no contexto académico centrado num projeto de design para fabrico aditivo. O estudo de caso teve como participantes os estudantes do 2.º ano da licenciatura Design de Produto e Tecnologia da Produto da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção de Aveiro – Norte (ESAN) inscritos na UC de Projeto de Desenvolvimento de Produto II do 2.º semestre de 2017/2018. Os alunos desenvolveram um projeto de DpFA proposto pelos docentes da UC, descrito no capítulo 8. As implicações e contributos da TFA na prática dos estudantes foram avaliadas de acordo com as categorias para o conhecimento em design propostas por Cross (2006): praxiologia, epistemologia e fenomenologia. Para o planeamento do estudo de caso contribuíram os dados recolhidos anteriormente em dois estudos prévios, um realizado com um designer profissional (estudo prévio I) e outro com estudantes (estudo prévio II).

Através das fases do modelo de *Design Thinking Evolution* E6² descrito na secção 5.1, pelas quais o projeto evoluiu, procurou analisar-se o impacto/contributo da introdução da TFA na metodologia projetual e na cognição dos estudantes de design. No final, os artefactos resultantes foram avaliados por um painel de especialistas de diferentes áreas no que concerne às potencialidades únicas do FA.

Contributos para a prática de projetos em DpFA

Os estudantes iniciaram a prática projetual pelas fases da Emergência (identificação da oportunidade) ou da Empatia (Conhecer melhor o contexto) onde reuniram informações sobre os diferentes processos de FA, e recolheram imagens de produtos produzidos pela tecnologia que afixaram nos *moodboards* e colocaram no cadernos de projeto individuais. Confrontando os resultados deste estudo com o de Rias, Bouchard, Segonds & Abed (2016), verifica-se que, apesar da visualização de imagens com artefactos produzidos por AM e a sua associação a outras temáticas neste caso, a inspiração na Natureza proposta no *project brief*, os estudantes revelaram dificuldades em idealizar artefactos inovadores.

Contudo, a visualização de produtos produzidos por FA através de imagem, ou mesmo materializados, pouco ajuda para entender a tecnologia e como podem concretizar objetos disruptivos a partir dela. Para que o designer possa criar um produto com um design “verdadeiramente aditivo”, terá de compreender as características do processo de fabrico (Klahn, Leutenecker & Meboldt, 2015). Com isto, pretende-se dizer que esta aprendizagem do processo (sistema de impressão, materiais, linhas orientadoras para o design) deverá resultar de uma experimentação direta e intensiva, e não apenas de uma pesquisa de *desktop* ou contacto esporádico meramente observacionais dos processos ou de peças produzidas por FA. Relativamente à aquisição de conhecimento sobre FA, a investigação corrobora os resultados de Pradel (2018), referidos na análise final ao caso de estudo (PDP II) sobre a proveniência da informação e formas de aquisição do conhecimento em DpFA.

De seguida, vamos procurar dar resposta à questão de investigação na três categorias do conhecimento propostas por Cross (2006), praxiológico, epistemológico e fenomenológico.

Do ponto de vista praxiológico, o processo metodológico não parece ser significativamente alterado com a introdução do FA como processo construtivo, tal como referiu o designer de produto no estudo prévio II. Um projeto de DpFA exige as mesmas fases, apenas a fase da Elaboração varia em termos de duração e na quantidade de interações (avanços e recuos) que permite.

Relativamente ao processo dos estudantes, este acaba sempre por ser condicionado pelo planeamento da UC, pela orientação dos docentes e pelo calendário escolar. Contudo, os grupos com maior “sucesso” foram os constituídos por estudantes com conhecimento prévio sobre o processo aditivo e os que “fecharam” mais cedo a fase da Experimentação e avançaram para a prototipagem na fase da Elaboração.

Do ponto de vista epistemológico, da observação dos estilos cognitivos mobilizados pelos estudantes, à luz das perceções da investigadora e dos estudantes, fica claro que o estilo cognitivo Artista (Imaginativo) foi dos menos mobilizados, o que denota dificuldades em “gerar muitas ideias”, confirmadas

pela curta passagem pela fase da Experimentação. A “pressa de chegar a uma solução” poderá ter diminuído a probabilidade de produzir uma solução criativa e inovadora. Ao longo do projeto todos os grupos mobilizaram o estilo cognitivo Cirurgião (Determinado), na medida em que tomaram decisões com base na intuição. Contudo, alguns estudantes referem não o ter mobilizado, talvez por falta de experiência em projetar e por não terem ainda adquirido confiança na sua intuição.

Do ponto de vista fenomenológico, os artefactos resultantes do estudo de caso revelam que o desenvolvimento de formas complexas e disruptivas não ocorre de forma “espontânea” apenas pelo facto de existir um processo produtivo que o permita, mas está dependente de um trabalho árduo de construção da forma, que envolve a capacidade de não ficar “preso” a uma primeira solução, bem como, e não menos importante, o domínio do *software* de modelação, e sobretudo o domínio dos equipamentos, nomeadamente dos parâmetros do processo, dos materiais de impressão e das linhas orientadoras para um DpFA.

De seguida serão exploradas questões relacionadas com a aquisição de conhecimento em DpFA, a acessibilidade aos processos de fabrico, a fase de inclusão do FA no processo e a tecnologia no contexto educacional.

Pode-se questionar se o conhecimento prévio relativamente à tecnologia de fabrico proposta poderá ter influenciado os resultados e questionar-se se o grau de conhecimento dos estudantes sobre o processo de fabrico proposto influenciou a forma como os estudantes exploraram as potencialidades únicas do FA nas soluções encontradas para os seus produtos. No estudo descrito, verificou-se que o grupo de estudantes que demonstrou conhecimento sobre a tecnologia no início do projeto sentiu-se mais motivado para explorar novas formas, potenciadas pela tecnologia. Com base neste entendimento, pode-se colocar a questão:

Poderá uma aprendizagem prévia e com uma forte componente de experimentação prática nos processos de FA auxiliar os estudantes a explorarem as potencialidades únicas da tecnologia através de um Design para fabrico aditivo?

