



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ivo Alberto Rodrigues Cunha

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS PARA
O ESPAÇO PÚBLICO**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia do Produto

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Professor Doutor António José Vilela Pontes

**Professor Doutor Álvaro Miguel do Céu Gramaxo
Oliveira Sampaio**

Janeiro de 2023

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar por agradecer aos docentes que acompanharam todo o desenvolvimento da minha dissertação, de forma a que este trabalho se desenvolvesse da melhor forma.

Posteriormente um grande obrigado à minha família, em especial aos meus pais pois, foram estes, que permitiram que toda esta minha caminhada no ensino superior fosse possível.

Por fim, a todos os meus amigos que este percurso me trouxe, inclusive a minha namorada, pois foram estes que me acompanharam desde o primeiro dia na Universidade do Minho.

Declaração de Integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Com o crescimento constante das cidades e da sociedade em que vivemos atualmente, existem diversos problemas que este crescimento cria, não só pela dimensão populacional, mas também pelo quanto as cidades ainda vão crescer ao longo das próximas décadas.

De entre os mais diversos problemas que as cidades apresentam, a quantidade de emissões de dióxido de carbono é um dos que mais preocupa a sociedade na atualidade, tornando-se assim umas das prioridades da União Europeia, que tem como objetivo obter uma neutralidade carbónica até 2050. De entre todos os setores emissores, o que mais se destaca é o dos transportes, pois é responsável por 60% destas emissões, existindo assim a necessidade de uma mudança na mobilidade da sociedade, para que a neutralidade carbónica seja alcançada.

No entanto para que futuro da mobilidade seja realmente promissor e para que a sociedade siga as mudanças necessárias, as infraestruturas e estruturas das nossas cidades têm de dispor de mais comodidades e apoio a estes novos meios de mobilidade, pois se não se melhorarem as estruturas não poderemos então melhorar a mobilidade.

Com o objetivo de melhorar as estruturas que apoiam os novos meios de mobilidade e todo o conhecimento obtido, é desenvolvido um caso de estudo específico, sendo este na Universidade do Minho, Campus de Azurém. Ao longo do mesmo pretende-se desenvolver uma estrutura que apoie o estacionamento e carregamento das bicicletas elétricas

Para além do objetivo do desenvolvimento de uma da estrutura para uma sociedade sustentável, é também estudado e desenvolvido o processo de produção de fabrico aditivo em grande escala, que permite de igual forma utilizar as diversas vantagens, tais como a redução de material utilizado e desta forma seguir o mesmo alinhamento da sustentabilidade.

No entanto, o estudo e utilização desta tecnologia acarreta um vasto processo de aprendizagem e desenvolvimento, pois é necessário controlar diversos parâmetros, desde o controlo e programação do robô, os parâmetros de extrusão e os materiais.

Palavras-chave: Cidade, Fabrico aditivo em grande escala, Mobilidade, Sustentabilidade.

ABSTRACT

With the constant growth of cities and the society in which we live today, there are several problems that this growth creates, not only by the population size that they present, but also by how much they will still grow over the coming decades.

Among the most diverse problems that cities present, the amount of carbon dioxide emissions is one of the most worrying for society today, thus becoming one of the priorities of the European Union, which aims to achieve carbon neutrality by 2050. Among all emitting sectors, the one that stands out the most is transport, as it is responsible for 60% of these emissions, thus existing the need for a change in mobility of society, so that carbon neutrality is achieved.

However, for the future of mobility to be really promising and for society to follow the necessary changes, the infrastructures and structures of our cities must have more facilities and support for these new means of mobility, because if the structures are not improved, we will not be able to improve mobility.

To improve the structures that support the new means of mobility and all the knowledge obtained, a specific case study is developed, which is the University of Minho, Azurém Campus. Where along it is intended to develop a structure that supports the parking and charging of electric bicycles

Besides the objective of developing a structure for a sustainable society, it is also studied and developed the production process of additive manufacturing on a large scale, which allows the use of several advantages, such as the reduction of material used and thus follow the same alignment of sustainability.

However, the study and use of this technology entails a vast learning and development process, as it is necessary to control different parts, from the control and programming of a robotic arm, and extrusion of polymeric material and use of new software.

Keywords: Additive manufacturing in large scale, City, Mobility, Sustainability.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
1. Introdução	14
1.1 Tema e problemática.....	14
1.2 Motivação e objetivos	15
1.3 Metodologia	16
2. Cidades do futuro	17
2.1 Contextualização de cidade.....	17
2.2 Crescimento das cidades	19
2.3 Problemas nas cidades	20
2.4 Futuras Correções.....	22
3. Mobilidade sustentável	23
3.1 Mobilidade na atualidade.....	23
3.2 O futuro da mobilidade	24
3.3 Eletrificação dos meios de transporte.....	24
3.3.1 Carros elétricos.....	25
3.3.2 Bicicletas/trotinetes elétricas.....	25
3.4 Conclusões.....	26
4. Método de produção estudado.....	27
4.1 Introdução ao fabrico aditivo	27
4.2 Processos do fabrico aditivo.....	28
4.2.1 Material Extrusion	29

4.2.2	Powder Bed Fusion	29
4.2.3	Vat Photopolymerization.....	30
4.2.4	Material Jetting.....	30
4.2.5	Sheet Lamination.....	31
4.3	Capacidade dos processos de produção por fabrico aditivo.....	31
4.3.1	Vantagens	31
4.3.2	Desvantagens.....	32
4.3.3	Necessidades a ter em atenção.....	32
4.4	Conclusão.....	32
5.	Fabrico aditivo em grande Dimensão.....	33
5.1	Big Area Additive Manufacturing (BAAM).....	33
5.2	Robôs no fabrico aditivo.....	34
5.2.1	Robô.....	35
5.2.1.1	Robô antropométrico.....	35
5.2.1.1.1	Controlador.....	36
5.2.1.1.2	Manipulador	36
5.2.1.1.3	Ferramenta	36
5.3	Comunicação com o robot	37
5.3.1	Softwares de programação visual e controlo paramétrico.....	38
5.3.1.1	Kuka KR120 R3100.....	39
5.3.1.2	Kuka PRC.....	40
5.3.1.3	Grasshopper e o processo paramétrico.....	41
5.3.1.3.1	Rhinoceros	41
5.3.1.3.2	Grasshopper.....	41
5.3.1.3.3	Sistemas generativos	42
5.3.1.3.4	Sistemas generativos no Grasshopper	44

5.3.1.3.5	Processo paramétrico	45
6.	Caso de estudo	48
6.1	Levantamento de zonas de estacionamento de bicicletas na Universidade do Minho	49
6.2	Zonas seleccionadas para desenvolvimento	50
6.3	Desenvolvimento	52
6.3.1	Utilizadores	52
6.3.2	Necessidades observadas nos utilizadores	53
6.3.3	Conceitos desenvolvidos	54
6.3.4	Conceitos seleccionados	59
6.3.5	Desenvolvimento de conceitos no software Grasshopper	59
6.3.6	Refinamento do conceito final	63
6.4	Desenvolvimento do código para produção	65
6.4.1	Parâmetros essenciais	65
6.4.2	Definição de comandos	66
7.	Desenvolvimento prático de extrusão com braço robótico	67
7.1	Plano de testes – parâmetros de produção	67
7.1.1	Material utilizado	68
7.1.2	Resultados obtidos	69
7.1.2.1	Teste 1 – Altura da camada	69
7.1.2.2	Teste 2 – Temperatura de extrusão	70
7.1.2.3	Teste 3 – Velocidade de extrusão	71
7.2	Plano de testes 2 – parâmetros da geometria da peça	72
7.2.1	Objetivos de teste	73
7.2.2	Propriedades do material utilizado	73
7.2.3	Resultados obtidos – parâmetros da geometria da peça	74

7.2.3.1	Teste 4 – Inclinação da peça	74
7.2.3.2	Teste 5 – Altura da peça	75
7.2.3.3	Teste 6 – Diâmetro da peça	76
7.3	Avaliação da peça final com base nos testes realizados	76
8.	Metodologia para introdução à tecnologia.....	78
8.1	- Peça padrão	78
8.2	- Parâmetros de avaliação	79
8.3	Problemas e possíveis correções.....	79
9.	Conclusões.....	80
	Referências bibliográficas.....	82
	Anexo A-1 – Teste 1 altura de camadas	84
	Anexo A.2 – Temperatura de extrusão.....	85
	Anexo A.3 – Teste velocidade de extrusão.....	86
	Anexo B.1 – Teste de inclinação das faces da geometria.....	87
	Anexo B.2 – Teste de altura da geometria	88
	Anexo B.3 – Teste de diâmetro da geometria.....	89
	Anexo C – Programação do robô para impressão da geometria final	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia Double Diamond (British Design Council, 2005)	16
Figura 2 - Crescimento da população Mundial nos diferentes locais (United Nations, The World's cities in 2018)	20
Figura 3 - Dados da Agência Europeia do Ambiente sobre as emissões de CO2 (Agência Europeia do Ambiente, 2019)	21
Figura 4 - Objetivos e tendências do futuro das emissões do CO2 (Agência Europeia do Ambiente, 2019)	22
<i>Figura 5 - Dados das atividades de investimento nas tecnologias para veículos elétricos (McKinsey&Company, 2019)</i>	<i>24</i>
Figura 6 - Esquema Material Extrusion (Universidade de Loughborough,)	29
Figura 7 - Esquema Powder Bed Fusion (Wiberg, 2019)	29
Figura 8 - Esquema do processo Vat Photopolymerization (Aachen Center, 2020)	30
Figura 9 - Esquema do processo Material Jetting (3Dexperrience, 2018)	30
Figura 10 - Esquema do processo Sheet Lamination (Gibson et al., 2015)	31
Figura 11 - Esquema de softwares utilizados	38
Figura 12 - Esquema das dimensões do KUKA KR120 (KUKA,2018).....	39
Figura 13 - Ferramentas de utilização no KUKA prc	40
Figura 14 - Fischer & Herr, 2001	43
Figura 15 - Esquema de desenvolvimento generativo (Baxter,2011)	43
Figura 16 - Esquema de sistema generativo (Baxter,2011).....	44
Figura 17 - Interação entre os diferentes parâmetros	45
Figura 18 - Exemplo de metodologia de desenvolvimento do Grasshopper	45
Figura 19 - Esquema de Iordanova adaptado (Fernando Lima, 2014)	47
Figura 20 - Exemplo de resultados obtidos em softwares paramétricos (Iordanova, 2009)	48
.....	
Figura 21 - Estrutura disponível na Universidade para estacionamento	49
Figura 22 - Planta da Universidade com locais de estacionamento assinalados	50
Figura 23 - Zona selecionada	51
Figura 24 - Zona de aproveitamento	51
Figura 25 - Brainstorming de utilizadores do espaço	52

Figura 26 - Diagrama de necessidades	53
Figura 27 - Esboço de exploração de forma	54
Figura 28 - Conceito A.....	55
Figura 29 - Conceito B.....	56
Figura 30 - Conceito C.....	56
Figura 31 - Conceito D	57
Figura 32 - Conceito B.1.....	60
Figura 33 - Conceito B.2.....	61
Figura 34 - Conceito C.1.....	62
Figura 35 - Vista lateral da estrutura desenvolvida.....	63
Figura 36 - Render da estrutura final em utilização	64
Figura 37 - Parâmetros utilizados para programação do robô	65
Figura 38 - Parâmetros de programação para impressão3D	66
Figura 39 - Simulação da execução do código.....	66
Figura 40 - Conjunto de resultados do teste 1	69
Figura 41 - Conjunto de resultados obtidos no teste 2	70
Figura 42 - Conjunto de resultados obtidos no teste 3	71
Figura 43 - Conjunto de resultados obtidos no teste 4	74
Figura 44 - Conjunto de resultados obtidos no teste 5	75
Figura 45 - Conjunto de resultados obtidos no teste 6	76
Figura 46 - Geometria a produzir	77
Figura 47 - Peça padrão desenvolvida.....	78
Figura 48 - Programação visual no Grasshopper.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Processos do fabrico aditivo (Gao et al., 2015)).....	28
Tabela 2 - Ferramentas utilizadas em braços robóticos e respetivas tarefas.....	37
Tabela 3 - Especificações do KUKA KR120.....	39
Tabela 4 - Tabela de resultados obtido em estudo de desenvolvimento paramétrico (Iordanova,2009).....	47
Tabela 5 - Seleção de conceitos.....	59
Tabela 6 - Seleção do conceito final.....	63
Tabela 7 - Plano de testes 1.....	67
Tabela 8 - Propriedades do material (SABIC PP PHC27).....	68
Tabela 9 - - Plano de testes de parâmetros da geometria a executar.....	72
Tabela 10 - Propriedades do BIO-PP820.....	73
Tabela 11 - Resultados obtidos no teste 1.....	84
Tabela 12 - Resultados obtidos no teste 2.....	85
Tabela 13 - Resultados obtidos no teste 3.....	86
Tabela 14 - Resultados obtidos no teste 4.....	87
Tabela 15 - Resultados obtidos no teste 5.....	88
Tabela 16 - Resultados obtidos no teste 6.....	89

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais a população mundial se desloca para os grandes centros urbanos, onde vários estudos demonstram que esta tendência irá continuar a aumentar. Consequentemente, o crescimento da população concentrado faz com que vários problemas tenham vindo a aumentar, onde de entre os mesmos um dos mais impactantes são as emissões de CO₂. Muitos destes problemas, implicam efeitos negativos tanto na saúde da sociedade como dos vários ecossistemas.

Evidencia-se que entre todos os setores emissores de CO₂, o que mais impacto tem e que apresenta um valor crescente é o dos transportes, onde o setor dos transportes pessoais se reflete como o mais poluente. Isto ao longo dos últimos anos tem merecido a atenção da União Europeia que já definiu um conjunto de metas a atingir nas próximas décadas de forma a minimizar e até neutralizar este problema (Hertzke et al., 2019).

Com isto, mesmo a valorização da mobilidade elétrica tem vindo a crescer nos últimos tempos, vindo a atingir valores record, na venda dos mais diversos meios de transporte elétricos, com o objetivo de minimizar o impacto que a deslocação individual através de transportes tem neste mesmo fator (Parlamento Europeu, 2019).

No entanto, para que exista uma sociedade mais sustentável, é necessário que exista uma evolução nas diversas infraestruturas e estruturas existentes nos grandes centros urbanos, para que a população se sinta confortável na transição para este novo estilo de vida.

1.1 Tema e problemática

O tema definido para a realização da dissertação, consiste no desenvolvimento de soluções para espaços urbanos, com problemas apresentados pelos utilizadores que pretendem integrar uma mobilidade mais sustentável, tendo em consideração várias tendências futuras, como por exemplo, os novos métodos de produção.

O desenvolvimento desta solução passará pela utilização do fabrico aditivo, mais especificamente, extrusão por braço robótico devido ao seu crescimento, aplicando e retirando da mesma as diversas vantagens que nos oferece, dentro das quais a redução de material, a rapidez de produção e ainda a liberdade e flexibilidade de estruturas que podem

ser produzidas. Este método de produção encontra-se ainda numa fase inicial de exploração, mas com um grande potencial.

Alguns dos desafios presentes na temática são:

- Estudo do futuro das cidades
- Desenvolvimento de produto;
- Software Grasshopper;
- Produção Fabrico Aditivo – Extrusão;
- Programação e controlo do Robô;

1.2 Motivação e objetivos

Este projeto tem como objetivos abranger duas áreas distintas. Uma delas direcionada a resolver algumas das necessidades dos espaços públicos, entendendo quais apresentam mais constrangimentos aos utilizadores no futuro e assim através das ferramentas de desenvolvimento de produto, apresentar uma proposta que se enquadre na resolução destes constrangimentos trazidos pelas necessidades de uma sociedade mais evoluída.

A outra área de estudo centra-se na produção por fabrico aditivo em grandes dimensões, com o principal objetivo entender as vantagens e desvantagens que este poderá trazer. A utilização deste processo trará consequentemente como objetivo indispensável o estudo dos softwares utilizados para o desenvolvimento de produtos nesta plataforma e ainda a compreensão da utilização do braço robótico e as suas limitações

Lista de objetivos fundamentais:

- Otimização de um espaço urbano futurista que melhore o quotidiano;
- Obter elevado conhecimento sobre o software Grasshopper e sobre robô;
- Concluir qual será a forma mais eficiente da produção com esta tecnologia;
- Vantagens e desvantagens;
- Entender limitações do processo de produção

1.3 Metodologia

Para o desenvolvimento da dissertação apresentada, foi utilizada a metodologia do Double Diamond. Este é um processo com base no Design Thinking e tem assim como objetivo desenvolver a melhor solução para o problema apresentado.

Assim sendo, a metodologia está dividida em dois diamantes, definidos por termos diferentes, como apresentado na figura 1. O primeiro é o “Definition”, onde se pretende pesquisar e definir o problema, e o segundo, “Execution”, onde o objetivo é desenvolver e refinar a solução do problema. Dentro de cada um destes diamantes existem ainda duas fases, a divergente onde se obtém e recolhe mais informação, e a convergente que corresponde a uma fase de maior consolidação de conceitos obtidos (British Design Council, 2005).

Desta forma, esta metodologia foi aplicada a toda a realização da dissertação, onde inicialmente foi resolvido o primeiro diamante “Definition”, que se concentrou na realização do estado da arte dos temas abordados na dissertação. Com isto foi então possível entender, desde o que é uma cidade e onde surgiram, até à direção que as cidades levam para o futuro, podendo assim consolidar esta informação e entender quais os problemas que o crescimento das mesmas trará e as soluções que se pretendem aplicar para melhorar a sua sustentabilidade. Para além disto foi também recolhida informação de qual o processo de produção mais vantajoso e que mais se enquadra no desenvolvimento desta solução e ainda entender como funciona este processo.

Com isto definido e consolidado, passou-se para o segundo diamante “Execution”, onde foi focado o desenvolvimento de todo o estudo. Desta forma é então aplicado o conhecimento adquirido no caso de estudo, situado na Universidade do Minho, desenvolvendo e produzindo o projeto apresentado, através da metodologia referida.

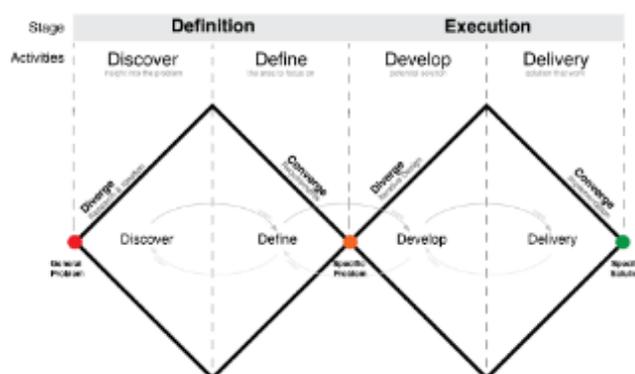


Figura 1 - Metodologia Double Diamond (British Design Council, 2005)

2. CIDADES DO FUTURO

As cidades tem sido tema de discussão constante nos últimos tempos, principalmente devido à enorme necessidade de fazer correções e à evolução da sociedade.

Um dos grandes impulsionadores destas discussões é a União Europeia, pois dois terços vivem em áreas urbanas e é nestas áreas que surgem os maiores problemas.

Estas reflexões irão deste modo servir tanto de fonte de recolha como de inspiração no projeto a desenvolver.

2.1 Contextualização de cidade

“Ao longo da história, as pessoas foram atraídas para as cidades como centros de cultura, aprendizagem e oportunidades económicas. Mas a urbanização também tem custos, especialmente quando ocorre rapidamente. Algumas das maiores cidades de hoje abrigam mais de 20 milhões de pessoas, e outras cidades estão a crescer a uma taxa sem precedentes e potencialmente perigosa” (Sociedade Geográfica Nacional, 2021, p.1).