A partir dos resultados do estudo, o conhecimento prévio poderá ter contribuído para um melhor aproveitamento das potencialidades da tecnologia, por isso sugere-se uma estratégia de aprendizagem pela prática com exercícios específicos de design de produtos disruptivos que dificilmente seriam produzidos por uma tecnologia convencional, em simultâneo com uma observação atenta do processo de construção da peça, conseqüente análise da peça na procura de uma maior qualidade e na busca das razões dos defeitos/erros para os minimizar, fazer desaparecer ou redesenhar com eles em mente.

Os estudantes do estudo prévio II dispunham apenas de duas impressoras da tecnologia FFF de marcas diferentes, mas de características técnicas bastante semelhantes. Para ultrapassar essa limitação associada ao processo de FA, optou-se por, no estudo de caso (PDP II) facultar aos estudantes a tecnologia FFF para testes e prototipagem e o recurso a outros equipamentos e tecnologias com maior rigor e precisão no detalhe das peças, disponíveis no laboratório.

A questão surge da possibilidade de os estudantes se sentirem limitados pela potencialidades dos processos de fabrico de baixo custo. Introduzindo um maior número de possibilidades de processos mais “profissionais”, considerou-se que os estudantes ficariam mais “livres” para explorar as potencialidades do FA e gerar artefactos inovadores que tirassem partido do processo aditivo. Desta forma surge a questão:

Poderá a acessibilidade a diferentes processos de FA com diferentes capacidades condicionar os resultados dos artefactos finais?

No estudo de caso relatado, no projeto do Grupo 11, a mudança de um equipamento de FFF de baixo custo para um equipamento do mesmo processo aditivo, mas com maior definição e grau de detalhe, permitiu a materialização da peça com melhor qualidade. A necessidade de recorrer a outro equipamento deveu-se ao produto idealizado ser composto por várias peças que encaixavam numa peça central (figura 8.51, p. 216). No resultado final, são visíveis as melhorias relativamente à qualidade superficial da peça e uma maior precisão nos encaixes, no entanto, o produto, para ser tornar completamente funcional, necessitava de ser afinado, testado novamente ou até, no entendimento da investigadora, redesenhado para fabrico aditivo. Neste caso, uma tecnologia “mais profissional” poderá ter contribuído para a concretização dos produto, no entanto o acesso às tecnologias mais sofisticadas e precisas não levou a uma solução mais inovadora com um melhor aproveitamento da tecnologia de fabrico. Esta análise proporciona uma reflexão que poderá não estar diretamente relacionada com a tecnologia de FA, mas que poderá ter condicionado a fase de geração de ideias e os artefactos finais.

Na fase da Experimentação (Gerar ideias, desenvolver conceitos)/ Exploração, constatou-se a dificuldade dos estudantes em gerar uma “enorme” quantidade de ideias. A dificuldade em gerar ideias e conceitos também está relacionada com o problema de os estudantes ficarem “reféns” da primeira ideia que aparece. Algo que é referido na literatura por Cross (2006) como “*attach to concepts*”. Os estudantes preferem agarrar-se a uma ideia e levá-la até ao fim, do que recuar no processo. Mesmo sabendo que os avanços e recuos fazem parte de um processo metodológico da prática do design, sentem dificuldade em lidar com a incerteza e a indefinição, que, aliada a uma falta

de confiança expectável em estudantes com pouca prática de projeto, faz com que se “agarrem” a uma possível solução e levem-na até ao fim.

As observações anteriores levantam questões relacionadas com os bloqueios à criatividade, que não dizem diretamente respeito com o FA, mas que ocorreram, na perspetiva da investigadora, no estudo prévio II com os estudantes e durante o projeto de DpFA do estudo de caso. A etapa do processo metodológico distinguida pelos designers entrevistados no estudo de Pradel *et al.* (2018) para a qual o conhecimento sobre FA deve ser considerado foi a fase da geração de ideias. Nesta fase, é importante manter uma “mente aberta” e procurar gerar um maior número de ideias. A liberdade formal proporcionada pela TFA poderá nesta fase ser um estímulo à ideação de geometrias inovadoras e esteticamente inovadoras. Perante a dificuldade dos estudantes em gerarem conceitos mais criativos, questiona-se:

Poderá a inclusão no processo de design de uma tecnologia com um potencial construtivo como a TFA motivar e entusiasmar os estudantes a explorar/experimentarem formas inovadoras e até disruptivas?

Os artefactos materializados, tanto no estudo prévio II, como no estudo de caso, sugerem que os estudantes ficaram “presos” às formas que reconhecem e associam a um determinado produto, sendo que estes são na sua maioria produzidos pelos processos de fabrico convencionais, logo limitados pelos seus constrangimentos. A questão de ficarem “presos” às formas convencionais dos produtos foi levantada por um dos estudantes do Grupo 1, durante uma intervenção com os docentes. Numa atitude reflexiva sobre os conceitos gerados na fase de Experimentação, referiu que, apesar de conhecer o potencial estético da tecnologia, ao possibilitar geometrias complexas devido ao processo construtivo de ponto a ponto, os objetos que desenhavam não deixavam de se assemelhar aos existentes. Note-se que o estudante em causa tinha experiência prática com os diferentes processos da TFA adquirida em UC anteriores e projetos extracurriculares, e concluiu que conhecer a tecnologia pode ser vantajoso, mas não é suficiente. Desta reflexão, pode-se interrogar se:

Perante os bloqueios criativos dos estudantes, será possível delinear estratégias que recorram ao FA para potenciar a criatividade dos estudantes durante a prática projetual?

Na literatura são referidas as barreiras cognitivas impostas pelo processos de fabrico convencionais que restringiram o pensamento criativo dos designers. No contexto do ensino e aprendizagem do design, essas limitações podem não se aplicar, visto que a maioria dos estudantes possui pouca ou nenhuma experiência em desenhar para uma tecnologia.

Em relação à fase de introdução do FA no processo em Design, salienta-se a importância de “Desenhar com o processo em mente” referida pelo designer entrevistado no âmbito desta investigação e foi salientada durante todo o projeto de DpFA em PDP II (estudo de caso) pelos docentes, para que os estudantes mantivessem o foco e encontrassem a oportunidade dentro das potencialidades do FA. Perante a afirmação do designer, torna-se importante entender:

Em que fase da prática projetual deve surgir o processo de FA de forma a conseguir explorar e tirar vantagens das suas potencialidades únicas?