As primeiras cidades, poderá dizer-se que surgiram há milhares de anos em áreas em que onde o solo se considerava bastante fértil, dando assim à população diversas oportunidades. Estas foram fundadas na região histórica conhecida como Mesopotâmia, por volta de 7500 a.C. devido à sua localização entre os rios Eufrates e Tigre, conhecido como o Crescente Fértil (Sociedade Geográfica Nacional, 2021).

As cidades são um tema de preocupação e de reflexão para diversos historiadores, tanto da atualidade como de séculos passados devido a toda a sua evolução. No entanto, foram historiadores do século XVII, os primeiros a tentar entender e refletir sobre esta temática, como Fustel de Coulanges, em 1864 e sua obra clássica, denominada de “A cidade Antiga”, onde tenta entender e definir quais os principais pilares para a evolução das mesmas.

Este mesmo defende que a criação e desenvolvimento das antigas cidades, como as sociedades gregas e itálicas, está assente em três grandes pilares, sendo estes a família, a religião e o direito à propriedade. Afirma, assim, que por um lado, as cidades se foram construindo através dos sucessivos agregados desta componente essencial que é a família. No entanto, por outro lado, defende que teria sido o sentido religioso das antigas sociedades que fundamentou que o Homem tivesse este valor sobre a família. Para além disto, defende ainda

que estes se vão unindo em maiores grupos conforme as crenças vão aumentando, dando assim origem a diversas populações e “cidades” com religiões distintas.

Esta foi uma das primeiras análises sobre a origem e natureza do aparecimento deste fenómeno urbano, dando origem a diversos sucessores que evoluíram algumas das suas teorias.

No entanto com a evolução das mesmas, que surgem as grandes novas preocupações para as cidades, tornando-se simultaneamente “ambiente”, “sistema”, “ecossistema”, “máquina”, “empresa” (Barros, 2007, p.17).

Uma das principais razões para a evolução das cidades pode definir-se como a Revolução Industrial no século XVIII, que começou na Inglaterra e que acabaria por se espalhar por outras partes da Europa e pelos Estados Unidos. Esta revolução contribuiu desta forma para a criação de fábricas, onde as mesmas necessitavam de grandes quantidades de trabalhadores, criando uma grande movimentação de trabalhadores em direção às cidades. Uma das provas da mesma é o aumento da população em Londres após a revolução. Londres passou de aproximadamente dois milhões de habitantes em 1800, para seis milhões em apenas uma década (Sociedade Geográfica Nacional, 2021).

Desta forma, e devido a toda a evolução deste fenómeno urbanístico, não existe uma definição concreta que consiga abordar a maior parte das cidades e em todos os períodos históricos, no entanto, Barros (2007) apresentou alguns conceitos que estas devem seguir para serem consideradas de cidade, sendo estes a seguir apresentados.

- Quantidade Populacional
- Densidade populacional
- Concentração de poderes
- Autonomia política
- Multifuncionalidade
- Abertura externa
- Localidade de mercado
- Modo de vida
- Padrão de convivência
- Localização permanente
- Extensão espacial. (Barros, J, 2007).

2.2 Crescimento das cidades

Ao longo da evolução e crescimento das cidades, as pessoas foram atraídas para estes centros urbanos como centros de comércio, educação, económico e de cultura. No entanto este crescimento nem sempre foi contante, vindo a aumentar nas últimas séculos.

Esta acelerou após 1800, devido à revolução industrial, como já foi referido anteriormente, comprovando esta informação pelos dados do United States Census Bureau, que indica que 94% da população dos Estados Unidos vivia nas suas áreas rurais. No entanto, 100 anos depois este número diminui 26%, tendo apenas 64% a permanecer nas zonas rurais.

Outro dos motivos para o aumento da população nas áreas urbanas foi também o crescimento das novas tecnologias, sendo muitas delas essenciais para o seu crescimento. Dentro das mais variadas, as que mais se distinguem são as inovações em aço, que viria a permitir a construção de grandes prédios, dando a possibilidade de uma maior densidade populacional. Outra invenção que facilitou a utilização dos mesmos foi a invenção do elevador (Sociedade Geográfica Nacional, 2021).

Com o avançar dos anos foram crescendo e surgindo novas cidades e na transição do século, em 2000, havia 371 cidades com 1 milhão de habitantes ou mais em todo mundo. Contudo, a ONU apresenta que estes números quase duplicaram até a 2018, onde existiam 548 cidades, projetando para 2030 um número ainda superior, de 706.

Para além destas, a urbanização dos últimos anos impulsionou o crescimento de cidades cada vez maiores, criando uma categoria de cidades, as megacidades. Estas definem-se como tendo uma população de 10 milhões de habitantes, ou mais. Segundo as Nações Unidas, o número de megacidades deverá aumentar de 33 em 2018, para 43 em 2030, pois em 2018, 48 cidades tem uma população entre os 5 e os 10 milhões. Dentro destas 43, 10 das mesmas deverão aumentar a sua população e tornar-se megacidades (United Nations, 2018)

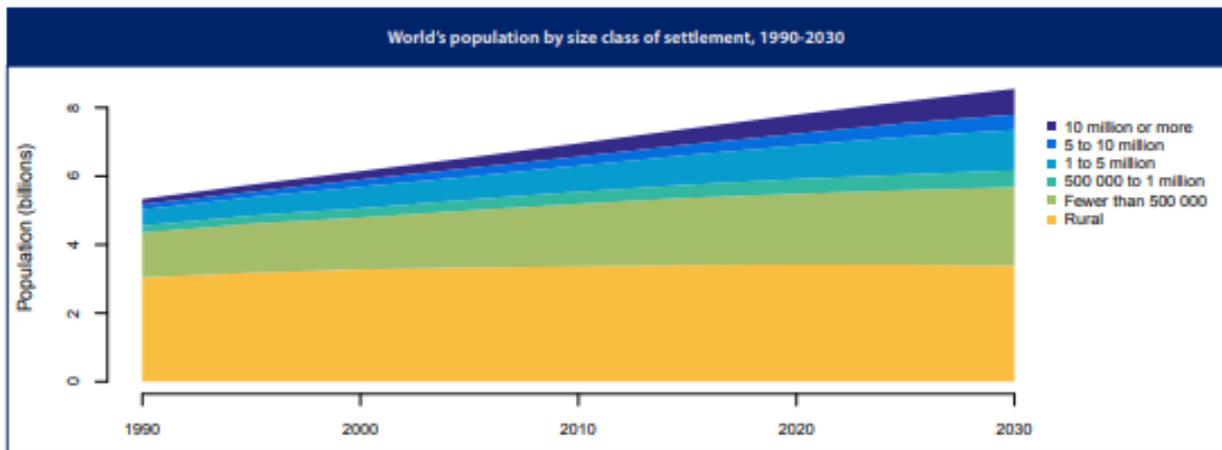


Figura 2 - Crescimento da população Mundial nos diferentes locais (United Nations, The World's cities in 2018)

Como apresentado na figura 2, este crescimento regista-se a nível mundial, independentemente da sua cultura, religião ou zona geográfica. Podendo assim concluir-se, segundo a ONU que até 2030, apenas 28% da população viverá em cidades com menos de 1 milhão de habitantes, fazendo cair a percentagem de população em meios rurais para apenas 40%. (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2018)

Na atualidade, 55% da população mundial vive em áreas urbanas e prevê-se que, esta proporção deverá aumentar para 68% até 2050. Existem regiões mais urbanizadas, onde a Europa ocupa o 3º lugar, tendo assim 74% da sua população a viver em cidades e áreas urbanas (Agência Europeia do Ambiente, 2019).

2.3 Problemas nas cidades

O aumento da população nas cidades, tal como o crescimento das próprias cidades traz consequentemente diversos problemas. As cidades não são apenas motores económicos, estas devem atender aos ingredientes fundamentais para uma boa qualidade de vida em diferentes sentidos, tais como o ambiental, cultural e social (Comissão Europeia Direção Geral da Política Regional, 2017).

De entre os diversos problemas presentes nestes centros urbanos, alguns têm se vindo a destacar, principalmente pelo impacto que começam a ter e pelo que podem vir a crescer. Estes mais abordados, são: (Exati, 2020).

- **Lixo urbano:** devido à exagerada geração de resíduos e o seu fim de vida. Este problema é reforçado ainda pela falta de reciclagem.
- **A mobilidade urbana:** devido à locomoção necessária de grande parte da população para o desenvolvimento natural do seu dia a dia. Esta traz um congestionamento diário criado pela má estruturação das redes de transporte público e as suas condições, tal como o uso excessivo de veículos próprios.
- **Emissão de CO2:** confirma-se que os centros urbanos se não existirem alterações, vão ficar cada vez mais poluídos muito devido à elevada emissão de CO2 presentes nestes. Apesar de cada vez mais existirem restrições e alguma evolução na redução dos mesmos em alguns dos setores, por outro lado o dos transportes continua a aumentar. Com todo o aumento das alterações climáticas, a temática da redução das emissões de CO2 toma uma posição essencial, onde os transportes se destacam. Os transportes são responsáveis por 30% das emissões de dióxido de carbono na União Europeia, dos quais 72% vem dos transportes rodoviários (Agência Europeia do Ambiente, 2019).

Os carros são assim os maiores poluidores, produzindo 60,7% do total das emissões nos transportes na Europa. Isto deve-se não às suas emissões em si, mas à quantidade de carros na estrada, pois quando partilhados podem tornar-se dos transportes mais limpos. No entanto, com uma média de 1,7 passageiros por carro, outros meios como transportes públicos, bicicletas e outras opções de veículos elétricos. (Agência Europeia do Ambiente, 2019)

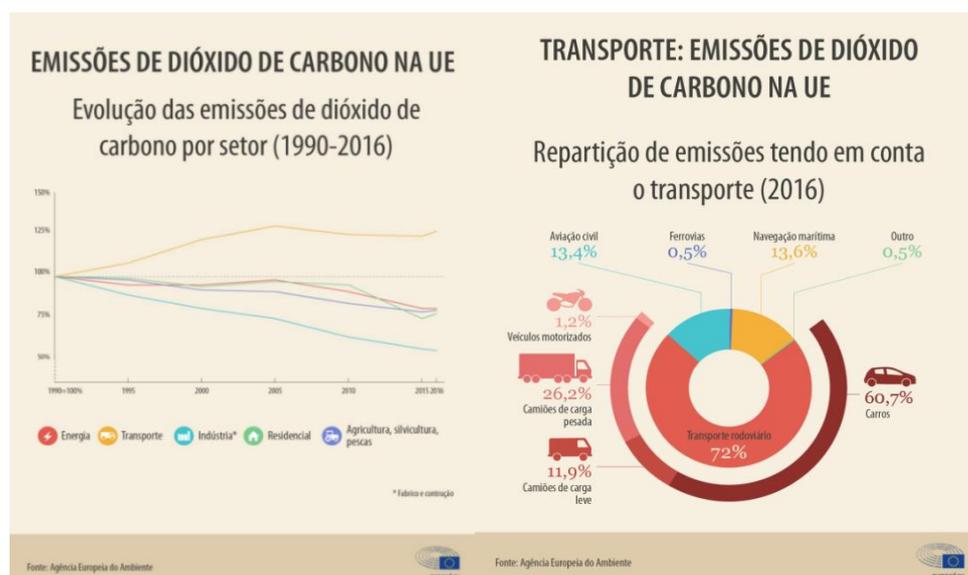


Figura 3 - Dados da Agência Europeia do Ambiente sobre as emissões de CO2 (Agência Europeia do Ambiente, 2019)

2.4 Futuras Correções

De forma a evitar as alterações climáticas, a União Europeia desenvolveu um conjunto de metas de forma a atingir uma neutralidade carbónica até 2050, das quais se destacam:

- Um regime de comércio de emissões para a Indústria: que visa reduzir as emissões na indústria, exigindo uma licença de autorização por cada tonelada de CO₂ que estas emitam.
- Fixação de preços de carbono nos produtos importados: de forma a evitar a fuga de carbono, isto é, controlar empresas da EU que possam deslocar a sua produção para países com regras menos rigorosas relativamente a este assunto.
- Reduzir as emissões nos transportes: devido às emissões dos mesmos propõe-se que estas sejam reduzidas em 60% até 2050. Em 18 de abril de 2021 foi aprovado pelos eurodeputados reduzir as emissões dos camiões de transporte em 30% até 2030. (Parlamento europeu, 2019)



Figura 4 - Objetivos e tendências do futuro das emissões do CO₂ (Agência Europeia do Ambiente, 2019)

3. MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

Perante o estudo, é necessário entender de que forma é que a nossa mobilidade se irá transformar, e através de que meios, em algo mais sustentável para o nosso dia-dia. Isto com o objetivo de minimizar os constrangimentos que esta transição tão necessária para a nossa sociedade trará, através do desenvolvimento de estruturas que permitam uma utilização dos espaços de forma mais eficiente e que responda a estas necessidades do futuro

3.1 Mobilidade na atualidade

Em 2022, com o aumento da população nas cidades, a mobilidade torna-se um dos grandes problemas das cidades, devido às emissões produzidas pelos transportes, refletindo-se em 23% das emissões da União Europeia, e pelo congestionamento de trânsito causado pelos mesmos, onde se perde 130 mil milhões de euros por ano (EIT – Urban Mobility, 2022).

Isto continuará a aumentar com o crescimento da indústria automóvel, devido ao aumento da população que entra na classe média adquirir novos carros, estimando-se que em 2025 se vendam por ano 125 milhões de carros, aumentando assim em 70% anualmente, onde mais de metade se destinam às cidades. Alguns estudos nesta indústria preveem que o número global de carros na atualidade poderá duplicar até 2030 (Baltic, et al., 2019)

Desta forma, as infraestruturas da atualidade não estarão preparadas para suportar este crescente de veículos de transporte, que acaba por se refletir num grande congestionamento, principalmente nas grandes cidades, podendo custar a alguns países entre 2% e os 4% do PIB, na perda de combustível, a perda de tempo e o aumento do custo de produtos e serviços (Fulton, et al., 2014)

Este crescente da utilização de transportes gera como já foi referido anteriormente um aumento das emissões de CO₂, o que acaba por se refletir em várias alterações climáticas que a sociedade enfrenta diariamente. No entanto não se resume apenas às alterações climáticas, estas emissões têm também ligação direta com vários problemas de saúde, devido à poluição do ar que estes provocam (Bouton et al., 2015).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (2014), estima-se que em 2014, sete milhões das mortes prematuras estejam ligadas à poluição do ar, sendo uma percentagem significativa devido ao trânsito.

No entanto, o futuro da mobilidade poderá resolver muitos destes problemas, existindo já várias empresas a desenvolver novas tecnologias de forma a tornar o futuro dos transportes mais sustentáveis.

3.2 O futuro da mobilidade

À medida que o aumento de emissões e do congestionamento foi progredindo e todas as restrições criadas com o objetivo de os resolver, novos modelos de negócio e tecnologias foram surgindo. Ao longo de vários anos foram então analisadas e tentadas implementar diferentes formas de resolver estes problemas, onde alguns destes modelos de negócio e tecnologias se tem destacado e que apresentam um futuro promissor na mobilidade (Bouton et al., 2015).

Pode observar-se desta forma um grande crescimento em diversas áreas que estarão diretamente ligadas ao desenvolvimento da mobilidade, onde o investimento no desenvolvimento de veículos elétricos e o seu carregamento tem sido um dos prediletos. (Möller et al., 2019). Isto verifica-se na figura 5, com dados fornecidos pela MacKinsey&Company.

Investment activities accelerated, with a few industry-shaping moves.

Total disclosed investment amount since 2010¹



¹Sample of 1,183 companies. Using selected keywords and sample start-ups, we were able to identify a set of similar companies according to text-similarity algorithms (similarity to companies' business description) used by the Competitive Landscape Analytics team.

²Autonomous vehicle.

³Advanced driver-assistance system.

⁴Human-machine interface.

Source: CapitalIQ; Pitchbook; McKinsey analysis

Figura 5 - Dados das atividades de investimento nas tecnologias para veículos elétricos (McKinsey&Company, 2019)

3.3 Eletrificação dos meios de transporte

A eletrização dos diferentes meios de transporte, tem vindo a crescer nos últimos anos de forma a mitigar os efeitos das emissões de CO2. De entre os diferentes meios de transporte, há dois que se tem afirmado cada vez mais nas nossas cidades com a sua transformação e evolução para a eletrização, sendo os automóveis elétricos e as bicicletas/trotinetes elétricas (Möller et al., 2019).

3.3.1 Carros elétricos

Dentro destes diferentes meios de transporte o que apresenta uma maior evolução para a eletrificação é o automóvel, também muito devido ao grande mercado que é o dos automóveis. Os veículos elétricos, no mercado automóvel, em 2020 conseguiram aumentar o seu número de vendas em 16%, onde a Europa se tornou o maior mercado de veículos elétricos, ultrapassando assim a China.

De 2010 a 2020, houve um enorme crescimento de veículos elétricos em todo mundo, no entanto, ainda se nos encontramos no início da transição para uma mobilidade mais limpa dos carros (Richter, F, 2021).

3.3.2 Bicicletas/trotinetes elétricas

Apesar dos carros apresentarem um grande crescimento e transformação, existem também meios mais simples como as bicicletas e as trotinetes a sofrer essa evolução. Com o aumento do congestionamento do trânsito e das emissões, estas opções oferecem cada vez mais uma alternativa eficiente, onde segundo o Institute for Transportation and Development Policy, com o crescimento do ciclismo a nível mundial, poder-se-ia economizar 24 triliões de dólares e reduzir as emissões de CO₂ nos transportes até 11% até 2050.

Com adesão a estes meios de transporte, segundo o relatório European Bicycle Market, o mercado das bicicletas cresceu de 100.000 bicicletas, em 2006, para 1,6 milhões em 2016 (CONEBI, 2017).

Cada vez mais se considera este meio de transporte, pois a maioria das pessoas para se deslocar até ao seu trabalho/escola, percorrem menos de 16km que está dentro da autonomia apresentada por estes meios. Desta forma, as bicicletas e as trotinetes elétricas oferecem várias vantagens, onde muitas delas superiores aos carros, podendo-se enumerar como:

- Ocupar menos espaços nas estradas;
- Menor impacto ambiental (baterias mais pequenas);
- Levar o utilizador até ao local;
- Estilo de vida mais saudável.

Para um crescimento contínuo das bicicletas elétricas é necessário implementar medidas para que os utilizadores estejam seguros e tenham as condições necessárias. Estados como a Califórnia já adotaram várias medidas neste sentido, e cada vez mais cidades trabalham nesse sentido, como Berlim, Taipé, São Francisco, entre outras (Hertzke, et al., 2019)

Dentro destas medidas, para além da legislação das diferentes categorias das E-Bikes e E-scooters, uma que tem uma grande relevância é o desenvolvimento de boas infraestruturas, tanto de apoio ao carregamento, como as ciclovias para estas circularem.

3.4 Conclusões

“Se não mudarmos o espaço público nas cidades, não mudamos a mobilidade”

(Gaspar, 2019)

Pode assim concluir-se através dos dados recolhidos, que existe atualmente uma necessidade inerente aos vários problemas presentes na sociedade, em alteramos a forma como a população, principalmente nos grandes centros urbanos, se mobiliza.

Isto reflete-se com o crescente aumento da compra dos diferentes veículos elétricos, onde se verifica que existe, pela parte da sociedade, um interesse em alterar assim as suas formas de mobilidade.

No entanto para que os utilizadores se sintam confortáveis em integrar estes novos meios de mobilidade, é necessário que as cidades tenham todas as estruturas necessárias para que o seu dia-a-dia, seja cada vez mais cómodo.

Assim sendo é necessária uma evolução nos espaços públicos para que esta mudança continue e se consiga consequentemente viver numa sociedade mais sustentável.

4. MÉTODO DE PRODUÇÃO ESTUDADO

Neste capítulo será apresentada uma visão geral dos métodos de produção disponíveis para a estrutura a desenvolver. Desta forma, irá avaliar-se uma das tecnologias em crescimento das últimas décadas, que é o fabrico aditivo e as suas vantagens.

Com isto, pretende-se investigar sobre estas tecnologias com o intuito de identificar a melhor solução para as necessidades de produção previstas e que corresponda às necessidades em que o desenvolvimento da estrutura se situa. Tendo assim como objetivo uma produção que siga a sustentabilidade em que esta se enquadra.

4.1 Introdução ao fabrico aditivo

O fabrico aditivo define-se como conjunto de tecnologias, que a partir de um modelo digital gerado em ambiente computacional, Computer-Aided-Design (CAD), permite produzir modelos físicos, através da sobreposição do material, por camadas (Bose et al., 2018).

O aparecimento do fabrico aditivo surge entre os anos 60 e 70, com o objetivo de produzir mapas topográficos, onde surge a primeira patente de um processo de FA, designado por foto-polimerização (SLA) (Gao et al., 2015). Posteriormente ao aparecimento deste processo pioneiro registou-se um aumento de patentes e de publicações no âmbito académico, nas décadas seguintes, refletindo-se diretamente no aumento de novas tecnologias e processos de produção por FA, como Fused Deposition Modeling, Laminated Object Manufacturing, Selective Laser Sintering (Klahn et al., 2014).

Com toda esta evolução de processos de produção, é nos anos 90 que se registou dos maiores crescimentos nos processos de produção de fabrico aditivo e isto deve-se aos esforços que se concentraram no desenvolvimento de software para o fabrico aditivo, dando assim origem a alguns dos formatos que ainda se utilizam na atualidade, como o STL, LEAF, LMI, etc. (Pham & Dimov, 2001).

Para além disto, a grande comercialização destas tecnologias permitiu também que evoluíssem para processos cada vez mais eficazes, fiáveis e baratos, levando várias entidades a implementar e utilizar estas tecnologias para produzir os seus próprios modelos físicos, captando assim cada vez mais público.

Após o ano 2000, várias patentes expiraram, dando espaço a que muitos desses processos crescessem e fossem introduzidos no mercado, permitindo o acesso a cada vez mais indivíduos, o fabrico aditivo entra numa competição com outras tecnologias de produção existentes na época (Thompson et al., 2016).

Na atualidade, esta indústria apresenta um crescimento contínuo ao longo dos últimos 10 anos, onde tem vindo a apresentar um aumento de 27,4%. Com a pandemia em 2021 registou-se um crescimento inferior, mas mesmo assim bastante positivo, registando um aumento de 19,5% (Wohlers Associates, 2022).

4.2 Processos do fabrico aditivo

De forma a caracterizar todos os processos de produção do fabrico aditivo, no início dos anos 90, caracterizaram-se todos os processos, dividindo-os por três classes de acordo com o material utilizado. Dividiu assim em processos: Com base em líquido, com base em pó e com base sólida (Khurt, 1991). No entanto, mais recentemente, a ASTM internacional, criou uma classificação com as tecnologias de fabrico aditivo, em sete categorias, como apresentado na tabela 1. (Gao et al., 2015).

Tabela 1 - Processos do fabrico aditivo (Gao et al., 2015))

CATEGORIES	TECHNOLOGIES	PRINTED "INK"	POWER SOURCE	STRENGTHS / DOWNSIDES
Material Extrusion	Fused Deposition Modeling (FDM)	Thermoplastics, Ceramic slurries, Metal pastes	Thermal Energy	<ul style="list-style-type: none"> Inexpensive extrusion machine Multi-material printing Limited part resolution Poor surface finish
	Contour Crafting			
Powder Bed Fusion	Selective Laser Sintering (SLS)	Polyamides /Polymer	High-powered Laser Beam	<ul style="list-style-type: none"> High Accuracy and Details Fully dense parts High specific strength & stiffness Powder handling & recycling Support and anchor structure Fully dense parts High specific strength and stiffness
	Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	Atomized metal powder (17-4 PH stainless steel, cobalt chromium, titanium Ti6Al-4V), ceramic powder		
	Selective Laser Melting (SLM)			
	Electron Beam Melting (EBM)		Electron Beam	
Vat Photopolymerization	Stereolithography (SLA)	Photopolymer, Ceramics (alumina, zirconia, PZT)	Ultraviolet Laser	<ul style="list-style-type: none"> High building speed Good part resolution Overcuring, scanned line shape High cost for supplies and materials
Material Jetting	Polyjet / Inkjet Printing	Photopolymer, Wax	Thermal Energy / Photocuring	<ul style="list-style-type: none"> Multi-material printing High surface finish Low-strength material
Binder Jetting	Indirect Inkjet Printing (Binder 3DP)	Polymer Powder (Plaster, Resin), Ceramic powder, Metal powder	Thermal Energy	<ul style="list-style-type: none"> Full-color objects printing Require infiltration during post-processing Wide material selection High porosities on finished parts
Sheet Lamination	Laminated Object Manufacturing (LOM)	Plastic Film, Metallic Sheet, Ceramic Tape	Laser Beam	<ul style="list-style-type: none"> High surface finish Low material, machine, process cost Decubing issues
Directed Energy Deposition	Laser Engineered Net Shaping (LENS) Electronic Beam Welding (EBW)	Molten metal powder	Laser Beam	<ul style="list-style-type: none"> Repair of damaged / worn parts Functionally graded material printing Require post-processing machine

Desta forma, estas tecnologias irão ser apresentadas, com o objetivo de fazer uma revisão à sua evolução dos últimos anos e entender melhor o seu funcionamento.

4.2.1 Material Extrusion

Este processo consiste em direcionar o material que se encontra em estado sólido, em direção ao bocal, onde este é aquecido de forma a fundir o material. Em seguida este bocal move-se sobre a plataforma, horizontalmente, depositando o material fundido, camada a camada, conforme a estrutura do objeto a produzir.

Tecnologias – FDM; Countor Crafting

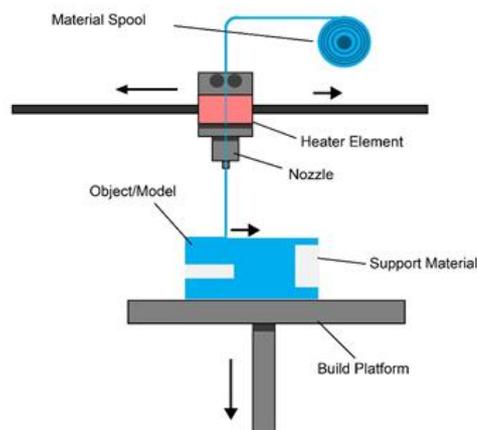


Figura 6 - Esquema Material Extrusion (Universidade de Loughborough,)

4.2.2 Powder Bed Fusion

Este processo consiste no uso do material em pó, que é espalhado pela mesa de trabalho através de um mecanismo de rolos, criando uma espécie de “cama” de pó. Este material é fundido de forma a se ligar entre si através de um laser ou feixe de elétrons. Camada a camada vai-se construindo, onde no final, já em pós processamento, todo esse excesso de pó por camada tem de ser derretido.

Tecnologias – SLS, SLSM, DMLS, EBM

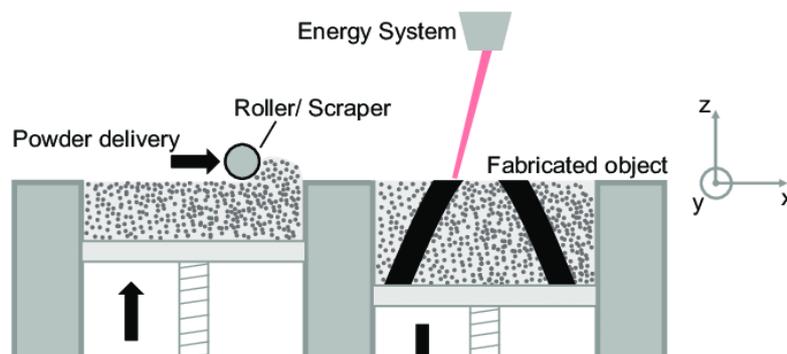


Figura 7 - Esquema Powder Bed Fusion (Wiberg, 2019)

4.2.3 Vat Photopolymerization

Segundo a ASTM, é definido como a utilização de polímero em estado líquido contido dentro de uma zona de trabalho. Este material em estado líquido é polimerizado através de luz ultravioleta.

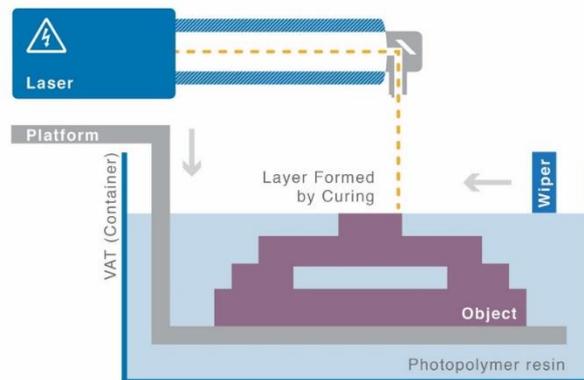


Figura 8 - Esquema do processo Vat Photopolymerization (Aachen Center, 2020)

4.2.4 Material Jetting

O processo apresentado consiste na utilização e deposição do material na zona de construção, em estado líquido, neste caso em forma de gota através de métodos piezoelétricos, que posteriormente será polimerizado por uma luz ultravioleta. Este procedimento é assim repetido camada a camada.

Tecnologias – Polyjet Printing

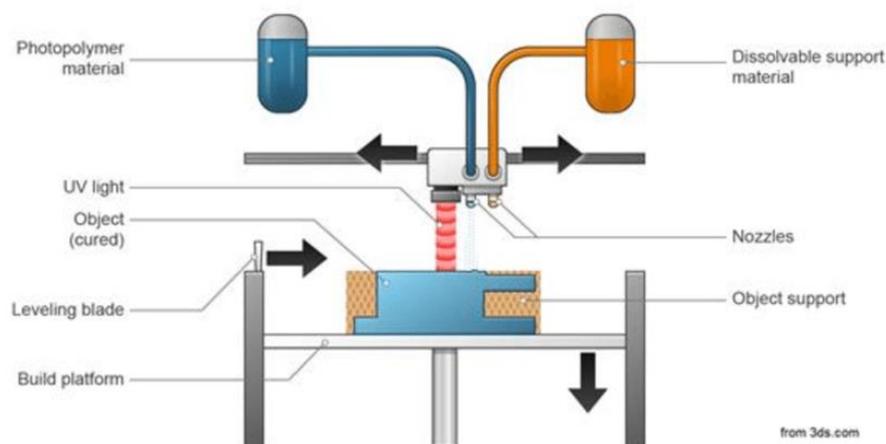


Figura 9 - Esquema do processo Material Jetting (3Dexperiance, 2018)

4.2.5 Sheet Lamination

O processo em questão consiste no corte de folha do respetivo material camada por camada. Este material está contido num rolo e vai passando pela mesa onde é cortado com a geometria que se pretende obter naquela determinada camada e assim sucessivamente. Cada camada é unida à anterior até chegar à estrutura desejada

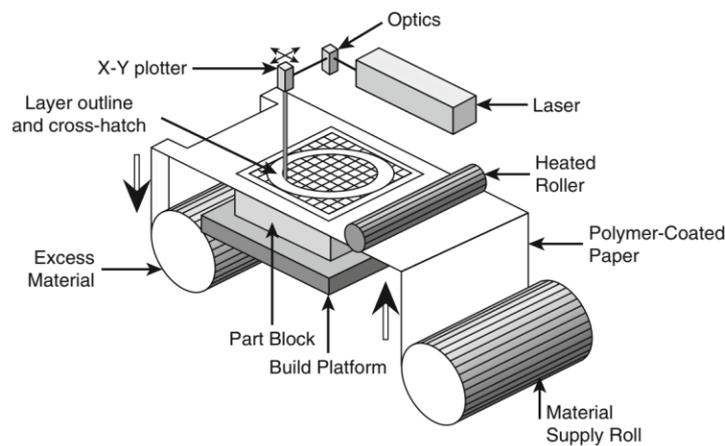


Figura 10 - Esquema do processo Sheet Lamination (Gibson et al., 2015)

4.3 Capacidade dos processos de produção por fabrico aditivo

Comparativamente a métodos mais tradicionais, os processos de produção por fabrico aditivo apresentam tanto características distintas como limitações. Dentro das várias, algumas destacam-se, o que torna este método de produção único.

4.3.1 Vantagens

- Flexibilidade no design e complexidade das peças – a sua produção característica por camadas, permite a produção de estruturas mais complexas.
- Precisão dimensional – grande parte dos processos oferecem uma precisão dentro ou inferior à escala do milímetro.
- Menor necessidade de montagem – o processo permite produzir diferentes peças, que por processos convencionais necessitavam de diferentes processos e depois a sua montagem.
- Custos de produção – baixo custo de produção, pois não é necessária a criação de ferramentas para a produção de determinado produto.

- Utilização de menos material – sendo uma tecnologia de adição de material esta, só irá adicionar o material necessário para a construção do objeto, reduzindo assim o desperdício.

4.3.2 Desvantagens

- Produção em massa – devido ao tempo de produção de algumas peças
- Material – os processos de produção por fabrico aditivo, processam apenas um tipo de material. (exemplo: materiais poliméricos, ou materiais metálicos...).

4.3.3 Necessidades a ter em atenção

- Qualidade da peça – em geral, a qualidade apresentada pela peça é maioritariamente determinada pela espessura da camada.
- Material de suporte – dependendo da tecnologia a utilizar, é necessária a atenção ao suporte necessário para peças mais complexas.
- Pós processamento – após a produção da peça são necessários alguns processos de limpeza e acabamento em alguns casos. (Gao et al., 2015)

4.4 Conclusão

Com esta análise pode verificar-se que as aplicações dos processos de fabrico aditivo oferecem várias vantagens que se irão tornar interessantes para o desenvolvimento do caso de estudo em questão, devido à flexibilidade estrutural que estes processos oferecem.

Para além disso, estando o desenvolvimento da estrutura ligado diretamente à sustentabilidade que a sociedade pretende atender, a sua característica de deposição de material irá também permitir a redução de resíduos e a utilização apenas de material necessário para a produção.

No entanto, sendo o objetivo do projeto o desenvolvimento de produto com grandes dimensões, para o apoio da mobilidade do futuro, as tecnologias apresentadas, não permitem a produção das dimensões exigidas.

Surge assim a necessidade de estudar os processos já existentes para a produção em fabrico aditivo de grande escala.

5. FABRICO ADITIVO EM GRANDE DIMENSÃO

Na atualidade, o processo de fabrico aditivo, com base na extrusão do material, (extrusion-based additive manufacturing, EBAM), designa-se como uma das tecnologias com crescimento mais rápido e que apresenta um grande o potencial de inovação em distintas áreas de aplicação (Mikula et al., 2021)

Uma das evoluções desta tecnologia dos últimos anos é o fabrico aditivo de grande escala, também denominado como BAAM (Big Area Additive Manufacturing), que tem como grande objetivo melhorar a indústria da manufatura, permitindo produzir peças grandes à escala real, podendo eliminar problemas como tempo de produção e custos de desenvolvimento de ferramentas de produção, como moldes (Shah et al., 2019).

5.1 Big Area Additive Manufacturing (BAAM)

A tecnologia Big Area Manufacturing foi então desenvolvida pela Cincinnati Incorporated e pelo Oak Ridge National Laboratory's Manufacturing Facility e consiste num processo de produção por extrusão de filamento fundido (FFF) depositado por camadas. Visto este processo (FFF) ser utilizado regularmente a pequena escala, o BAAM, torna-se a primeira incursão do FFF na produção de grandes peças.

Com isto, este novo processo requer uma série de novos parâmetros de desenvolvimento, comparativamente ao processo de pequena escala, apesar da maioria das restrições da impressão de peças em pequena escala ainda se aplicarem ao BAAM, tais como:

- Impressão horizontal sem apoio entre duas “torres”;
- Cavidades;
- Redução de resistência a força aplicada em Z;
- Acabamento e resolução da impressão;
- Ângulo de sustentação (Roschli et al., 2019).

No entanto, o BAAM, permite utilizar duas categorias diferentes de processo: a extrusão de filamento (FFF), como referido anteriormente, e a extrusão por grânulos (Rane & Strano, 2019). Neste caso, a máquina utilizada para o processo é equipada com uma extrusora, onde os rolos que empurrariam o filamento são trocados por um parafuso que transporta os

grânulos da tremonha até ao bico, passando por todo o cilindro de extrusão, através da sua rotação (Kumar et al., 2018).

Para a aplicação de ambas as categorias disponíveis, tanto FFF como extrusão de grânulos, tem de se aplicar a alguma máquina que permita estas se movimentarem para fazer a impressão. Desta forma, existem duas opções a ser utilizadas atualmente. Um dos equipamentos utilizados são os pórticos, que pode ser facilmente controlado e permitem transportar cargas pesadas como é o caso da extrusora.

No entanto, não apresentam muitos graus de movimento, o que acaba por limitar na execução de saliências sem suporte ou de trabalhar sobre outras estruturas. São também difíceis de instalar e ocupam bastante espaço devido à sua estrutura. (Keating et al., 2017).

Como alternativa aos pórticos tem-se vindo a utilizar cada vez mais sistemas baseados em braços robóticos, que apesar do seu controlo ser mais complexo, apresentam uma liberdade de movimento superior e ocupam menos espaço (Hack et al., 2015). Assim é então colocada a extrusora na extremidade do robot (que neste caso é utilizada apenas a extrusão de grânulos e não FFF), o que oferece um sistema de elevada flexibilidade, que acaba por ser bastante adequado para a produção de estruturas complexas de grande dimensão (Kampker et al., 2019).

De entre as diversas marcas que produzem braços robóticos, os dois mais utilizados atualmente, neste tipo de processo, são os ABB e os KUKA, devido à versatilidade de desempenho apresentado.

5.2 Robôs no fabrico aditivo

Na atualidade, os robots são utilizados em várias tarefas para além das industriais, onde se limitavam a substituir o Homem em tarefas demasiado repetitivas e algumas demasiado perigosas para o mesmo as desempenhar.

Verifica-se assim na última década, um aumento deste tipo de equipamentos nos restantes setores, muito devido à adesão de arquitetos, designers e investigadores a novas metodologias. Isto deve-se ao aumento de ferramentas de programação visual, permitindo a quem tem menos conhecimento em linguagens de programação, a interação com os robots de uma forma mais simples (Morais, 2022).

5.2.1 Robô

Um robô industrial consiste num mecanismo elétrico ou mecânico com três ou mais graus de liberdade e controlado e programado por um computador. “manipulador multipropósito controlado automaticamente, sendo programável em três ou mais eixos” (Standardization, 2012).

No mercado existe assim uma panóplia de robôs distintos, com capacidades e características distintas, como a carga que suporta, os graus de liberdade, a distância de alcance dependendo da tarefa a desempenhar.

De entre os vários disponíveis, o que se apresenta como mais multifacetado é o robot Antropométrico, que permite desempenhar quase qualquer função necessária. Este é intensamente utilizado nas mais diversas indústrias e está também a ser adotado pelos outros setores, principalmente na investigação e por designers, devido à liberdade que apresenta nas suas funções (Morais, 2022).