Apesar de o *project brief* inicial ter dado a TFA como um dos pressupostos do projeto, nem todos os estudantes iniciaram o projeto com o processo de fabrico em mente. Alguns grupos, como o 4 ou o 6, mostraram dificuldades em relacionar o potencial da tecnologia com o produto que pretendiam desenvolver. Uma das razões poderá ter a ver com uma fase da Empatia extensa, mas focada no público-alvo, associada a uma ausência de informação relacionada com a tecnologia (Diagrama dos grupos 4 e 6). Pelo contrário, o Grupo 1 explicou, nas verbalizações com os docentes na primeira sessão, conteúdos que evidenciavam conhecimentos sobre as potencialidades únicas do FA, nomeadamente a personalização, introduzindo essa vantagem no projeto que pretendiam desenvolver.

A introdução do processo de fabrico desde o início do projeto poderá ajudar a manter um *mindset* centrado nas potencialidades para tirar partido da tecnologia enquanto processo de fabrico e não apenas como um sistema de prototipagem rápida. O estudo de Pradel (2018) sugere que o conhecimento em DpFA é mais usado na fase de detalhe do produto, no entanto deverá ser considerado em toda a prática projetual, desde a definição do *brief* até à fase de detalhe, com especial relevância para a fase conceptual da geração de ideias. Na literatura, o modelo proposto por Kumcke, Watschke & Vietor (2016) sugere a integração faseada e assertiva do conhecimento em DpFA na prática projetual, visto que o modelo apresenta uma estrutura por módulos que pode ser usada consoante os objetivos de design e experiência de quem o vai usar. Contudo, prevê a entrada do conhecimento sobre FA na fase conceptual de geração de conceitos, Experimentação no modelo E.6².

Na fase da Elaboração os estudantes iniciaram um processo alternado entre o desenho no caderno de registo e o *software SolidWorks* para modelar o modelo 3D da peça para prototipar. As capacidades técnicas ao nível da modelação revelaram ser importantes para a evolução do projeto, de forma a conseguir modelar no *software* as geometrias complexas idealizadas. Quando a aparência da peça apresentava uma certa complexidade geométrica, os

estudantes tiveram alguma dificuldade na transição do conceito que idealizaram e desenharam para um modelo virtual CAD. A pouca prática em modelar ou a desadequação do programa poderão ter dificultado a passagem do que se idealizou no caderno para o modelo virtual. Ainda na fase da Elaboração, mas durante a prototipagem, a materialização de um produto através de uma tecnologia de FA, que, para além disso, possibilita um produto funcional, próximo do resultado final, permite detetar um maior número de erros e de possíveis modos de falha do que através de um protótipo cujo propósito serve apenas a validação da forma. É expectável que num processo de design que se denomina criativo, num projeto a realizar através de uma tecnologia que não se domina completamente, sejam necessárias mais iterações para entender o problema e também gerar ideias (Jin & Chusilp, 2006), e mais serão as iterações, se houver muitas restrições que obriguem o designer a ajustar continuamente as suas ideias.

Para a fase de Elaboração, a estratégia para a prototipagem/materialização no projeto de DpFA proposto no estudo de caso foi recorrer ao processo FFF para prototipar e só depois, com o produto finalizado, após a validação dos docentes, imprimir através de outro equipamento ou tecnologia com mais precisão. Na fase da produção (impressão) nem todos os alunos conseguiram prototipar, analisar, testar, voltar a prototipar quantas vezes desejariam. Problemas relacionados com avarias nas impressoras de acesso livre dificultaram uma aprendizagem de tentativa e erro na fase da Elaboração. Importa referir que na intervenção do estudo de caso foi proporcionada a oportunidade dos estudantes desenharem para o FA, no geral sem especificar que tecnologia usar. Perante as condições iniciais e as dificuldades e problemas que surgiram com os equipamentos, questiona-se:

No contexto de ensino e aprendizagem do design da FA, será suficiente o acesso livre às tecnologias de baixo custo ou haverá necessidade de disponibilizar aos estudantes processos mais herméticos do ponto de vista da interação com o processo e mais dispendiosos?

No contexto de ensino e aprendizagem do design, o foco explícito está relacionado com o ensino das competências (Ford & Minshall, 2017), neste caso de DpFA. A possibilidade de errar sem ter medo de o fazer poderá levar os estudantes a experimentar mais no processo e a arriscarem formas mais inovadoras. As impressoras de baixo custo do processo FFF têm tido uma frequente utilização no contexto educacional, pois permitem que os estudantes explorem a tecnologia do FA de forma livre e sem barreiras físicas:

Simple 3D printers can support education and research through rapid prototyping. More sophisticated machines can be used in industry affording

savings in materials used, and to create more economic, lightweight products. (...) and different machines serve very different purposes. (Royal Academy of Engineering, 2013, p. 26)

Quando se projeta para FA, o desenho da peça poderá tentar controlar a probabilidade de erro de forma a minimizar os riscos e garantir uma maior taxa de sucesso nos produtos. Contudo, os erros resultantes podem causar frustração aos estudantes se estes não os conseguirem decifrar. A aprendizagem prática da tecnologia referida anteriormente poderá contribuir para a minimização dos riscos.

Minimizar os riscos é primordial, por uma questão de desperdício de consumíveis, energia e tempo. Para otimizar o processo de impressão, reduzindo o tempo e o material a utilizar, alguns estudantes dividiram os produtos em partes, seleccionando as partes que lhes aparentavam mais problemáticas e imprimindo separadamente. Desta forma, conseguiram mais rapidamente ter o protótipo físico disponível para avaliar e analisar cada uma das partes impressas, procurando possíveis incorreções para encontrar soluções de melhoria face ao problema identificado. Com uma prática continuada de projetos para fabrico aditivo, os problemas decorrentes da falta de experiência serão provavelmente ultrapassados com maior facilidade.

No final, os artefactos resultantes do estudo prévio e do estudo de caso foram avaliados por um painel de especialistas de diversas áreas através de uma matriz própria no que se refere às potencialidades únicas do FA: as complexidades formal, funcional, hierárquica e material.

De acordo com os resultados, as quatro complexidades foram pouco exploradas, tendo no entanto a complexidade formal sido a que se destacou das restantes, o que poderá ser uma consequência do pressuposto colocado no *project brief* do estudo de caso relacionado com a inspiração na Natureza. A inspiração na Natureza como método ou estratégia para a geração de ideias não é novidade para o design, neste caso a inovação está no processo construtivo do FA. No enquadramento teórico desta investigação, na secção 3.2, é possível observar como o FA permite reproduzir formas e padrões que eram impossíveis pelos processos de fabrico convencionais. Desta forma, a Natureza torna-se uma fonte de inspiração inesgotável.

A otimização topológica associada à complexidade hierárquica foi pouco explorada nos artefactos. A otimização topológica permite imprimir estruturas intrincadas (*lattice*) nos interiores dos produtos (*infill*), uma potencialidade do FA que permite estruturas mais leves com uma otimização do material, logo menos desperdício de matéria-prima. Uma observação que permite questionar se:

Poderão as competências adquiridas pelos estudantes ao nível das ferramentas de otimização topológica incentivá-los a explorarem esse potencial da TFA de forma a desenharem formas inovadoras e disruptivas?

Os resultados apresentados por Pradel *et al.* (2018) mostram que na prática de design de produto a otimização topológica e o design generativo não são ainda muito adotados. Os *softwares* poderão ajudar na concretização de ideias mais complexas e na eliminação de algumas das barreiras cognitivas e técnicas. Têm surgido sistemas CAD de design para superar os limites da modelação paramétrica para a representação de geometrias muito complexas e de múltiplos materiais (Guo & Leu, 2013). A utilização de *softwares* que auxiliam na otimização topológica, como o *Netfabbs*, poderá minimizar as dificuldades dos estudantes, caso seja esse um dos requisitos do produto e se a solução proposta pelo *software* for esteticamente aceite pelo designer. Relativamente às vantagens e limitações que surgiram no decurso do projeto, os diagramas mostram que na fase inicial do projeto de DpFA existe uma maior incidência de vantagens e a partir da fase da Elaboração surge um aumento acentuado das limitações. A razão para isto acontecer poderá estar relacionada com o contacto direto com as impressoras e todas as dificuldades que os estudantes sentiram nessa fase. Seepersad, Allison & Sharpe (2017) referem a importância de manter o foco nas oportunidades quando se desenha para FA pela primeira vez:

Focusing on detailed constraints rather than conceptual opportunities is particularly consequential when many designers are designing AM products for the first time. Focusing on detailed constraints may actually contribute to design fixation and poor utilization of AM capabilities. (p. 312)

Tendo em conta o método Dual DfAM baseado na dualidade oportunidade /restrições proposto por Laverne *et al.* (2015), pode-se concluir ser esta uma abordagem apropriada. No método Dual DfAM, o conhecimento em DpFA poderá ser usado numa fase de descobrir as oportunidades do DpFA (Exploração) para implementar as potencialidades do FA nos produtos desenvolvidos e desta forma explorar a complexidade geométrica proporcionada pelo FA, mas as restrições da tecnologia (Escolha) também devem ser tidas em conta, pois condicionam as tomadas de decisão e podem definir inconvenientes do processo que obrigam a recuos no projeto. No estudo de caso, as dificuldades surgiram na fase da Elaboração, e estavam relacionadas, na sua maioria, com a impressão das peças, com os problemas das impressoras ou até com os desenhos desadequados ao processo.

Para concluir, pode-se dizer que, durante o projeto, a maioria dos estudantes identificou através da pesquisa realizada um conjunto de potencialidades e capacidades únicas da TFA que poderiam implementar no projeto, no entanto, no final verificou-se uma descoincidência entre as oportunidades que identificaram e a forma como as concretizaram através dos produtos finais, principalmente na exploração de formas mais criativas e inovadoras potenciadas pela TFA e tão entusiasticamente divulgadas na literatura, como apresenta o capítulo 3. As potencialidades únicas do FA, incluindo a capacidade de produzir geometrias complexas, adequar materiais e propriedades e ainda lidar com complexidades funcionais, aumentam consideravelmente a liberdade dos designers para explorarem novas aplicações dessa tecnologia. No entanto, não é fácil para os designers (e futuros designers) aproveitarem esses recursos (Guo & Leu, 2013).

Instrumentos de análise como *outputs* da investigação

Durante o estudo de caso realizado em contexto académico (PDP II) realizou-se o registo áudio das interações semanais entre estudantes e docentes durante as 13 sessões do projeto de DpFA. O registo áudio foi auscultado e transcrito (Anexo 5) pela investigadora e pretendeu recolher dados relacionados com o processo metodológico e o pensamento em design dos estudantes durante a prática projetual. A análise das transcrições permitiu à investigadora, a partir das suas perceções, identificar a fase do modelo E.6² (Emergência, Empatia, Experimentação, Elaboração e Exposição) e subfase (Exploração ou Escolha) que se encontravam os estudantes e os estilos cognitivos mobilizados de acordo com a taxonomia adotada durante as “críticas ao projeto”. A sistematização dos dados recolhidos foi feita através de um *Logbook* adaptado (Anexo 4) de Clemente (2016). Para uma melhor visualização e comunicação da informação foi concebido um Diagrama Processual com base numa Linha de Tempo que permitiu visualizar a prática projetual dos estudantes durante um projeto de DpFA.

O instrumento de análise Diagrama/*Logbook* idealizado poderá ser um contributo para a área do conhecimento em design, na medida em que permite visualizar a evolução de um determinado assunto (no caso desta investigação foi as vantagens e limitações do FA) e estabelecer uma correspondência com a prática e o pensamento em design em cada sessão durante um determinado espaço de tempo.

No plano fenomenológico, os artefactos resultantes das intervenções académicas foram analisados por um painel de especialistas através do preenchimento de uma matriz. A matriz de avaliação foi delineada pela investigadora, para o estudo relatado, com base nos critérios representativos de uma estética e funcionalidade associadas ao FA. A partir das potencialidades únicas do FA foi idealizada uma primeira versão da matriz cujos tópicos/itens foram analisado por um painel de especialistas em FA numa sessão de *focus*

group. A segunda matriz foi redesenhada tendo em conta os comentários dos especialistas, mas também a percepção da investigador, que recebeu dificuldade de entendimento de especialistas menos familiarizados com a TFA, como por exemplo o designer (participante 5) que não possui experiência prática com o FA.