5.2.1.1 Robô antropométrico

Este tipo de robots pode diferenciar-se em dois conceitos distintos, o robô antropométrico colaborativo e o robot antropométrico não colaborativo. O que diferencia estes dois é o facto do colaborativo ser desenvolvido e estar preparado com mais tecnologia para trabalhar com conjunto com o ser humano., apoiando-o assim numa ou mais tarefas, sem nunca colocar em risco tanto o robot, como o operário, em caso de boa utilização (Universal, 2021).

Este conceito de robot colaborativo “COBOT”, surge em 1999, numa patente nos Estados Unidos da América, onde foi definido como “um aparelho e método para a interação física e direta entre uma pessoa e um dispositivo de natureza genérica controlada por um computador” (Euautomation, 2020).

Independentemente do conceito, os sistemas utilizados por estes robots antropométricos dividem-se em três partes diferentes, o controlador, o manipulador e a ferramenta utilizada (Morais, 2022).

5.2.1.1.1 Controlador

O controlador do robot pode ser considerado como o “cérebro” do mesmo, pois é o responsável por processar e transmitir a informação que irá comandar todos os movimentos e ações dos eixos e das ferramentas.

Este equipamento é constituído por três componentes, sendo estas o computador, a unidade de controlo e potência e ainda uma consola de comando de operações. Estes desempenham as seguintes funções:

1. Computador – serve de interface ao utilizador com o objetivo de controlar os diferentes parâmetros ao mesmo tempo que processa toda a informação fornecida.
2. Unidade de controlo e potencia – é responsável por transformar as informações fornecidas pelo computador em energia para os diferentes componentes do robot, fazendo com que ele desempenhe as funções que o utilizador pretende.
3. Consola de comando de operações – esta permite controlar totalmente as funções e ações do robot. Sendo o interface físico entre o utilizador e o robot, esta permite desde definir todas as definições possíveis e trabalhar com ele controlado apenas por esta consola.

5.2.1.1.2 Manipulador

O manipulador é considerado a estrutura física que constituiu o braço robótico. Consiste assim num conjunto de eixos rígidos, normalmente construídos em aço ou em alumínio ligados por eixos rotativos, que permitem um conjunto de movimentos distintos, numa cadeia cinemática. Este é constituído por diferentes componentes como os atuadores, responsáveis pelo movimento dos eixos e os sensores que transmitem toda a informação em tempo real para o controlador.

Este manipulador terá mais liberdade de movimentos, permitindo assim uma maior capacidade de desempenhar diferentes funções. De entre as diversas opções de manipuladores que nos são apresentados, o mais comum é apresentarem 6 eixos, no entanto podendo variar também entre os 4 e os 7 eixos.

5.2.1.1.3 Ferramenta

A ferramenta utilizada, consiste no dispositivo que está conectado ao manipulador e que efetua as operações que o robot pretende. Designa-se assim por *end effector* (órgão

terminal). Tem assim como objetivo interagir com o ambiente, entrando em contacto com os objetos, materiais e até executar tarefas que sejam pretendidas.

Como apresentado na tabela 2, para as diferentes tarefas a desempenhar existem vários tipos de ferramentas dependendo o objetivo. Podem enumerar-se então como:

Tabela 2 - Ferramentas utilizadas em braços robóticos e respetivas tarefas

TAREFA	FERRAMENTA
Transporte	Garra
Maquinação	Spindel
Corte	Fita de corte Jato de água Laser Fio quente
Fabrico aditivo	Extrusora (polímero, cimento, cerâmica)

Pode assim entender-se a versatilidade que um braço robótico apresenta, pois para além dos graus de liberdade que este apresenta na execução das suas atividades, a disponibilidade de diversos *end effectors* que podem ser colocados na ponta do manipulador aumenta ainda mais as tarefas que este pode executar.

5.3 Comunicação com o robot

Para a comunicação com o robot é necessário a utilização de softwares que permitam a programação das funções que estes irão desempenhar. Para este efeito existem dois tipos de programação, a on-line e a off-line.

- A **programação on-line** exige a presença do operador junto do manipulador, onde este manualmente irá então deslocar o robot, através da consola de comando de operações (*teach-pendant*), percorrendo vários pontos da trajetória que este deverá executar e gravando-o no final, para que este repita o programa autonomamente de seguida.
- A **programação off-line** não apresenta as mesmas exigências do anterior, pois permite programar a função que o robot terá de executar, através de um software de programação (textual ou visual), antes da realização do mesmo, ou até mesmo durante

a tarefa. Para além disto, permite ainda que não seja necessário estar no mesmo local que o robot, o que oferece assim ainda mais segurança.

Atualmente, este tipo de software apresenta ainda a possibilidade de executar uma simulação antes de colocar o programa em funcionamento, diminuindo a ocorrência de incidentes ou erros na tarefa a executar.

Para este efeito existem diversos softwares que permitem a programação dos robots, no entanto, as marcas dos robots apresentam sempre um software com uma linguagem específica. Um dos exemplos é o fabricante KUKA, e o seu software de programação visual Kuka prc, desenvolvido para o Grasshopper, que usa uma linguagem KRL.

No entanto, apesar de qualquer que seja o método de programação, o objetivo será sempre a criação de um código que permita uma leitura e interpretação pela parte do robot.

5.3.1 Softwares de programação visual e controlo paramétrico

Como referido anteriormente, o desenvolvimento destes softwares de programação visual acabou por suscitar o interesse de utilizadores com menos conhecimento na área da programação, como investigadores na área do design e arquitetura. A junção da versatilidade de funções e facilidade de programação dos robots, traz consequentemente o desenvolvimento softwares de bases paramétricos. Estes permitem assim que enquanto se explora o desenho e se desenvolva o projeto se possa pensar e explorar a produção e montagem.

Sendo o braço robótico, presente nas instalações da Universidade do Minho, da marca KUKA, torna-se pertinente um maior estudo e mais investigação em torno da linguagem e softwares da marca referida.

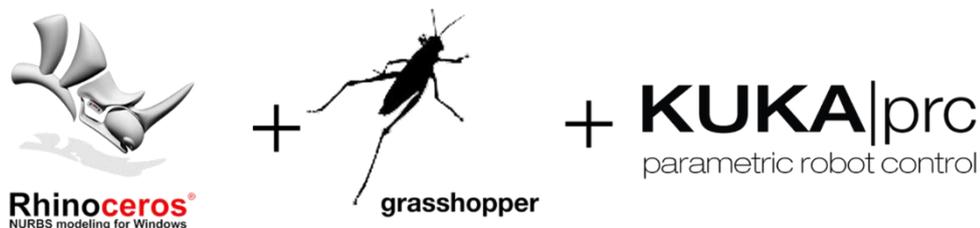


Figura 11 - Esquema de softwares utilizados

5.3.1.1 Kuka KR120 R3100

O robot Kuka KR120 R3100 consiste num braço robótico com seis eixos, numerados desde a base até à flange. Este apresenta uma carga útil de 120 kg e um alcance total de 3,1 metros. No desempenho das suas funções apresenta um desvio de 0.05 mm.

Pode ser aplicado em várias áreas como impressão 3D, montagem, corte, perfuração, maquinagem, paletização e pick and place.

- Espaço de trabalho
- Ficha técnica

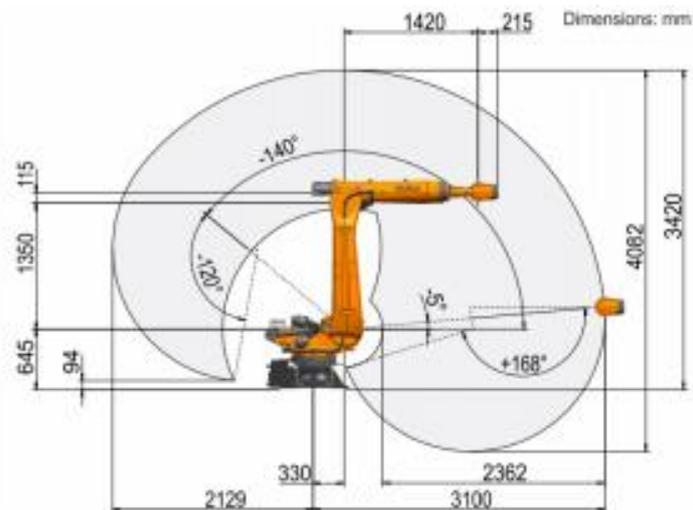


Figura 12 - Esquema das dimensões do KUKA KR120 (KUKA,2018)

Tabela 3 - Especificações do KUKA KR120

Maximum reach	3100 mm
Rated payload	120 kg
Maximum payload	210 kg
Maximum supplementary load, rotating column / link arm / arm	300 kg / 130 kg / 150 kg
Pose repeatability (ISO 9283)	± 0.05 mm
Number of axes	6
Mounting position	Floor
Footprint	754 mm x 754 mm
Weight	approx. 1105 kg

5.3.1.2 Kuka PRC

O Kuka PRC é uma das mais completas ferramentas de programação de robots, desenvolvido pela *Association for Robots in Architecture*. Consiste num *add-on*, desenvolvido para o grasshopper, que permite o controlo do robô, neste caso da marca Kuka. Este dá a possibilidade de gerar o modelo que se pretende desenvolver e em simultâneo gerar os comandos para que o robot execute a tarefa. Este oferece ainda a possibilidade, de em ambiente digital simular a tarefa a desempenhar, permitindo assim perceber os comportamentos que o robot apresenta com os comandos dados, diminuindo a ocorrência de erros antes da execução dos mesmos.

Através deste software e com a articulação de outras ferramentas/*plug-ins*, que o Grasshopper oferece, é possível assim executar tarefas diversificadas, sendo um dos casos a programação para o fabrico aditivo.

Para executar este tipo de tarefas, pode adicionar-se a utilização do *add-on* Xylinus, que permite gerar o percurso que o robot deve percorrer para a impressão da peça desejada. Os dados obtidos neste software podem ser utilizados diretamente como percurso para o *plug-in* utilizado para a programação. (HOOVER, 2021)

Na utilização do Kuka prc é necessário entender que a sua interface apresenta cinco grupos de funções, que agrupam assim os seguintes atalhos.

1. **Core** – Componente principal que assume todas as ações do robot. Considera-se uma unidade de controlo virtual.
2. **Virtual Robot** – Permite selecionar o modelo do robot que irá ser utilizado para a execução da tarefa.
3. **Virtual Tool** – Permite selecionar a ferramenta para a tarefa adequada.
4. **ToolPath Utilities**
5. **Utilities** – Permite adicionar algumas funções extras para além das disponíveis no Core

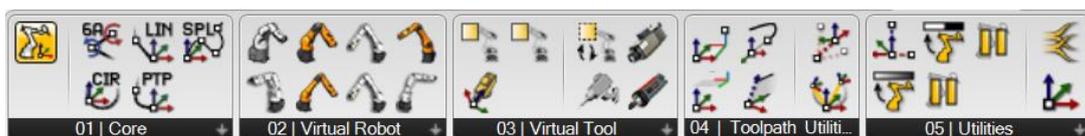


Figura 13 - Ferramentas de utilização no KUKA prc

5.3.1.3 Grasshopper e o processo paramétrico

O Grasshopper, plugin que opera a partir do Rhinoceros, na sua utilização fundamenta-se em dois processos principais, o generativo e o paramétrico. Desta forma, irá ser apresentado e realizado um estudo sobre estes princípios com o objetivo de entender o processo de modelação tridimensional através do processo generativo de produto.

5.3.1.3.1 Rhinoceros

O Rhinoceros 3D, também conhecido Rhino3D, consiste num software de modelação tridimensional com base na tecnologia NURBS. Porém também pode trabalhar com as designadas Meshes, ou malhas poligonais.

Foi desenvolvido pela Robert McNeel & Associates para o sistema operacional Windows e MAC. O programa nasceu como um plug-in para o AutoCAD, da Autodesk, consequentemente, surge com uma série de semelhanças com a interface gráfica e barra de comandos.

Posteriormente com este software mais desenvolvido, o projeto tornou-se um software independente.

5.3.1.3.2 Grasshopper

O Grasshopper, é uma linguagem de programação visual, que trabalha no programa de desenho auxiliado por computador (CAD) designado por Rhinoceros 3D, que como já mencionado anteriormente utilizada como geometria nativa as NURBS, com o objetivo de facilitar a programação com a utilização de componentes visuais, através de processos generativos.

O programa foi criado por David Rutten na Robert McNeel & Associates. Os componentes são criados agrupando e arrastando os mesmos para a tela. As saídas para esses componentes são então conectadas às entradas dos componentes subsequentes, construindo desta forma uma série de ligações e interações entre todo o conjunto.

Isto permite automatizar processos repetitivos através da programação visual, criando assim componentes que podemos aplicar a qualquer projeto, tornando-o paramétrico. Um modelo paramétrico permite interações extremamente rápidas.

É também utilizado para criar algoritmos generativos, onde muitos dos componentes criam geometrias 3D, no entanto, podem também conter outros tipos de algoritmos, como aplicações numéricas, textuais, audiovisuais e ainda hápticos.

A utilização do Grasshopper a um nível mais avançado pode chegar ao ponto de aplicações ligadas à modelação paramétrica para engenharia estrutural, modelação paramétrica para arquitetura e a sua produção e ainda análise de desempenho ecológica.

5.3.1.3.3 Sistemas generativos

Sistemas generativos de projeto têm vindo a ganhar mais popularidade no desenvolvimento de projetos, pois trás diversas vantagens conduzindo nos últimos anos a vários estudos e publicações de diferentes artigos de vários autores.

Será realizada assim uma revisão da literatura com base nestes artigos e estudos já realizados.

Os sistemas generativos, podem definir-se como uma ferramenta para exploração de resultados em diferentes áreas, tais como a arquitetura, a engenharia e o design. Estes sistemas diferenciam-se dos mais comuns métodos de desenvolvimento de projeto, onde se centram numa resolução do problema apresentado. (Fischer & Herr, 2001). Caracterizam-se desta forma, pelo processo lógico construído por diferentes variáveis, dispendo assim de várias alternativas para o problema.

Estas variáveis ou regras, fazem com que as ideias que derivam desta ferramenta se interrelacionem e podendo desta forma oferecer um amplo campo de soluções. No entanto, é necessário um entendimento, pela parte de quem está a desenvolver o projeto (Martino, 2015).

Consequentemente, o desenvolvimento de um sistema generativo digital, divide-se em cinco etapas, a que o designer/engenheiro/arquiteto, deve ter como base:

- A compreensão do problema;
- Informações e dados do problema;
- Os parâmetros que podem ser variáveis, ou não;
- A estrutura lógica para a resolução das soluções;
- O resultado das soluções. (Dino, 2012)

Esta base torna-se fundamental, pois irá interferir diretamente com as possíveis soluções apresentadas pelos sistemas. Por vezes, um problema com várias variáveis bem definidas

apresenta um grupo menor de soluções, no entanto, um problema menos definido pode integrar uma vasta quantidade de alternativas (Celani & Verzola Vaz, 2013).

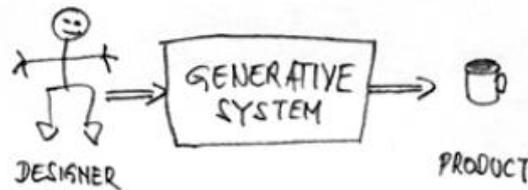


Figura 14 - Fischer & Herr, 2001

Isto permite que os sistemas generativos, através das características anteriormente apresentadas, se apliquem a diferentes finalidades, dependendo da quantidade de soluções que são desejadas:

1. **Otimização do projeto/produto** – por norma os critérios estão bem definidos e pretende-se realizar testes a todas as variáveis viáveis com o objetivo de selecionar a mais otimizada.
2. **Geração de “famílias” de objetos** – tem como objetivo criar uma vasta gama de objetos que apresentem semelhanças entre si.
3. **Exploração** – as variáveis apresentadas para o desenvolvimento do projeto não estão muito definidas, permitindo ao sistema gerar uma maior quantidade de soluções até encontrar a desejada (Celani & Verzola Vaz, 2013).

No entanto, independentemente da finalidade a que o sistema se refere, para se obter boas propostas, deverão sempre existir características detalhadas relevantes, logo na fase inicial do desenvolvimento do projeto, impedindo de certa forma que se realizem mudanças em fases mais avançadas, onde se poderá assim perder tempo considerável nestas alterações.



Figura 15 - Esquema de desenvolvimento generativo (Baxter, 2011)

Estas características definem os possíveis critérios a aceitar pelas soluções geradas, impondo fronteiras, ficando o espaço para o problema entre estas fronteiras, as soluções existentes e a meta (Baxter, 2011).



Figura 16 - Esquema de sistema generativo (Baxter,2011)

Os sistemas generativos, podem classificar-se assim em dois grupos, sendo um baseado na lógica e outro na biologia, onde dentro destes grupos existem diferentes tipos de sistemas generativos. Dentro do grupo baseado na lógica, existe um destes que se destaca devido a ser uma das abordagens mais aplicada nos softwares, sendo este o paramétrico, como é no caso do Grasshopper (Celani & Verzola Vaz, n.d.).

5.3.1.3.4 Sistemas generativos no Grasshopper

O sistema generativo de projeto do Grasshopper, consiste num sistema de desenho com bases generativas utilizado num software com abordagens paramétricas que tem como ligação os scripts. Os scripts podem definir-se como várias instruções de modo que uma certa máquina execute uma determinada tarefa consoante o programado. A presença do scripting nestes softwares, como é o caso do Grasshopper, permite se altere o código enquanto o projeto está a ser desenvolvido, permitindo explorar novas dinâmicas e relações entre os componentes, com os algoritmos generativos (Khabazi, 2012).

Este processo de scripting vai também para lá do desenvolvimento de aspetos formais de um projeto, pois consiste também na tomada de decisões que poderemos impor como preocupações ligadas à sustentabilidade e à eficiência energética que os nossos espaços poderão ter. Isto deve-se ao desenvolvimento com estas bases, ser mais focado no desempenho do que na aparência, pois permite-nos através da definição da sua performance a otimização do mesmo (Leach, 2005).

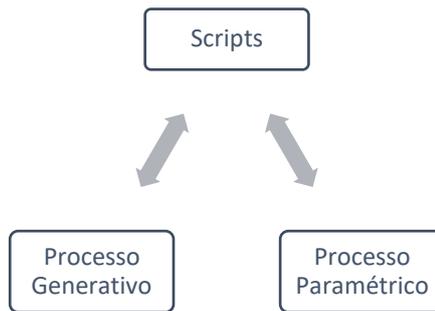


Figura 17 - Interação entre os diferentes parâmetros

Pode concluir-se que o processo algorítmico, é como uma receita, onde se vai construindo e organizando as informações de modo que se obtenha o resultado que se deseja. No Grasshopper esta informação é apresentada como um fluxograma, com a interligação de diferentes princípios, onde cabe a quem está a desenvolver o projeto, definir quais são os parâmetros de forma que o software possa apresentar as possibilidades.