Sustentada pelo papel dos artefactos no processo de produção de conhecimento, espera-se que essa matriz ajude a identificar direcções fenomenológicas, bem como contribua com conhecimento acessível, explícito e comunicável que possa ajudar designers na tomada de decisões sobre abordagens de DpFA para produtos finais.

Capítulo 11

Reflexão final

11.1 Propósito do estudo e principais contributos

A investigação apresentada emergiu do contexto académico onde a investigadora está inserida. Uma escola politécnica que oferece uma licenciatura da área do Design de Produto e Tecnologia e que nos últimos anos tem apostado estrategicamente na área do fabrico aditivo. Uma investigação de natureza exploratória que se desenvolveu num espectro alargado cujo objetivo principal foi apontar novos caminhos. O estudo descrito situa-se na área do design e na sua ligação com as tecnologias de fabrico aditivo emergentes, resultando em contributos para o ensino do design para fabrico aditivo que aplicados no contexto académico podem representar novas abordagens que auxiliem na exploração do potencial da tecnologia, podendo vir a contribuir para a formação de novos profissionais em design mais bem preparados para a mudança de paradigma construtivo que se perspetiva.

O trabalho empírico realizou-se através de um estudo de caso de um projeto de design onde se introduziu o FA como paradigma construtivo. O estudo de caso teve como participantes os estudantes do 2.º ano da licenciatura Design de Produto e Tecnologia da Produto da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção de Aveiro – Norte (ESAN) inscritos na UC de Projeto de Desenvolvimento de Produto II.

O trabalho relatado no campo da investigação em design pretendeu contribuir para a formação em design para fabrico aditivo, tocando as três áreas do conhecimento em design: praxiológica, epistemológica e fenomenológica.

Foram recolhidos dados através do processo metodológico, do pensamento em design e dos artefactos resultantes de um projeto de DpFA. A partir da análise e sistematização dos dados, delinearam-se contributos sob a forma de novas interrogações que apontam perspetivas futuras com vista à melhoria do desempenho criativo dos designers em projetos para fabrico aditivo. Como resultado adicional, o estudo produziu dois instrumentos de análise, o diagrama processual e a matriz de avaliação dos artefactos cuja aplicação pode ser replicada em estudos futuros com vista à comparação ou ampliação dos resultados obtidos.

11.1 Limitações

A investigação esteve sujeita a limitações que acabaram por condicionar o modo como o estudo se desenrolou. A investigadora vê como limitação, ou talvez antes como uma frustração, não ter concretizado a sua intenção inicial de recolher dados, não apenas em contexto académico, mas também em contexto profissional, porventura numa abordagem comparativa, de estudos de caso múltiplos, tal como se encontrava na proposta submetida à Fundação para a Ciência e Tecnologia (SFRH/BD/115246/2016). Esta hipótese cedo foi afastada do plano de investigação, por indicação da equipa de orientação, por tornar o estudo, ao nível da quantidade de dados para recolher e analisar, incomportável no domínio de uma investigação de doutoramento, em que há um único investigador e não uma equipa de investigação que suporte o processo de recolha e tratamento de dados.

A parte operacional da investigação teve início em fevereiro de 2017 com a primeira intervenção em contexto académico e terminou em julho de 2018. Por razões afetas à vida profissional da investigadora, que manteve parte das suas funções enquanto docente, o estudo relatado esteve sujeito a prazos apertados, que deixaram à investigadora pouca margem para erros. Para além disso, a recolha de dados esteve condicionada pela disponibilidade das UC adequadas, nas quais a metodologia projetual seria a mais indicada, e a não aquisição de dados no semestre previsto atrasariam a recolha de dados e consequentemente a investigação em pelo menos um ano (até que a UC indicada voltasse a decorrer). Os prazos apertados do estudo ocasionaram sobreposição de tarefas, tais como a recolha de dados, que decorreu em simultâneo com a sistematização, análise e escrita dos mesmos. Em termos de limitações do estudo, a análise dos resultados foi feita com base nas perceções da investigadora, a partir de dados essencialmente qualitativos e de informação recolhida pelos registos áudio realizados durante as sessões. Como já foi referido, os estudantes, para além do contexto em sala de aula, também discutiam os projetos com os docentes durante a semana, ou por *email* na ausência da investigadora. Os resultados dessas interações não estão refletidos no estudo em questão.

Outra limitação teve a ver com a formação de base da investigadora ser na área do design, e as publicações de arbitragem científica consultadas serem, na sua maioria, de revistas de engenharia e ciências de materiais, com uma linguagem bastante técnica e reconhecida pelos pares, causando ocasionalmente alguma entropia no processo investigativo.

11.3 Linhas de investigação futura

Atendendo à natureza exploratória do estudo, a partir dos contributos sob a forma de interrogação enunciados no capítulo 11, definir estratégias, linhas de investigação que permitam acrescentar mais informação para o domínio do DpFA e contribuir para uma área mais sólida.

No contexto académico, poder-se-á delinear novos estudos de caso onde seriam implementadas as recomendações consequentes da investigação relatada. No sentido de promover a interdisciplinaridade e prolongar a duração da intervenção, poderiam ser envolvidas outras UC do curso de Design de Produto e Tecnologia da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção de Aveiro – Norte (ESAN). A UC de Tecnologias de Fabrico para a aquisição de conhecimentos relacionados com a TFA, e outras que auxiliem os estudantes na componente criativa, como Desenho I ou Desenho II.

Os instrumentos de análise resultantes da investigação, a matriz de avaliação e o Diagrama/Logbook adaptado poderão ser aplicados em estudos de casos comparativos, permitindo comparar e ampliar os resultados obtidos.

Uma linha de investigação que poderá merecer atenção será a conjugação de um trabalho especificamente focado na criatividade, aplicada na fase de geração de conceitos, com vista a avaliar o efeito sobre a originalidade das formas concebidas.

11.4 Uma perspetiva pessoal

Neste estudo, desviei-me do meu papel de designer e assumi-me como uma investigadora na observação de projetos de design, um papel que assumi com total dedicação e determinação, como a tarefa o exige. A concretização de um doutoramento em design significa estar apto para, de forma autónoma, fazer investigação em design. Numa visão retrospectiva, o percurso realizado nos últimos 4 anos desde a frequência no programa doutoral até à finalização da investigação contribuiu para o desenvolvimento das minhas capacidades ao nível do pensamento crítico e reflexivo que resultaram numa valorização profissional e pessoal. A minha incursão como investigadora pela tecnologia de fabrico aditivo, em particular no design para fabrico aditivo, ocasionou momentos de descoberta e de aprendizagem de uma área emergente, fulcral para a escola onde exerço funções como docente, e relevante para a prática do designer.

Referências bibliográficas

- Abdelhameed, W. (2009). Cognition Model in Conceptual Designing. *Caadria*, (April 2009), 771–780.
- Anthony, R., Evans, M., Rennie, A., & Kirkby, E. (2011). Opportunities offered by additive manufacturing in creative businesses: Informing designers. In *DS 69: Proceedings of E and PDE 2011, the 13th International Conference on Engineering and Product Design Education* (pp. 623–628).
- Barclift, M., Simpson, T. W., Alessandra Nusiner, M., & Miller, S. (2017). An Investigation Into the Driving Factors of Creativity in Design for Additive Manufacturing, (58158), V003T04A015. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1115/DETC2017-68395>
- Bayazit, N. (2004). Investigating design: A review of forty years of design research. *Design issues*, 20(1), 16-29.
- Blösch-Paidosh, A., & Shea, K. (2017). Design Heuristics for Additive Manufacturing. *ICED 2017 Conference Proceedings*, 5(August), 91–100.
- Board, E. D. L. (2012). Design for Growth & Prosperity: Report and Recommendations of the European Design Leadership Board.
- Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(3), 209–225. <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
- Campbell, I., Bourell, D., & Gibson, I. (2012). Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. *Rapid Prototyping Journal*, 18(4), 255–258. <https://doi.org/10.1108/13552541211231563>
- Cardoso, C., Eris, O., Badke-schaub, P., & Aurisicchio, M. (2014). Question asking in design reviews: how does inquiry facilitate the learning interaction? *Design Thinking Research Symposium*, 1–18.
- Choguill, C. L. (2005). The research design matrix: A tool for development planning research studies. *Habitat International*, 29(4), 615–626. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2005.06.001>
- Clemente, V. (2016). *Educação para o pensamento criativo e crítico em Tecnologia e Design de Produto*.
- Clemente, V., Tschimmel, K., & Pombo, F. (2017). A Future Scenario for a Methodological Approach applied to PhD Design Research. Development of an Analytical Canvas. *The Design Journal*, 20(sup1), S792–S802.
- Clemente, V., Tschimmel, K., & Vieira, R. (2017). Why a Logbook? A backpack journey as a metaphor for product design education. *The Design Journal*, 20(sup1), S1530–S1542. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352677>

- Clemente, V., Tschimmel, K. & Pombo, F. (2018). Methodologies in doctoral research in design: the role of research paradigms. In O. Moret (Ed.), *Back to the Future The Future in the Past. ICDHS 10th+1 Barcelona 2018 Conference Proceedings Book*. (pp. 694 – 698)
- Conner, B. P., Manogharan, G. P., Martof, A. N., Rodomsky, L. M., Rodomsky, C. M., Jordan, D. C., & Limperos, J. W. (2014). Making sense of 3-D printing: creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive Manufacturing*, 1, 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.08.005>
- Cooper, A. K., & Oliver-Hoyo, M. T. (2017). Creating 3D physical models to probe student understanding of macromolecular structure. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 45(6), 491–500. <https://doi.org/10.1002/bmb.21076>
- Coutinho, C. P. (2015). *Metodologia de investigação em ciências sociais humanas: teoria e prática*. Leya
- Cross, N. (2001, February 1). Design cognition: results from protocol and other empirical studies of design activity. Elsevier.
- Cross, N. (2006). *Designerly ways of knowing. Designerly Ways of Knowing*. <https://doi.org/10.1007/1-84628-301-9>
- Cross, N. (2007). From a design science to a design discipline: Understanding designerly ways of knowing and thinking. *Design Research Now*, 41-54.
- Despeisse, M., & Ford, S. (2015). The role of additive manufacturing in improving resource efficiency and sustainability. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology* (Vol. 460, pp. 129–136). https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7_15
- Diegel, O., Singamneni, S., Reay, S., & Withell, A. (2010). Tools for Sustainable Product Design : Additive Manufacturing, 3(3), 68–75.
- Dillenburger, B., & Hansmeyer, M. (2013). The Resolution of Architecture in the Digital Age Background : From Design to Production, 347–348.
- Dimitrov, D., Schreve, K., & Beer, N. De. (2006). Advances in three dimensional printing - state of the art and future perspectives. *Rapid Prototyping Journal*, 12(3), 136–147. <https://doi.org/10.1108/13552540610670717>
- Dorst, K. (2006). *Understanding Design 175 Reflections on Being a Designer* (Revised Ed). Amsterdam: BIS Publishers.
- Dobrovski, Z., Verlinden, J. C., & Geraedts, J. M. P. (2011b). Optimal Design for Additive Manufacturing: Opportunities and Challenges. *Volume 9: 23rd International Conference on Design Theory and Methodology; 16th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference*, (July 2016), 635–646. <https://doi.org/10.1115/DETC2011-48131>
- Findeli, A., Brouillet, D., Martin, S., Moineau, C., & Tarrago, R. (2008). Research through design and transdisciplinarity: a tentative contribution to the methodology of design research. In *Swiss Design Network Symposium* (p. 67).
- Ford, S., & Minshall, T. (2017). 3D printing in teaching and education: A review of where and how it is used, (October).
- Frayling, C. (1994). Research in Art and Design. *Royal College of Art Research Papers* 1(1).