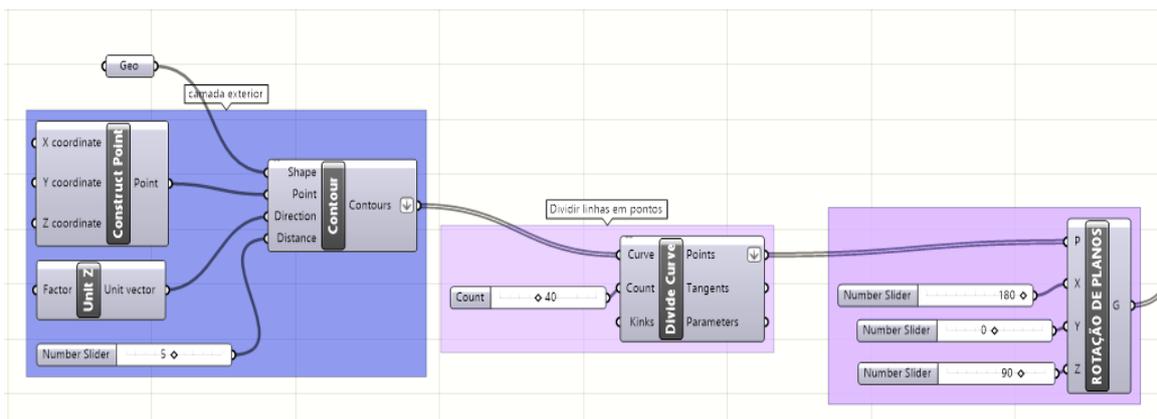


Figura 18 - Exemplo de metodologia de desenvolvimento do Grasshopper

5.3.1.3.5 Processo paramétrico

“Na Era Digital, o Desenho Paramétrico é aquele que permite desenhar e modificar todos os componentes de um edifício a partir de parâmetros. O desenho paramétrico permite definir e interagir com a geometria de um elemento construtivo contido num modelo digital a partir de parâmetros, regras, funções, restrições e interdependências entre suas partes componentes, e/ou entre elementos construtivos” (Florio,2014, p.44).

Um processo paramétrico remete a valores matemáticos que são atribuídos a uma determinada variável, criando diferentes soluções para um problema através de uma única fórmula. Estes valores, designam-se de parâmetros que, por meio de regras, criam a relação entre os elementos. Estes parâmetros não estão apenas ligados à geometria a desenvolver, podem também estar relacionados com critérios estruturais, de performance e estéticos (Celani & Verzola Vaz, 2013).

A modelação paramétrica é assim uma ferramenta poderosa que pode substituir os processos mais tradicionais, tornando o processo de desenvolvimento variável. Desta forma, este processo é concebido para a criação de modelos com características fixas e também variáveis, permitindo realizar diversas alterações durante o desenvolvimento. Com isto, é possível realizar a alteração de vários valores, sempre com uma base lógica de produção de novas soluções através de um conjunto de regras, permitindo ao responsável pelo projeto, fazer alterações dos mesmos sem perder ou interferir com todo o processo (Kolarevic, 2005).

De acordo com alguns autores, como Hanna e Barber, a utilização dos métodos digitais, como é o caso do paramétrico, pode aumentar a capacidade intelectual do designer e levar a resultados mais inovadores, pois possuem efeitos diretos sobre o processo criativo. Isto deve-se a existir uma diferença entre dois princípios, o “surgimento” e a “variação”. O surgimento diz respeito a algo a ser considerado como possível solução do problema, ao contrário da variação, onde seria expressões diferentes das ideias, que é o que nos oferece o processo paramétrico com a alteração de algumas variáveis.

O uso de softwares com base paramétrica durante o desenvolvimento do projeto, oferece uma notória dinâmica de alteração, no entanto, o fator diferenciador não está nas ideias em si, mas na rapidez de soluções apresentadas que se reflete a produtividade da aplicação do mesmo (Iordanova et al., 2009).

Como fundamento do anteriormente argumento, existe um caso de estudo realizado por Iordanova em 2009, na Universidade de Montreal, com alunos de arquitetura. Este estudo tinha como base entender que influencia os métodos digitais no desenvolvimento do projeto e ainda com o objetivo perceber as diferenças da aplicação de um método paramétrico ou o descritivo, como CAD.

A realização deste estudo, deu à autora logo a conclusão de que a evolução do projeto está diretamente ligada com o processo digital escolhido, pois os projetos com uma base

predominante paramétrica, as ideias surgiam e evoluíam muito mais rapidamente, do que comparado com os restantes métodos CAD.

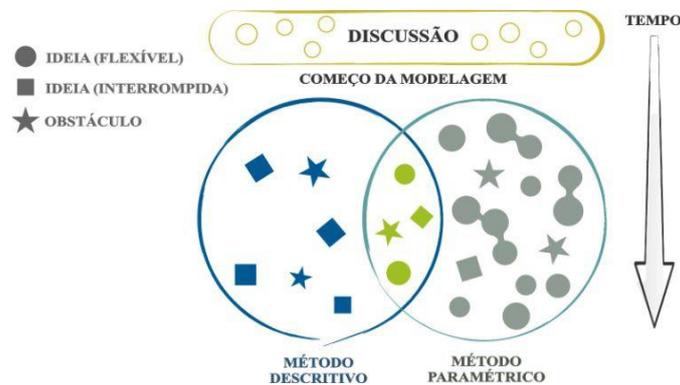


Figura 19 - Esquema de Jordanova adaptado (Fernando Lima, 2014)

Para o desenvolvimento do estudo, os alunos foram divididos em cinco grupos de pares, dando a cada um destes grupos metodologias diferentes.

- O grupo 1 e 2 - método descritivo
- O grupo 3 – ambos
- O grupo 4 e 5 – método paramétrico.

Com isto, estes teriam de desenvolver ideias em diferentes etapas, e é com isto que Jordanova, observa que existe uma grande disparidade entre a quantidade de ideias produzidas.

Tabela 4 - Tabela de resultados obtido em estudo de desenvolvimento paramétrico (Jordanova, 2009)

GRUPOS	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	TOTAL
MÉTODOS UTILIZADOS	DESCRITIVO	DESCRITIVO	AMBOS	PARAMÉTRICO	PARAMÉTRICO	
NÚMERO DE IDEIAS GERADAS	6	6	10	16	12	50
DURANTE A DISCUSSÃO INICIAL	2	3	3	4	1	13
DURANTE A MODELAGEM	4	3	7	12	11	37
NO MOMENTO "DE VÊ-LAS"	1	2	2	6	8	19
DURANTE A DISCUSSÃO INICIAL	0	1	0	1	1	3
DURANTE A MODELAGEM	1	1	2	5	7	16

Este resultado apresentado por Iordanova, reflete que a utilização dos processos paramétricos, permite que quem está a desenvolver o projeto, consiga observar uma grande quantidade de soluções, mesmo antes de desenvolver uma solução específica para a resolução final do projeto.

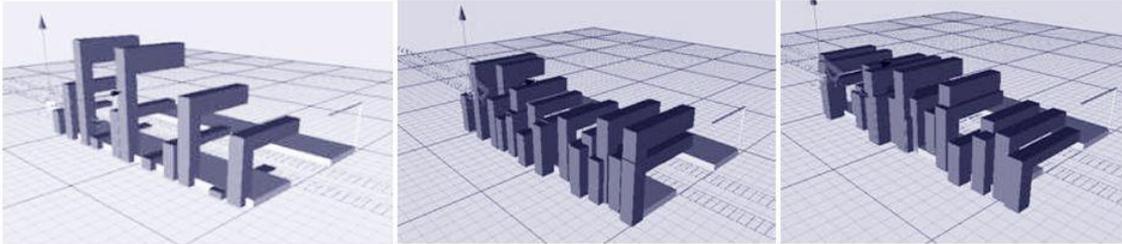


Figura 20 - Exemplo de resultados obtidos em softwares paramétricos (Iordanova, 2009)

Para Iordanova, a utilização de um processo descritivo, CAD, no desenvolvimento do projeto, evolui apenas de uma forma linear, onde vão sendo realizadas alterações mais localizadas do nosso modelo tridimensional. Isto apresenta-se como o oposto do modelo generativo com base paramétrica, onde são dados inputs de diferentes interações, adicionando ou retirando novas variáveis. Isto permite ainda, já numa fase final, que o modelo permaneça dinâmico, onde se pode ser feita qualquer alteração sem o receio de prejudicar todo o projeto e podendo atrasar o mesmo.

O estudo apresentado, obteve assim três resultados que se destacam de entre todos os alcançados:

- **Variação de ideias:** onde os processos generativos estimulam a geração de mais ideias.
- **Evolução não linear:** onde a possibilidade de modificar o produto e voltar atrás é uma vantagem.
- **Tempo:** permite gerar uma grande variedade de ideias em pouco tempo, mas em contrapartida, pode fazer o responsável do projeto perder tempo à procura de novas soluções.

6. CASO DE ESTUDO

Concluída toda a revisão bibliográfica anteriormente apresentada, optou-se por aplicar todas as conclusões retiradas num caso de estudo prático.

Este caso de estudo será então aplicado à Universidade do Minho, campus de Azurém, com o objetivo de melhorar as suas infraestruturas para um futuro melhor e mais apoiado. A

escolha da universidade como caso de estudo, deve-se a estas serem espaços de inovação e crescimento tanto a nível tecnológico, como social. A sua evolução constante e a presença de pessoas de diferentes áreas científicas, acaba também por desta forma refletir a sociedade.

Para além disto, as universidades tendem a inserir-se nas cidades em que estão situadas, para a universidade ajudar a crescer a cidade e a cidade ajudar a crescer a universidade. Por isso, desta forma as universidades são um reflexo das cidades e das sociedades que as rodeiam.

6.1 Levantamento de zonas de estacionamento de bicicletas na Universidade do Minho

Com o objetivo de entender melhor de que forma é que a Universidade está estruturada para apoiar o estacionamento de bicicletas elétricas, foi realizado então um levantamento das zonas disponíveis para a mesma, através de observação em campo e da verificação nos mapas da mesma.

Desta forma, observar-se que estacionamentos para bicicletas que permitam o seu carregamento, não existem. Estão apenas disponíveis estruturas metálicas que representam a zona de estacionamento e permitem que os utilizadores prendam a sua bicicleta à mesma, de forma a tornar o estacionamento mais seguro. Esta estrutura pode assim observar-se na figura 21.



Figura 21 - Estrutura disponível na Universidade para estacionamento

Estas estruturas estão colocadas em diversas zonas da universidade, notando-se uma preferência pela sua colocação à entrada das diversas escolas que o Campus apresenta. Analisando o mapa apresentado na figura 22, pode observar-se que em todo o campus existem nove destas estruturas para o estacionamento de bicicletas, assinaladas por um círculo vermelho.

Desta forma, pode concluir-se que, apesar da colocação destas em diversas zonas da universidade, as características e funcionalidades que estas apresentam não irão conseguir suportar e responder todas as possíveis necessidades que o futuro trará.

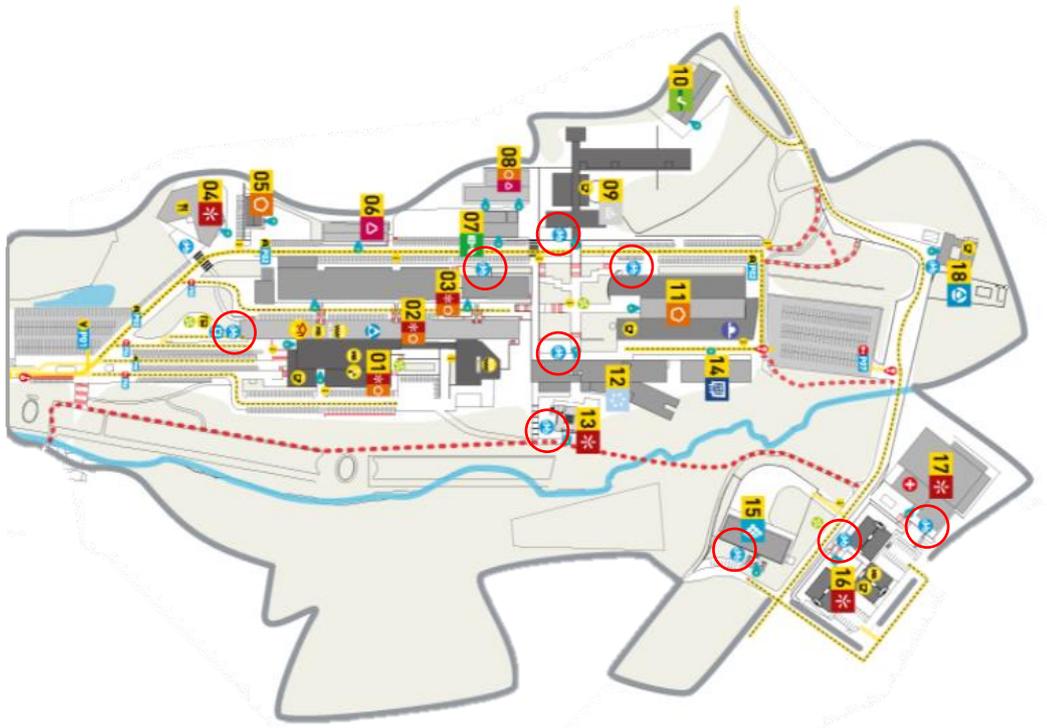


Figura 22 - Planta da Universidade com locais de estacionamento assinalados

6.2 Zonas selecionadas para desenvolvimento

Para um melhor desenvolvimento destas estruturas, é então necessário um melhor entendimento da planta do campus de Azurém, onde nesta se pode observar uma grande área de espaços verdes por utilizar, que podem ser aproveitados para novas estruturas.

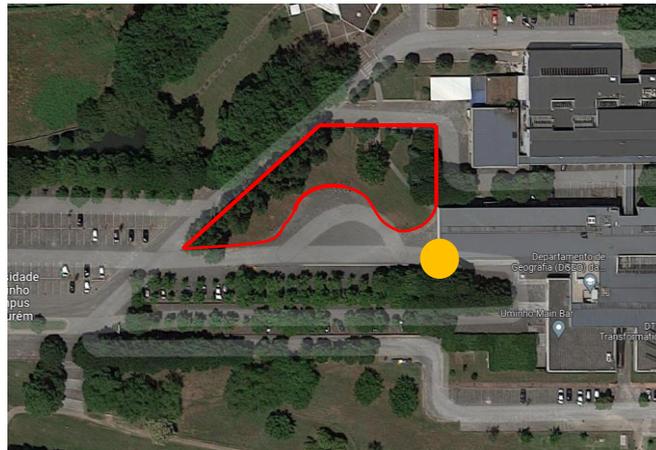
- Zona 1

Desta forma, e após analisar todo o espaço disponível, o espaço selecionado situa-se à entrada do edifício 01, sendo este um dos principais edifícios da universidade. Este foi selecionado, não só devido a ser possível o aproveitamento de um espaço que não está a ser

utilizado, mas também como está referido anteriormente na revisão bibliográfica, as zonas de acesso aos transportes públicos são as mais utilizadas para o estacionamento de bicicletas.

Como se pode observar na figura 23, a zona assinalada a amarelo é a de acesso ao autocarro, utilizado pelos estudantes, que apresenta grande afluência ao início e final do dia.

Devido à sua proximidade deste local, a zona que irá ser utilizada como referência para o desenvolvimento do trabalho é a assinalada na imagem a vermelho.



- Zona 2

Figura 23 - Zona selecionada

Com a dimensão apresentada pelo Campus de Azurém, surge também a oportunidade de entender que outros espaços podem ser aproveitados para a aplicação desta estrutura a desenvolver, de forma a otimizar os mesmos.

Assim sendo, através de uma observação pelos campus conclui-se que existem vários estacionamentos designados para automóveis em estado de degradação devido ao crescimento das árvores, impedindo em alguns dos mesmos o estacionamento nesses locais.

Surge assim a possibilidade de aproveitamento desses locais em desuso, para a implementação de novas estruturas de estacionamento de bicicletas.

Na figura 24 pode observar-se então um dos exemplos de estacionamentos em degradação.



Figura 24 - Zona de aproveitamento

6.3 Desenvolvimento

Com todos os conhecimentos obtidos anteriormente, será então realizado todo o desenvolvimento de produto de uma estrutura que apoie e resolva os constrangimentos aos utilizadores.

6.3.1 Utilizadores

Para um melhor desenvolvimento da estrutura em questão, é então necessário entender quem vão ser os utilizadores da mesma. Pois ao desenvolver um produto com base no utilizador, este terá mais probabilidade de responder melhor às necessidades do mesmo.

Desta forma, foi realizado um brainstorming, presente na figura 25, com o objetivo de identificar todos possíveis utilizadores desta estrutura, por muito pouca que fosse a sua utilização por parte de alguns destes.

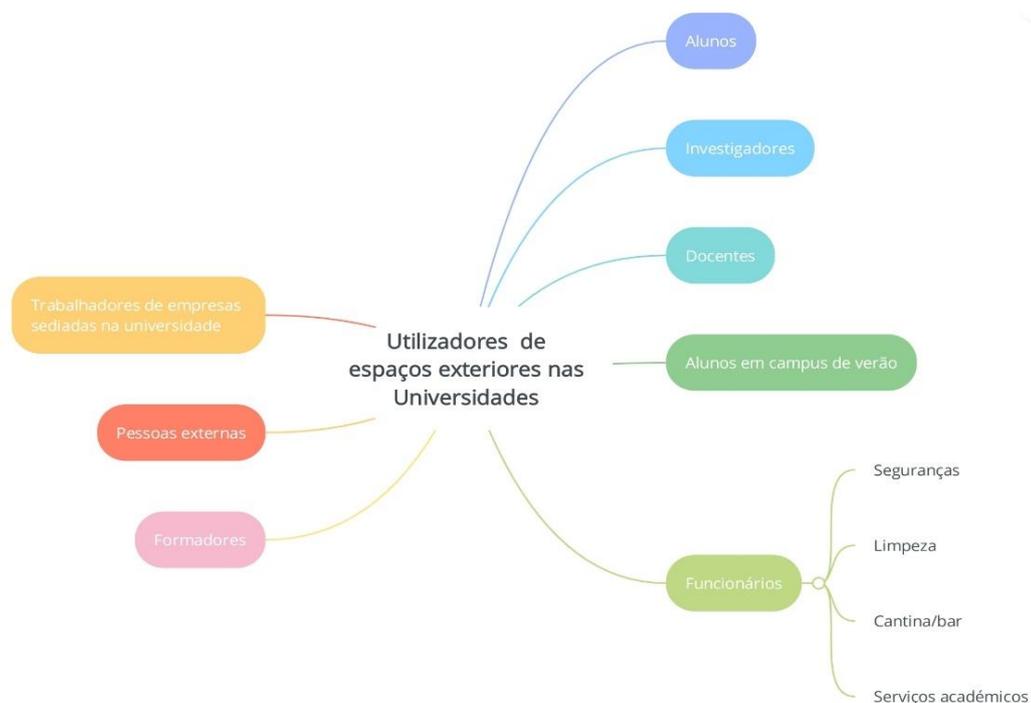


Figura 25 - Brainstorming de utilizadores do espaço

Ao realizar e desenvolver este brainstorming, conclui-se que existe uma vasta variedade de utilizadores, de entre os quais:

Trabalhadores de empresas sediadas na universidade

- Pessoas externas
- Formadores
- Alunos

- Investigadores
- Docentes
- Alunos universitários
- Alunos em campus de verão
- Funcionários

Estes apresentam-se como o ponto de partida para o desenvolvimento, no entanto, devido a uma forte disparidade na utilização destes espaços, dos grupos de utilizadores apresentados anteriormente, foi decidido haver um maior debruço sobre os alunos universitários. Esta escolha deve-se à percentagem de alunos universitários, ser superior às restantes e ao tempo que estes utilizam as infraestruturas da universidade.

6.3.2 Necessidades observadas nos utilizadores

Desta forma, é então necessário entender qual é a ligação dos alunos da universidade com os estacionamento de bicicleta e quais as principais necessidades que surgem ao utilizar do mesmo.

Foi assim realizada uma observação das estruturas de estacionamento de bicicletas anteriormente apresentadas, no momento de utilização, pela parte dos alunos que necessitam e usufruem destas estruturas, demonstrado no diagrama da figura 26.

Isto permitiu definir um conjunto de necessidades que irão permitir um melhor desenvolvimento de projeto.

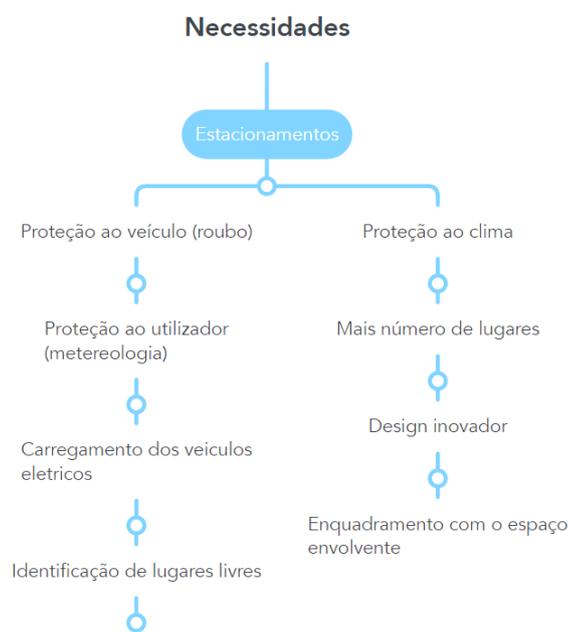


Figura 26 - Diagrama de necessidades

Com este organograma, pode concluir-se que existem bastantes necessidades subjacentes à utilização destes espaços. Estas necessidades irão ser utilizadas como base do desenvolvimento do projeto.

Palavras-chave – Segurança; carregamento; design.

6.3.3 Conceitos desenvolvidos

Com o objetivo de resolver o problema apresentado anteriormente, foram desenvolvidos diversos conceitos de forma a encontrar a resposta mais otimizada para o mesmo.

Desta forma, numa fase inicial e mais exploratória desenvolveu-se um conjunto de formas para que se conseguisse desbloquear conceitos diferentes. Estas formas podem observar-se na figura 27. Após a execução das mesmas é feita uma reflexão para entender de que forma é que estas iriam evoluir e ainda entender quais as mais vantajosas para aprofundar.

Posto isto foram então selecionadas quatro devido a algumas características diferenciadoras e que permitiriam uma maior evolução. Com estas quatro formas foram assim desenvolvidos cinco conceitos mais aprimorados.

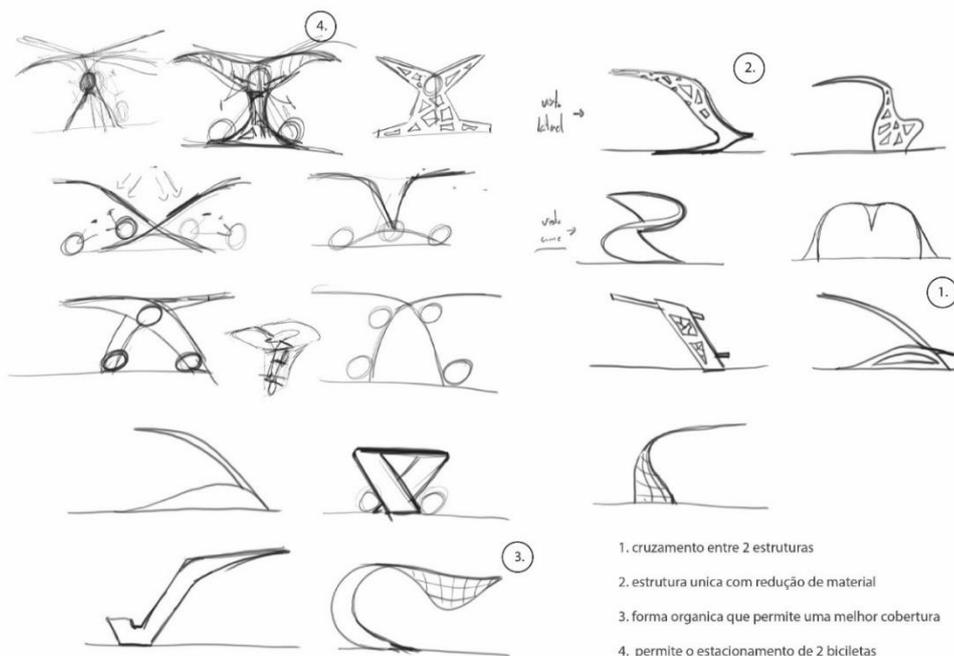


Figura 27 - Esboço de exploração de forma

Conceito A

Este conceito consiste numa estrutura de estacionamento individual modular, que permite assim à entidade responsável pelo local onde irá ser colocada a mesma, adicionar o número de módulos que achar mais indicado para o espaço.

Consiste numa forma bastante simples de linhas retas numa peça única, que facilita assim a produção da mesma. Esta foi desenvolvida com uma parte superior que permite a proteção da bicicleta, mas muito reduzida para conseguir a proteção do utilizador por completo. Para além desta função de estacionamento, foi pensada uma segunda aplicação como banco para aproveitamento da estrutura, como apresentado na figura 29.

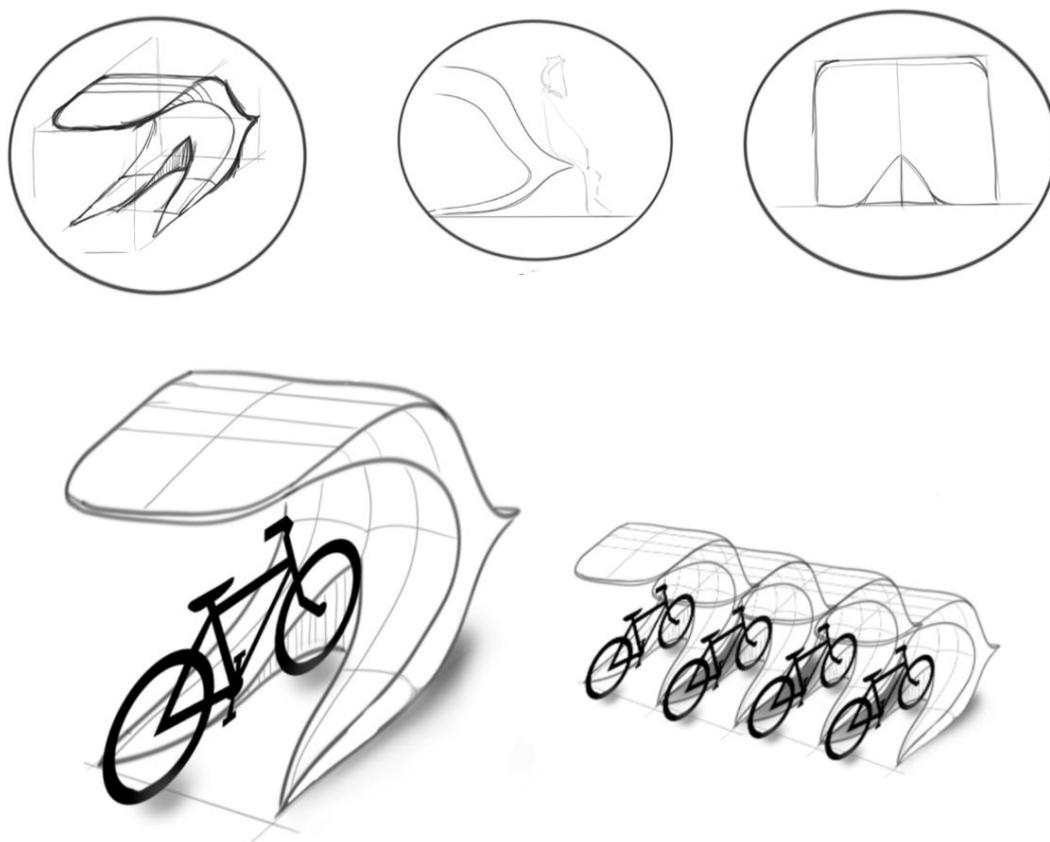


Figura 28 - Conceito A

Conceito B.

O conceito B, também consiste numa estrutura de estacionamento individual modular e com um aproveitamento da estrutura como banco. No entanto, é desenvolvido mais a pensar no aproveitamento das vantagens e liberdade que a tecnologia para a produção da mesma nos oferece. A estrutura apresenta assim uma forma mais dinâmica, tendo sempre em atenção a redução da quantidade de material utilizado.

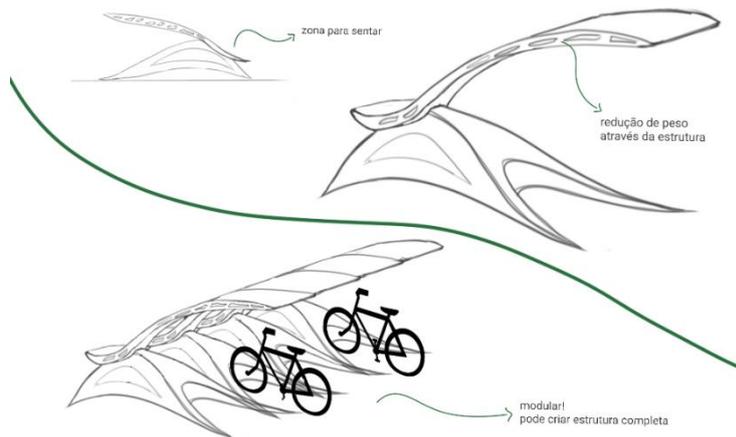


Figura 29 - Conceito B

Conceito C

Este conceito já apresenta uma topologia diferente dos anteriores apresentados como se observa na figura 30, consistindo assim numa estrutura que é utilizada individualmente, mas que permite o estacionamento de um maior número de bicicletas. Esta oferece ainda uma maior proteção tanto às bicicletas como ao utilizador, por este entrar dentro da própria

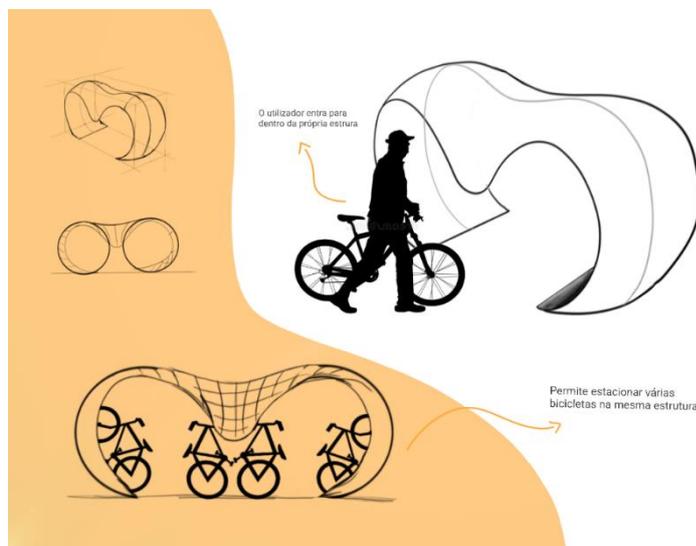


Figura 30 - Conceito C

estrutura. As bicicletas são estacionadas na vertical, o que reduz o espaço ocupado pelas mesmas, dentro da estrutura.

Conceito D.

O conceito D, presente na figura 31 diferencia-se um pouco dos anteriores principalmente pela dimensão apresentada. Este teria de ser produzido não apenas numa peça única, mas sim em várias. No entanto, permite que neste sejam estacionados um maior número de bicicletas e com uma proteção ao clima, superior a todos os outros apresentados. Tem um design inovador, o que o diferencia de todos os estacionamentos existentes na atualidade.

Com a tecnologia definida para a produção, o problema do material necessário para a execução do mesmo pode ser resolvido com estruturas generativas que permitam a redução do mesmo.

Para além disto, a estrutura através das suas linhas sinuosas, é também pensada para o aproveitamento da mesma, oferecendo locais onde os utilizadores podem estar sentados e protegidos da meteorologia.

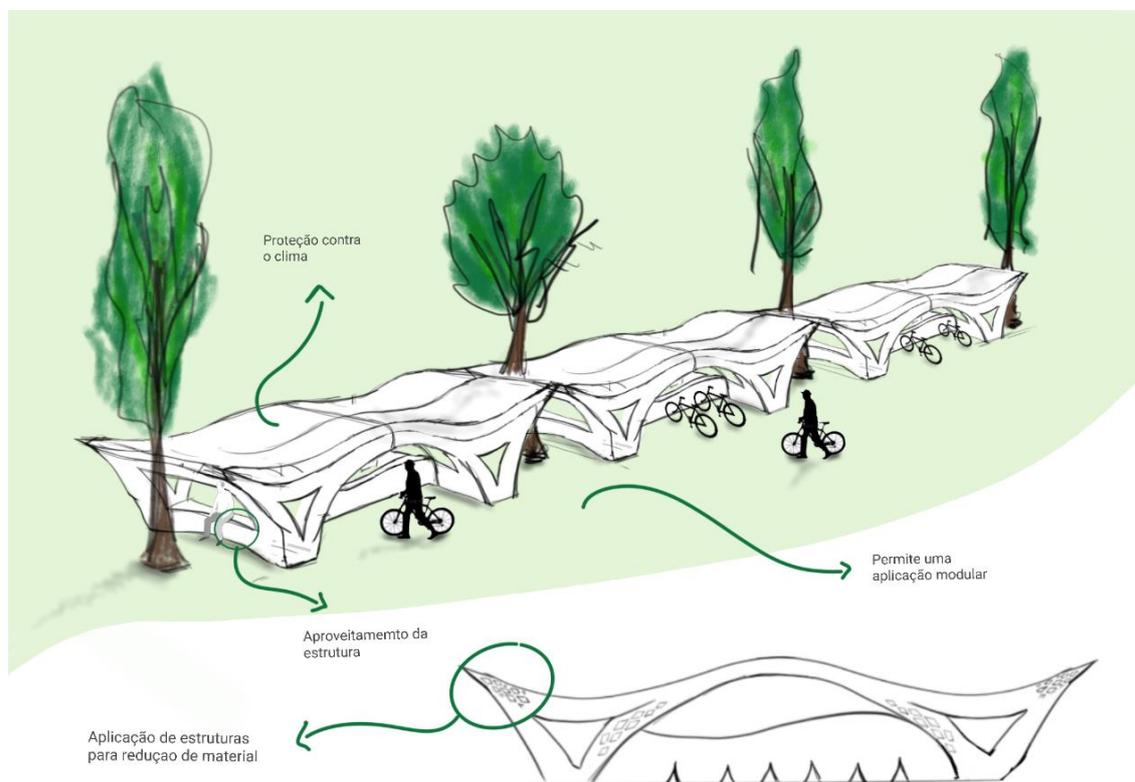


Figura 31 - Conceito D

Conceito E.

Como apresentado na figura 32, este conceito apresenta uma topologia distinta pois tem como objetivo uma melhor integração no espaço envolvente. Este baseia-se mais na natureza tentando assim transformar uma estrutura com a função de estacionar bicicletas em algo mais natural, imitando quase como uma árvore já existente naquele espaço verde.

As bicicletas são assim estacionadas na vertical tentando encastrar-se na estrutura e ocupando menos espaço possível da área onde aplicada. Esta estrutura pode apresentar dimensões diferentes na sua largura, permitindo assim adaptar a mesma à quantidade de bicicletas necessárias a estacionar.

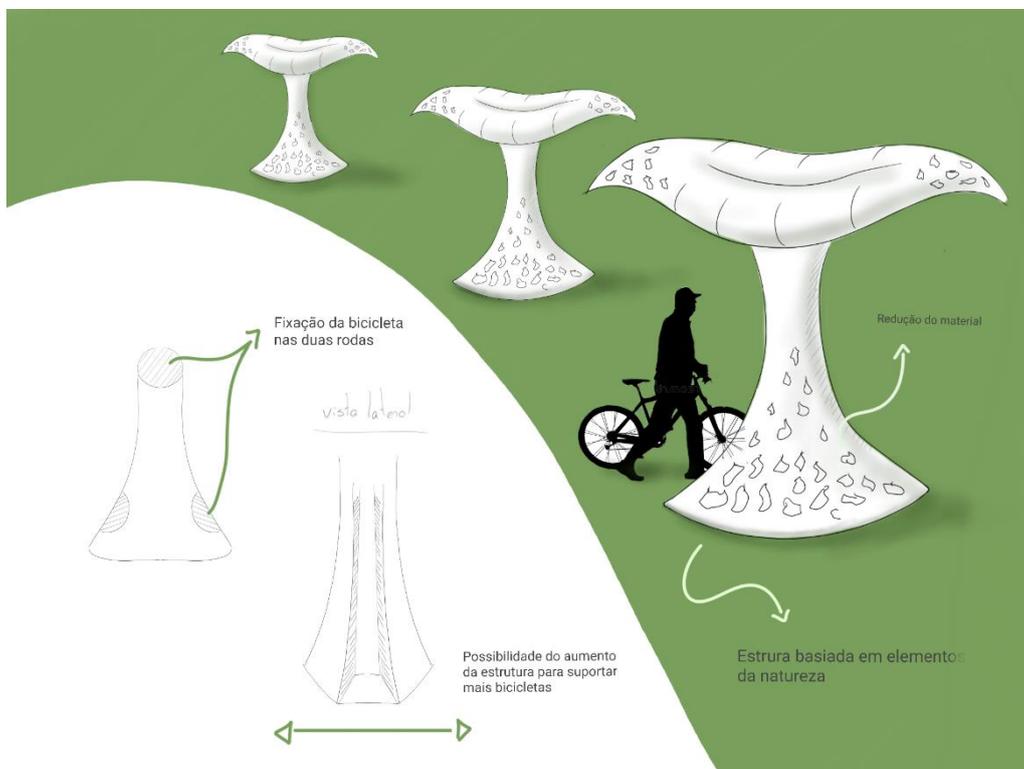


Figura 32 - Conceito E

6.3.4 Conceitos selecionados

Para selecionar dois conceitos que devem seguir o seu desenvolvimento, foi realizada uma tabela de seleção, tabela esta desenvolvida por Stuart Pugh em 1980, sendo designada assim por Pugh Concept Selectio (Ulrich.T, et al)

Como parâmetros de seleção para aplicar na avaliação de todos os conceitos, foram utilizadas as necessidades dos utilizadores, visto que o desenvolvimento do produto é focado nos mesmos e ainda adicionados parâmetros referentes à possibilidade de produção da mesma.

Tabela 5 - Seleção de conceitos

Critérios de Seleção	Conceito	Conceito	Conceito	Conceito	Conceito
	A	B	C	D	E
- Proteção da bicicleta ao clima	0	-	0	+	0
- Proteção do utilizador ao clima	0	0	+	+	+
- Nº de lugares	0	0	0	-	+
- Modularidade	+	+	-	-	-
- Enquadramento no espaço					
- Simplicidade da estrutura					
Soma dos +’s	2	1	2	3	3
Soma dos 0’s	3	2	1	0	2
Soma dos -’s	0	3	2	3	1
Resultado	2	-1	0	0	2
Rank	1	5	4	3	2

6.3.5 Desenvolvimento de conceitos no software Grasshopper

Realizada a tabela anterior, foram passados estes conceitos para o software. Desta forma, foram também evoluídos obtendo mais algum detalhe e atenção no seu desenvolvimento para a produção.

Assim sendo, desenvolveram-se dois novos conceitos tridimensionais, refinando o conceito B e um do conceito C, para posteriormente ser novamente avaliado e ir de encontro à melhor solução para a produção e para o utilizador.

Conceito B.1

Esta estrutura apresentada surge da evolução do conceito B, e de forma a ser mais eficiente a sua produção, que com as vantagens do fabrico aditivo se utilize uma quantidade menor de material na parte interior da estrutura, mantendo sempre as propriedades mecânicas para assegurar a resistência da estrutura.