- Frearson, A. (n.d.). DUS Architects builds 3D-printed micro home in Amsterdam. Retrieved from <https://www.dezeen.com/2016/08/30/dus-architects-3d-printed-micro-home-amsterdam-cabin-bathtub/>
- Frearson, A. (2016). Eindhoven to build “world’s first” 3D-printed houses that people will live inside. Retrieved from <https://www.dezeen.com/2018/06/04/eindhoven-university-technology-project-milestone-3d-printed-concrete-houses/>
- Friedman, K. (2008). Research into, by and for design. *Journal of Visual Art Practice*, 7(2), 153-160.
- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., ... Zavattieri, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 69, 65–89. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>
- Gebhardt, A. (2012). *Understanding Additive Manufacturing. Understanding Additive Manufacturing*. <https://doi.org/10.3139/9783446431621.fm>
- Gebisa, A. W., & Lemu, H. G. (2017). Design for manufacturing to design for Additive Manufacturing: Analysis of implications for design optimality and product sustainability. *Procedia Manufacturing*, 13, 724–731. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.120>
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). Design for Additive Manufacturing. *Additive Manufacturing Technologies*, (January), 399–435. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3_17
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (Brent). (2010). *Additive manufacturing technologies : 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*.
- Go, J., & Hart, A. J. (2016). A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation. *Additive Manufacturing*, 10, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.03.001>
- Goldschmidt, G., Hochman, H., & Dafni, I. (2010). The design studio crit: Teacher-student communication. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 24(3), 285–302. <https://doi.org/10.1017/S089006041000020X>
- Hague, R., Campbell, I., & Dickens, P. (2003). Implications on design of rapid manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 217(1), 25–30. <https://doi.org/10.1243/095440603762554587>
- Hague, R. J. M. (2006). Unlocking the Design Potential of Rapid Manufacturing. *Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age*, 5–18. <https://doi.org/10.1002/0470033991.ch2>
- Hallgren, S., Pejryd, L., & Ekengren, J. (2016). (Re)Design for Additive Manufacturing. *Procedia CIRP*, 50, 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.150>
- Haupt, G. (2016, March 7). Hierarchical thinking: a cognitive tool for guiding coherent decision making in design problem solving. *International Journal of Technology and Design Education*, pp. 1–31. <https://doi.org/10.1007/s10798-016-9381-0>

- Hopkinson, N., Hague, R. J. M., & Dickens, P. M. (Eds.). (2005). *Rapid Manufacturing*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470033991>
- Huang, S. H., Liu, P., Mokasdar, A., & Hou, L. (2013). Additive manufacturing and its societal impact: A literature review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>
- Ion, A., Frohnhofen, J., Wall, L., Kovacs, R., Alistar, M., Lindsay, J., ... Baudisch, P. (2016). Metamaterial Mechanisms. *In Proceedings of UIST'16*.
- Jin, Y., & Chusilp, P. (2006, January 1). Study of mental iteration in different design situations. *Design Studies*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.06.003>
- Junk, S., & Matt, R. (2015). New approach to introduction of 3D digital technologies in design education. *Procedia CIRP*, 36, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.045>
- Kaiser, M. (2011). Kaiser works. Retrieved from <https://kayserworks.com/#/798817030644/>
- Kietzmann, J., Pitt, L., & Berthon, P. (2015). Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. *Business Horizons*.
- Koff, W., & Gustafson, P. (2012). 3D Printing and the Future of Manufacturing. *CSC Leading Edge Forum*, (June), 1–11. Retrieved from http://assets1.csc.com/innovation/downloads/LEF_20123DPrinting.pdf
- Kudus, S. I. A., Campbell, R. I., Bibb, R. J., Abdul Kudus, S. I., Campbell, R. I., & Bibb, R. J. (2016). Assessing the value of 3D printed personalised products. *7th International Conference on Mass Customization and Personalization in Central Europe (MCP-CE 2016)*, (September), 1–10.
- Kumar, V. (2013). *101 design methods: a structured approach for driving innovation in your organization*. Hoboken, N.J.: Wiley. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Kumke, M., Watschke, H., & Vietor, T. (2016). A new methodological framework for design for additive manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(1), 3–19. <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1139377>
- Laverne, F., Segonds, F., Anwer, N., & Le Coq, M. (2015). Assembly Based Methods to Support Product Innovation in Design for Additive Manufacturing: An Exploratory Case Study. *Journal of Mechanical Design*, 137(12), 121701. <https://doi.org/10.1115/1.4031589>
- Liu, J., Gaynor, A. T., Chen, S., Kang, Z., Suresh, K., Takezawa, A., ... & Cheng, L. (2018). Current and future trends in topology optimization for additive manufacturing. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 57(6), 2457–2483.
- Lourenço, J. (2007). Bolonha: ensino e aprendizagem por projecto.
- Mäkelä, M. (2007). Knowing Through Making: The Role of the Artefact in Practice-led Research. *Knowledge, Technology & Policy*, 20(3), 157–163. <https://doi.org/10.1007/s12130-007-9028-2>
- MGX. (2011). Pushing the boundaries of conventional design.
- Milton, A., & Rodgers, P. (2013). *Research methods for product design*. Laurence King Publishing.

- Myant, C., Li, J., & Wu, B. (2016). The Current Landscape for Additive Manufacturing Research. *2016 ICL AMN Report*.
- NASA. (2014). 3D Printing In Zero-G Technology Demonstration.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, *143*(February), 172–196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- Özkil, A. G. (2017). Collective design in 3D printing: A large scale empirical study of designs, designers and evolution. *Design Studies*, *51*, 66–89.
- Page, T. (2011). Design for additive manufacturing. LAP Lambert Academic Publishing.
- Pedgley, O., & Wormald, P. (2007). Integration of Design Projects within a Ph. D. *Design Issues*, *23*(3), 70–85.
- Pedgley, O. (2007). Capturing and analysing own design activity. *Design Studies*, *28*(5), 463–483. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.02.004>
- Petrick, I. J., & Simpson, T. W. (2013). Point of View: 3D Printing Disrupts Manufacturing: How Economies of One Create New Rules of Competition. *Research-Technology Management*, *56*(6), 12–16. <https://doi.org/10.5437/08956308X5606193>
- Pradel, P., Zhu, Z., Bibb, R., & Moultrie, J. (2018). Investigation of design for additive manufacturing in professional design practice, *4828*. <https://doi.org/10.1080/09544828.2018.1454589>
- Primo, T., Calabrese, M., Del Prete, A., & Anglani, A. (2017). Additive manufacturing integration with topology optimization methodology for innovative product design. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *93*(1–4), 467–479. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0112-9>
- Prince, J. D. (2014). 3D printing: an industrial revolution. *Journal of electronic resources in medical libraries*, *11*(1), 39–45.
- Redwood, Ben; Schoffer, Filemon; Garret, B. (2017). The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications. 3D Hubs B.V.
- Rias, A.-L., Bouchard, C., Segonds, F., & Abed, S. (2016). International Design Conference -Design 2016 Design For Additive Manufacturing : A Creative Approach. *Dubrovnik-Croatia*, 411–420.
- Rias, A. L., Bouchard, C., Segonds, F., Vayre, B., & Abed, S. (2017). Design for additive manufacturing: supporting intrinsic-motivated creativity. In *Emotional Engineering*, Vol. 5 (pp. 99-116). Springer, Cham.
- Rodgers, P. A., Green, G., & McGown, A. (2000). Using concept sketches to track design progress. *Design Studies*, *21*(5), 451–464. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(00\)00018-1](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(00)00018-1)
- Rosen, D. W. (2007). Design for additive manufacturing: a method to explore unexplored regions of the design space. *18th Annual Solid Freeform Fabrication Symposium*, 402–415.