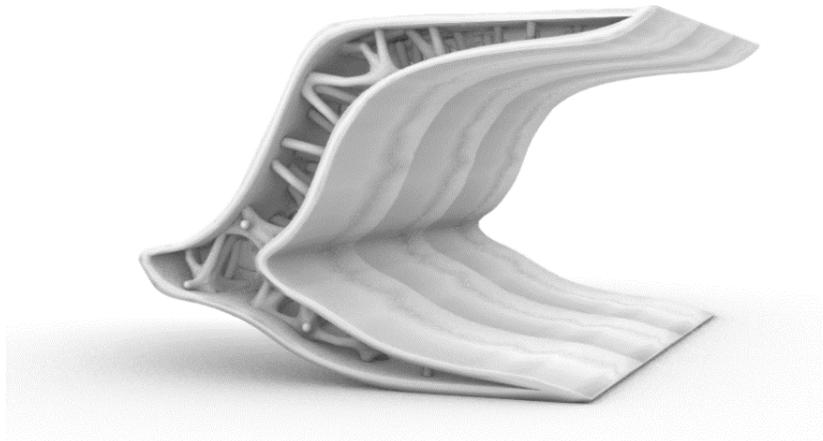


Figura 33 - Conceito B.1

Conceito B.2

Este conceito tem como objetivo a construção de uma estrutura de maior dimensão através de diferentes módulos, mas que apresente o aspeto de peça única. Desta forma, foram desenvolvidos três módulos que permitem a construção de uma estrutura de estacionamento. Isto é permitido através da produção destas três peças em espelho, conseguindo assim reduzir a necessidade de modelação de um maior número de peças.

A construção modular da estrutura permite assim a produção de uma estrutura de maiores dimensões, mas utilizando os mesmos parâmetros apresentados pela tecnologia.

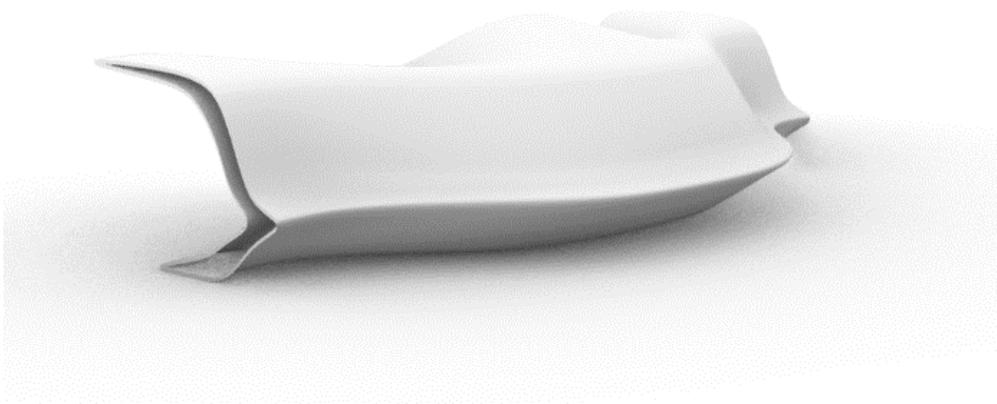
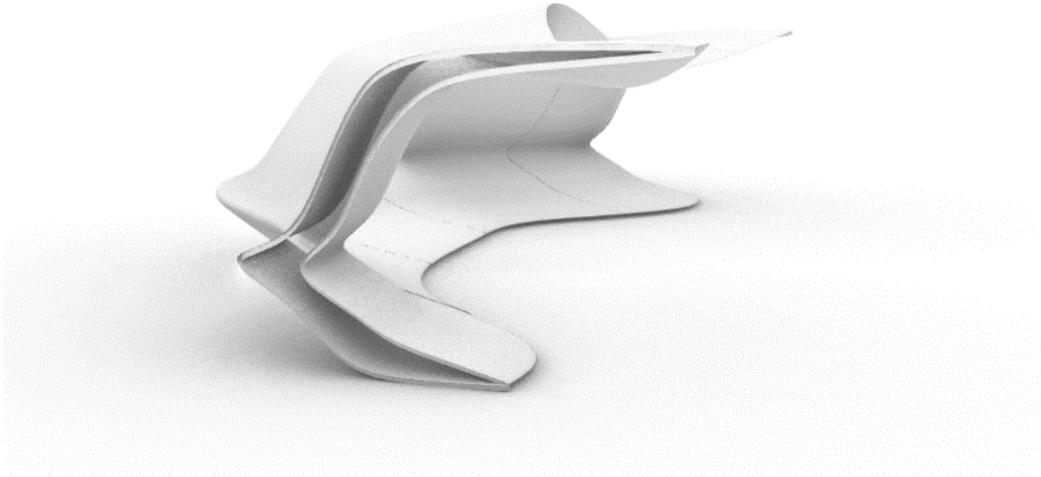


Figura 34 - Conceito B.2

Conceito C.1

Este conceito surge do refinamento do conceito C apresentado anteriormente, apresentando um maior detalhe para a colocação das bicicletas. Com modelação através do software paramétrico permite que apenas com a alteração de alguns parâmetros, se aumente a estrutura permitindo obter mais lugares para as bicicletas. Foi também desenvolvido em 5 peças, para que desta forma fosse possível produzir na tecnologia seleccionada.

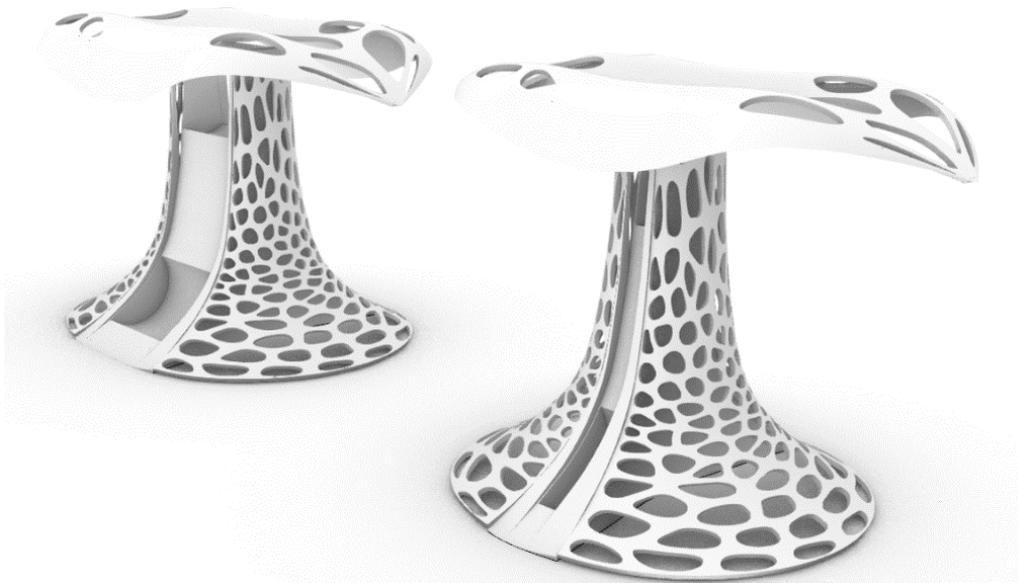


Figura 35 - Conceito C.1

Seleção do Conceito Final

Após o desenvolvimento dos três novos conceitos surge a necessidade de realizar uma avaliação através dos mesmos parâmetros utilizados anteriormente. Esta avaliação tem como objetivo a seleção do conceito para o seu desenvolvimento final.

Posteriormente, este deve ser desenvolvido mais pormenorizadamente para uma utilização e produção do mesmo.

Tabela 6 - Seleção do conceito final

Crítérios de Seleção	Conceito B.1	Conceito B.2	Conceito C.1
- Proteção da bicicleta ao clima	0	+	-
- Proteção do utilizador ao clima	+	+	0
- Nº de lugares	+	+	+
- Modularidade	+	+	-
- Enquadramento no espaço	-	0	+
- Simplicidade da estrutura	+	0	+
Soma dos +’s	4	4	3
Soma dos 0’s	1	2	1
Soma dos -’s	1	0	2
Resultado	3	4	1
Rank	2	1	3

6.3.6 Refinamento do conceito final

Com a seleção do conceito final foi então necessário o desenvolvimento mais aprofundado da estrutura, tendo em atenção os diversos critérios aplicados anteriormente e otimizando estes da melhor forma na estrutura.

Assim, esta estrutura foi desenvolvida para ser produzida em peças modulares de perfil, o que facilita e otimiza a qualidade de construção nesta tecnologia. As medidas gerais destes módulos são de, 3 metros de comprimento, 2,30 metros de altura e 1 metro de largura, o que permite resguardar a bicicleta e utilizador do clima.

Devido às suas dimensões da estrutura, cada um destes módulos, na sua instalação, deverá ser aparafusado ao chão, nos locais desenvolvidos para o devido efeito.

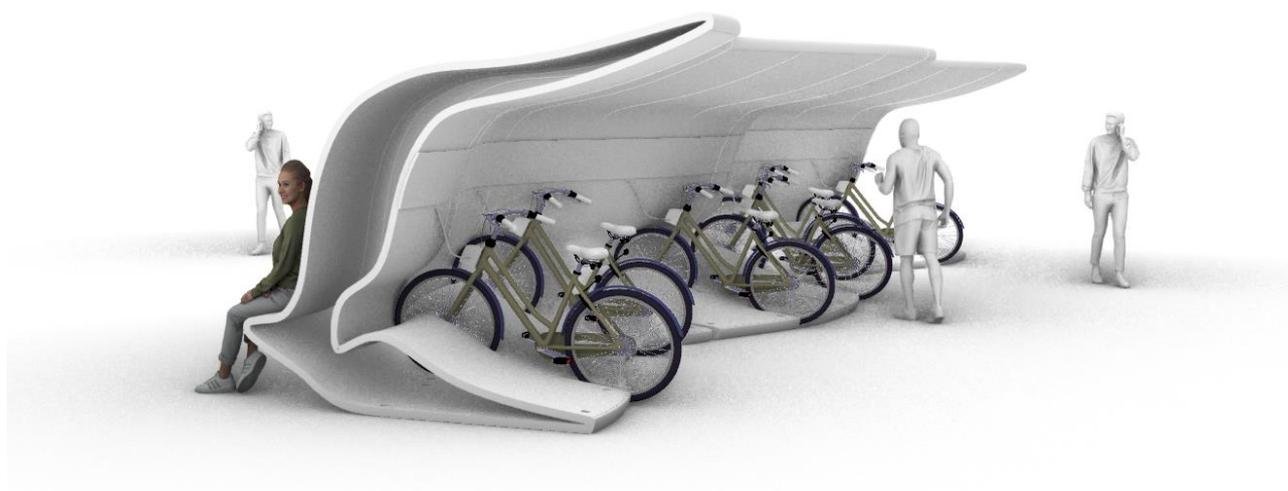


Figura 36 - Vista lateral da estrutura desenvolvida

Para o estacionamento da bicicleta, a estrutura apresenta reentrâncias na mesma, de forma que a roda da mesma fique fixa e impeça esta de cair.

Do ponto de vista do carregamento, esta estrutura estará equipada com a melhor tecnologia disponível no mercado para esta função, onde o utilizador terá apenas de através do display que equipa esta estação de carregamento definir o carregamento que pretende e ligar à sua bicicleta através da ficha disponibilizada na mesma.

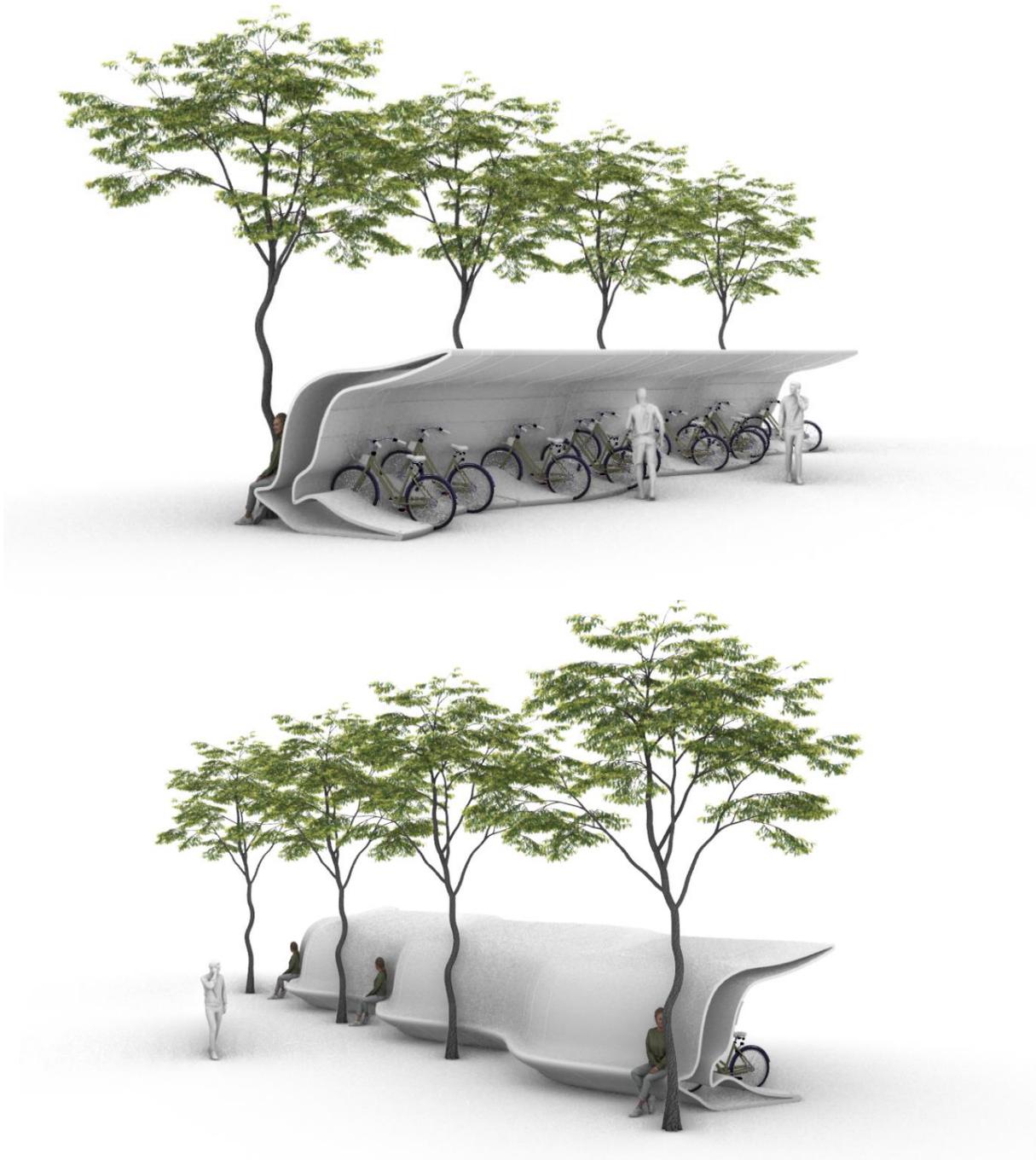


Figura 37 - Render da estrutura final em utilização

6.4 Desenvolvimento do código para produção

Com o conceito fechado é então necessário programar o robô de forma que este, com a ferramenta de extrusão aplicada, produza a estrutura desenvolvida.

Para a execução desta tarefa utiliza-se então o software apresentado anteriormente, Kuka prc, que funciona como plug-in do Grasshopper.

No desenvolvimento da programação foram efetuados vários passos, de forma que este obtivesse o melhor resultado.

A programação de extrusão por robô se for desenvolvida do zero, é executada em três fases. A primeira, que consiste na preparação dos parâmetros essenciais do robô, a segunda que é basicamente a programação das ações que irão ser dadas ao robô e a terceira de verificação e validação das ações que este executa, num ambiente controlado que é o do software.

6.4.1 Parâmetros essenciais

Esta primeira fase tem como objetivo a colocação e definição de todos os parâmetros que o controlador irá receber para posteriormente produzir o código. Desta forma, é então necessário definir quatro parâmetros essenciais, sendo neste caso em específico:

1. Modelo do robô a ser utilizado (Kuka KR120 R3100)
2. Ferramenta em utilização (Extrusora)
3. Tipo de comandos que irá receber (Spline)
4. Geometrias em que pode colidir (Mesa de impressão)

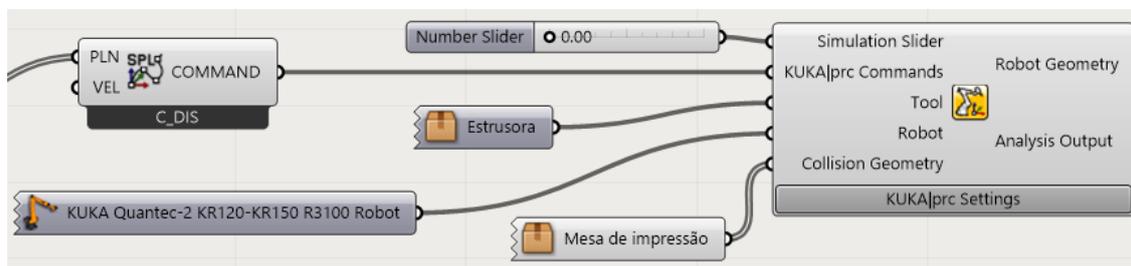


Figura 38 - Parâmetros utilizados para programação do robô

Com estes parâmetros iniciais definidos, é definido o modo de programação de movimento do robô, que neste caso é entre pontos. No entanto, é então necessário executar a segunda fase que consiste na programação e definição dos pontos a que este se deverá deslocar.

6.4.2 Definição de comandos

Sendo o objetivo da função a desempenhar pelo robô o fabrico aditivo, é então necessário dividir a geometria que se pretende produzir, para que esta ação seja executada por camadas.

Desta forma, foi então executado um conjunto de comandos que transforma a geometria a produzir, num conjunto de pontos que o robô irá interpretar como caminho a percorrer. Estes estão divididos em cinco etapas.

Em resumo, estes pretendem executar a interseção de planos, de forma a obter as linhas das camadas que deve percorrer. Posteriormente, é executado um offset com uma distância específica, de forma a criar linhas interiores ou exteriores para que as paredes da impressão ao ter mais passagens, tenham mais espessura.

Com as linhas obtidas, é então necessário dividir estas linhas no número de pontos mais indicado e colocar estes com a mesma orientação que a ferramenta utilizada apresenta.

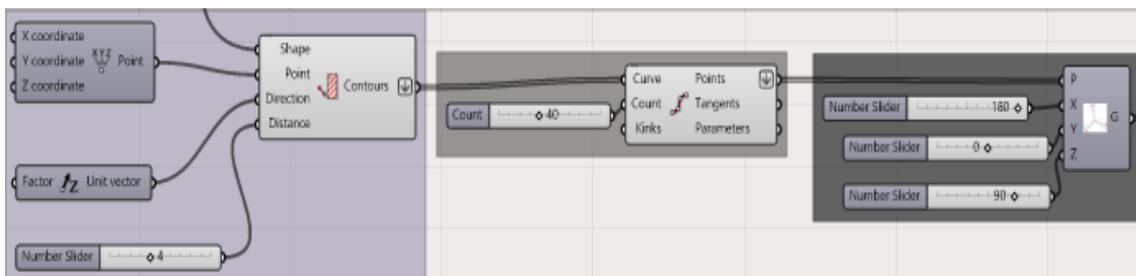


Figura 39 - Parâmetros de programação para impressão3D



Figura 40 - Simulação da execução do código

7. DESENVOLVIMENTO PRÁTICO DE EXTRUSÃO COM BRAÇO ROBÓTICO

De forma a entender a produção de peças com a tecnologia em estudo, surge a necessidade da realização de diversos testes de forma a entender tanto os parâmetros de produção, como os parâmetros da geometria.