- Rosenkrantz, J., & Louis-Rosenberg, J. (2007). <https://n-e-r-v-o-u-s.com>. Retrieved from <https://n-e-r-v-o-u-s.com>
- Royal Academy of Engineering. (2013). Additive Manufacturing : Opportunities and Constraints. Royal Academy of Engineering, (May 2013), 21. Retrieved from <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/additive-manufacturing>
- Scotland, J. (2012). Exploring the Philosophical Underpinnings of Research: Relating Ontology and Epistemology to the Methodology and Methods of the Scientific, Interpretive, and Critical Research Paradigms. *English Language Teaching*, 5 (9), 9-16.
- Seepersad, C. C. (2014). Challenges and Opportunities in Design for Additive Manufacturing. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 1(1), 10–13. <https://doi.org/10.1089/3dp.2013.0006>
- Seepersad, C. C., Allison, J., & Sharpe, C. (2017). The need for effective design guides in additive manufacturing. In DS 87-5 Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17) Vol 5: Design for X, Design to X, Vancouver, Canada, 21-25.08. 2017 (pp. 309-316).
- Soares, S., & Forkes, A. (2014). Insects Au Gratin - An investigation into the experiences of developing a 3D printer that uses insect protein based flour as a building medium for the production of sustainable food. *Proceedings of the 16th International Conference on Engineering and Product Design Education*, (September), 426–431.
- Sossou, G., Demoly, F., Montavon, G., & Gomes, S. (2018). An additive manufacturing oriented design approach to mechanical assemblies. *Journal of Computational Design and Engineering*, 5(1), 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2017.11.005>
- Spallek, J., & Krause, D. (2018). Decision-Making in Additive Manufacturing – Survey on AM Experience and Expertise of Designers. In *Industrializing Additive Manufacturing - Proceedings of Additive Manufacturing in Products and Applications - AMPA2017* (pp. 347–360). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66866-6_33
- Steenhuis, H.-J., & Pretorius, L. (2017). The additive manufacturing innovation: a range of implications. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), 122–143. <https://doi.org/10.1108/JMTM-06-2016-0081>
- Tamminen, P., & Moilanen, J. (2013). Design Revolution in 3D Printing Processes. In *Consilience and Innovation in Design* (pp. 1165–1176). Tokyo: 5th International Congress of International Association of Societies of Design Research.
- Thomas, G. (2009). *How to do Your Research Project: A Guide for Students in Education and Applied Social Sciences*. SAGE Publications.
- Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., ... Martina, F. (2016). Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65(2), 737–760. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>

- Tofail, S. A. M., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials Today*, 21(1), 22–37. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001>
- Tschimmel, K. (2010). *Sapiens e Demens no pensamento criativo do design*. Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro.
- Tschimmel, K. (2014). *Evolution 6² Booklet*. Matosinhos: ESAD.
- Vaezi, M., Chianrabutra, S., Mellor, B., & Yang, S. (2013). Multiple material additive manufacturing – Part 1: a review. *Virtual and Physical Prototyping*, 8(1), 19–50. <https://doi.org/10.1080/17452759.2013.778175>
- Vaneker, T. H. J. (2017). The Role of Design for Additive Manufacturing in the Successful Economical Introduction of AM. *Procedia CIRP*, 60, 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.012>
- Walters, P., & Davies, K. (2010). 3D printing for artists: research and creative practice. *Rapport: Journal of the Norwegian Print Association*, 1, 12–15.
- Warnier, C., & Verbruggen, D. (2014). *Printing things: visions and essentials for 3D printing*. Berlin: Gestalten.
- Williams, C. B., Tech, V., & Seepersad, C. C. (2009). Design For Additive Manufacturing Curriculum: A Problem- And Project-Based Approach, 81–92.
- Witherell, Paul; Mahesh, Mani; Haeseong, J. (2017). Design for Additive Manufacturing - A categorisation (pp. 1–10).
- Yang, M. C. (2009). Observations on concept generation and sketching in engineering design. *Research in Engineering Design*, 20(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0055-0>
- Yang, S., Tang, Y., & Zhao, Y. F. (2015). A new part consolidation method to embrace the design freedom of additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes*, 20, 444–449. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.06.024>
- Yang, S., & Zhao, Y. F. (2015). Additive manufacturing-enabled design theory and methodology: a critical review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80(1–4), 327–342. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-6994-5>
- Yanko Design. (2007). Oneshot – Folding chair by Patrick Jouin. Retrieved from <https://www.yankodesign.com/2007/03/12/oneshot-folding-chair-by-patrick-jouin/>
- Yap, Y. L., & Yeong, W. Y. (2014). Additive manufacture of fashion and jewellery products: a mini review. *Virtual and Physical Prototyping*, 9(3), 195–201. <https://doi.org/10.1080/17452759.2014.938993>
- Zhang, Y., Bernard, A., Gupta, R. K., & Harik, R. (2014). Evaluating the design for additive manufacturing: A process planning perspective. In *Procedia CIRP* (Vol. 21, pp. 144–150). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.179>
- Zhu, Z., Pradel, P., Bibb, R., & Moultrie, J. (2017). a Framework for Designing End Use Products for Direct Manufacturing Using Additive Manufacturing Technologies, 5(21).

Estes anexos só estão disponíveis para consulta através do CD-ROM.
Queira por favor dirigir-se ao balcão de atendimento da Biblioteca.

Serviços de Biblioteca, Informação Documental e Museologia
Universidade de Aveiro