Isto tem como objetivo entender quais os melhores parâmetros para a produção do produto desenvolvido e ainda entender se é viável a sua produção ou necessário a alteração de alguns parâmetros da mesma.

7.1 Plano de testes – parâmetros de produção

Para a realização de todos os testes existem diversos parâmetros iguais aplicados a todos eles, sendo estes:

- Geometria: Cilindro
- Velocidade: 30mm/s com override de 5%
- Bico de extrusão: 4mm

Tabela 7 - Plano de testes 1

Parâmetros								
Teste 1	Nº	Diâmetro	Altura	V. Rotação	Layer	Temperatura	Nº de passagens	Inclinação
Altura do Layer	1.1	20cm	10cm	7 rpm	3mm	180°C	1	0
	1.2				4mm			
	1.3				5mm			
	1.4				6mm			
Parâmetros								
Teste 2	Nº	Diâmetro	Altura	V. Rotação	Layer	Temperatura	Nº de passagens	Inclinação
Temperatura de extrusão	2.1	20cm	10cm	7 rpm	4MM	170°C	1	0
	2.2				175°C			
	2.3				180°C			
Parâmetros								
Teste 3	Nº	Diâmetro	Altura	V. Rotação	Layer	Temperatura	Nº de passagens	Inclinação
V. de extrusão	3.1	20cm + raffet	10cm	5 rpm	4MM	175°C	1	0
	3.2				7 rpm			
	3.3				10 rpm			
	3.4				13 rpm			

- **Teste 1 – altura da camada:** pretende-se entender de que forma é que a altura da camada poderá interferir no desenvolvimento da peça.

- **Teste 2 – temperatura de extrusão:** tem como objetivo correlacionar a fluidez do material com a velocidade da extrusora e do braço robótico. Tem também como objetivo entender de que forma é que a fluidez do material interfere na qualidade das camadas.

- **Teste 3 – velocidade do fuso da extrusora:** tem como objetivo identificar a velocidade mais indicada, para que se relacione da melhor forma com a velocidade do braço robótico. Entendendo ainda de que forma é que é possível aumentar e diminuir a espessura da camada, através da quantidade de material depositado.

7.1.1 Material utilizado

SABIC® PP PHC27

Tabela 8 - Propriedades do material (SABIC PP PHC27)

Typical values			Revision 20070321
Properties	Unit (Si)	Values	Test methods
Polymer properties			
Melt flow rate (MFR) at 230 °C and 2.16 kg	g/10 min	14	ISO 1133
Density	kg/m ³	905	ISO 1183
Mechanical properties			
Tensile test			ISO 527
stress at yield	MPa	22	
stress at break	MPa	19	
strain at break	%	600	
Flexural test			ASTM D 790
Flexural modulus	MPa	1200	
Izod impact notched			ISO 180/4A
at 23 °C	kJ/m ²	No Break	
at 0 °C	kJ/m ²	9.0	
at -20 °C	kJ/m ²	6.0	
Charpy impact notched			ISO 179
at 23 °C	kJ/m ²	31	
at 0 °C	kJ/m ²	12.5	
at -20 °C	kJ/m ²	7.0	
Hardness Shore D	-	66	ISO 868
Thermal properties			
Heat deflection temperature			
at 1.80 MPa (HDT/A)	°C	52	ISO 75/A
at 0.45 MPa (HDT/B)	°C	87	ISO 75/B
Vicat softening temperature			
at 10 N (VST/A)	°C	140	ISO 306/A
at 50 N (VST/B)	°C	57	ISO 306/B

7.1.2 Resultados obtidos

De forma a analisar todos os resultados foram tiradas conclusões de todos os testes realizados, onde se encontram todas as observações e conclusões em tabelas em anexo.

7.1.2.1 Teste 1 – Altura da camada

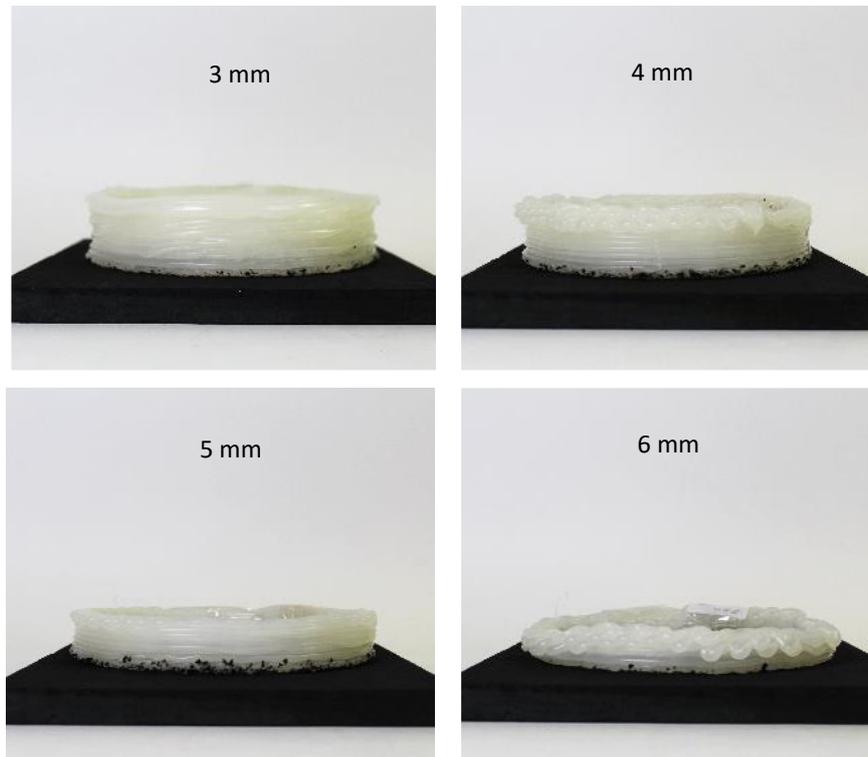


Figura 41 - Conjunto de resultados do teste 1

Observa-se através do teste 1.1 (3 mm), que a espessura do material depositado é superior à distância que a extrusora se move verticalmente, o que causa um arrasto do material com o bico da extrusora, provocando assim, um mau acabamento da peça

No teste 1.2 (4 mm) pode observar-se que existe uma melhor relação entre a distância que a extrusora se move verticalmente por cada camada e a espessura do material depositado, apresentando assim uma melhor qualidade das camadas.

No entanto, o material abate ao arrefecer, que conseqüentemente ao final de um número de camadas, aumenta a distância entre a camada e o bico de extrusão

Nos testes 1.3 (5 mm) e 1.4 (6 mm), observa-se exatamente o mesmo, no entanto, agravado pela distância dada para cada camada ser cada vez mais elevada.

Pode concluir-se assim, que a altura da camada está diretamente ligada com a possibilidade da produção da peça e a sua qualidade. A definição deste parâmetro deverá ter

sempre como base, independentemente do material utilizado, a melhor relação entre a espessura que o material apresenta, após ser depositado, com a distância definida para que o robô mova verticalmente a extrusora entre cada camada.

Conclui-se ainda que o melhor teste é o de 4mm, que corresponde ao diâmetro do bico utilizado.

7.1.2.2 Teste 2 – Temperatura de extrusão



Figura 42 - Conjunto de resultados obtidos no teste 2

No teste 2.1 (170°C) pode observar-se uma boa relação entre as camadas, tanto a sua espessura, como aderência entre as mesmas. Conseguido através da estabilidade da temperatura que o material mantém até à passagem da próxima camada. Pois mantém bastante similar a espessura do material depositado com o passar sucessivo de camadas.

No entanto, no 2.2 (175°C) observa-se que a estabilidade entre camadas, com a temperatura utilizada neste teste, não é tão similar, pois com o passar das camadas, estas vão abatendo e reduzindo a sua espessura, o que conseqüentemente cria uma disparidade entre a altura da peça e altura do bico, a cada camada.

Já no 2.3 (180°C) obtém-se um ligeiro aumento dos problemas do teste anterior, com o crescente aumento da temperatura, pois existe uma relação direta com o aumento da fluidez do material, que causa um maior abate do material depositado.

Assim, verifica-se que, quanto mais a temperatura aumenta comparativamente à ideal, existe um maior abate (menor espessura da altura real da camada), o que provoca ao desenvolvimento da peça, a cada camada, uma maior diferença entre esta altura real e a distância que a extrusora sobe verticalmente.

Ou seja, consegue-se obter diferentes espessuras das camadas, ao alterar a temperatura de extrusão utilizada.

- Mais temperatura – mais fluidez - menor espessura de camada
- Menos temperatura – menos fluidez – maior espessura de camada

No desenvolvimento das peças nota-se uma irregularidade em certos locais, devido à má aderência que a primeira camada apresenta. Esta deforma o que acaba por alterar as dimensões da peça.

7.1.2.3 Teste 3 – Velocidade de extrusão

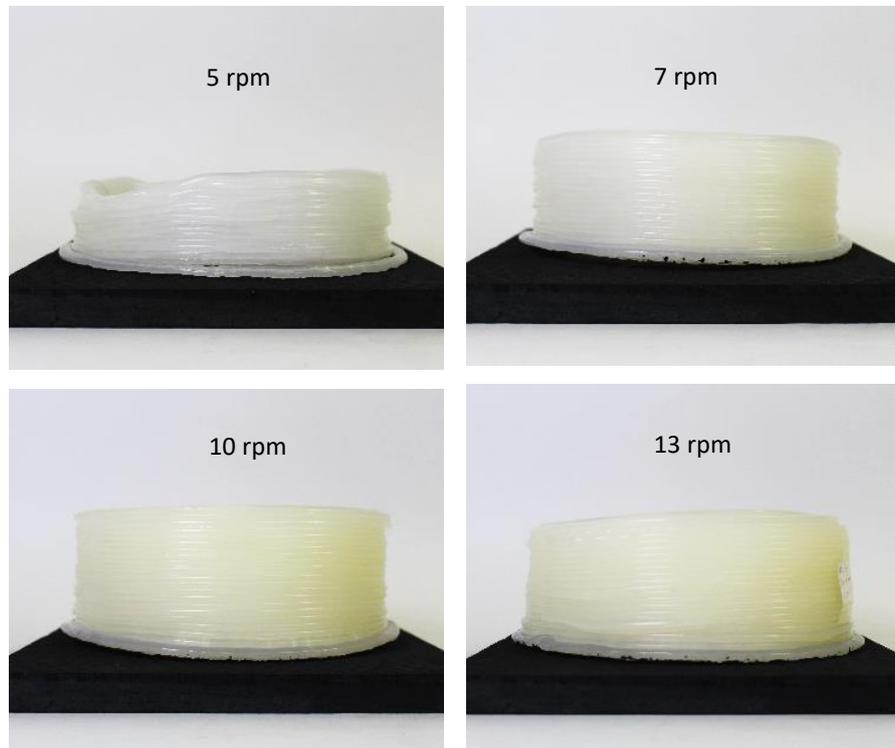


Figura 43 - Conjunto de resultados obtidos no teste 3

Observa-se no teste 3.1 (5rpm), uma boa relação entre o deslocamento vertical da extrusora, com a quantidade de material depositado. No entanto, a velocidade de extrusão apresenta-se como inferior à da velocidade a que se desloca o braço robótico. Isto faz com que a quantidade de material depositado por segundo, não seja o suficiente para a velocidade de deslocamento. Isto traduz-se num arrasto do material e diminuição da qualidade da peça.

Já no teste 3.2 (7rpm), observa-se a melhor relação entre os diversos parâmetros, conseguindo uma peça homogénea em todas as camadas. Isto deve-se à relação entre o material depositado por segundo ser a ideal para que este acompanhe a velocidade do movimento do robô.

Posteriormente, ao realizar o teste 3.3 (10rpm), obtiveram-se resultados similares ao anterior, no entanto, devido à quantidade de material depositado ser superior com o aumento dos rpm, este começa a ser em excesso, o que acaba por fazer com que a qualidade das camadas produzidas não obtenham tanta qualidade.

Com o teste 3.4 (13rpm), exalta-se o observado no anterior, onde a quantidade de material depositado é excessiva para a velocidade de deslocação do robô. Isto traduz-se num desperdício de material para a peça desejada e uma má qualidade das camadas.

Com os testes apresentados, pode concluir-se que é necessário definir qual a melhor velocidade de extrusão para a velocidade de deslocamento definido para o robô, para que desta forma exista uma melhor relação entre os dois. Isto irá traduzir-se num melhor acabamento da peça e num menor desperdício de material.

Assim sendo, consegue também concluir-se que, ao aumentar a velocidade de extrusão, permite aumentar a velocidade do braço robótico, o que permite que se produza as peças num menor tempo.

7.2 Plano de testes 2 – parâmetros da geometria da peça

Obtidas as conclusões dos testes realizados anteriormente, é então necessário avançar para a realização um segundo plano, com o objetivo de entender alguns parâmetros diretamente ligados à geometria das peças a produzir.

Assim sendo, através das conclusões anteriores foram definidos novos parâmetros de produção, de forma a obter peças com melhores acabamentos e que respeitem o material usado em questão.

Desta forma, os parâmetros de produção utilizados para a realização dos testes foram:

- Velocidade do robô: 8mm/s
- Bico de extrusão: 6mm
- Altura do layer: 4mm
- Temperatura de extrusão: 180°C
- Velocidade de extrusão: 15rpm

		Parâmetros						
Teste 1	Nº	Diâmetro	Altura	V. Rotação	Layer	Temperatura	Nº de passagens	Inclinação
Inclinação da peça	4.1	20cm	15cm	15rpm	4mm	180°C	1	15
	4.2							20
	4.3							25
	4.4							30
	4.5							35

Tabela 9 - - Plano de testes de parâmetros da geometria a executar

		Parâmetros						
Teste 2	Nº	Diâmetro	Altura	V. Rotação	Layer	Temperatura	Nº de passagens	Inclinação
Altura da peça	2.1	20cm	30cm	15rpm	4mm	180°C	1	0
		Parâmetros						
Teste 3	Nº	Diâmetro	Altura	V. Rotação	Layer	Temperatura	Nº de passagens	Inclinação
Diâmetro da peça	1.1	30cm	10cm	15rpm	4mm	180°C	1	0
	1.2	50cm						

7.2.1 Objetivos de teste

- **Teste 1 – inclinação da peça:** tem como objetivo entender qual o ângulo máximo que as paredes da peça podem apresentar para que seja possível a sua produção, sem interferir com a qualidade da peça.

- **Teste 2 – Altura da peça:** tem como objetivo perceber, se com o aumento do número camadas para obter a altura exigida pela peça, estará relacionada com a qualidade da peça, pois é um acréscimo de peso. Pretende-se também entender a estabilidade da produção das peças em altura.

- **Teste 3 – diâmetro da peça:** tenta-se entender se a dimensão da peça influencia na qualidade de produção da mesma, pois ao aumentar o caminho que este tem de percorrer, há mais tempo para a camada anterior arrefecer, podendo interferir com a geometria da peça

7.2.2 Propriedades do material utilizado

O composto BIO4-PP820 é uma resina de polipropileno copolímero reforçada com 20% de caroço de azeitona.

O material apresenta as seguintes propriedades:

Tabela 10 - Propriedades do BIO-PP820

Properties	Method	Value	Unit
Physical			
Melt Flow Rate (230°C/2.16 kg)	ISO 1133	11.3	g/10 min
Density	ISO 1181-1	0.90	g/cm ³
Processing Conditions			
Product dehumidification is recommended before application. Temperature/Time: 75-85°C/2-4h			
Recommended melt temperature: 180-200 °C			
Recommended mould temperature: 80-100 °C			

7.2.3 Resultados obtidos – parâmetros da geometria da peça

7.2.3.1 Teste 4 – Inclinação da peça



Figura 44 - Conjunto de resultados obtidos no teste 4

Observa-se nos testes 4.1 (15°), 4.2 (20°), 4.3 (25°), que a inclinação apresentada nas peças é possível de produzir e que estas apresentam uma boa estabilidade ao longo do seu processo de produção. O acabamento das peças apresenta, uma melhor qualidade na parte interior do que na exterior

No entanto, no teste 4.4 (30°), observa-se uma boa qualidade na peça produzida a 30°, apesar de começar a apresentar alguma variação dimensional comparativamente ao modelo CAD. Verificando-se um ligeiro atraso do material depositado comparativamente ao deslocamento diagonal feito pelo robô para a produção da peça.

Já no teste 4.5 (35°), apesar do bom acabamento da peça, esta apresenta uma grande variação dimensional, não conseguindo assim cumprir as dimensões definidas pelo modelo CAD.

Isto deve-se ao material depositado não acompanhar o movimento diagonal feito pelo robô. Apesar da produção completa da peça, o material não é depositado no local correto.

Pode concluir-se através dos testes realizados que a inclinação máxima para uma produção possível e mantendo uma boa qualidade da peça, é de 30°, utilizando os parâmetros de produção anteriormente definidos. No entanto, através do ajuste de alguns destes

parâmetros poderá conseguir-se obter uma maior inclinação, através de uma melhor relação entre o movimento diagonal que o robô faz entre camadas e o material depositado pela extrusora.

Conclui-se ainda de forma geral em todos os testes, que a parte interior das peças apresenta um melhor acabamento. Isto ocorre devido à parte interior da camada ser depositada sobre a camada anterior, obtendo uma maior estabilidade do que a exterior, pois devido ao movimento diagonal do robô, esta ser depositada quase de forma suspensa.

7.2.3.2 Teste 5 – Altura da peça



Figura 45 - Conjunto de resultados obtidos no teste 5

No teste 5.1 (10 cm), obtém-se uma regularidade entre camadas ao longo da peça. Verificando-se ainda uma boa aderência entre as mesmas e também uma perfeita execução dimensional da peça

Na execução do teste 5.2 (30 cm), observa-se uma repetição dos parâmetros observados no teste anteriormente realizado, conseguindo assim uma evolução regular das camadas ao longo da produção de toda a peça, tendo uma peça final com bom acabamento e rigor dimensional.

Com os testes realizados, pode concluir-se que, através da utilização dos parâmetros de produção mais adequados para o material utilizado, a altura das peças não apresenta uma influência direta na execução das peças e da sua qualidade.

A tecnologia permite-nos assim produzir peças em grande escala mantendo uma boa qualidade e rigor dimensional.

7.2.3.3 Teste 6 – Diâmetro da peça

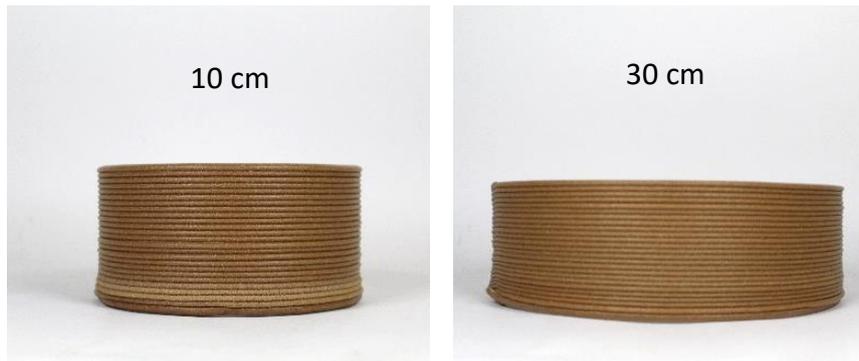


Figura 46 - Conjunto de resultados obtidos no teste 6

Com o teste 6.1 (20 cm), obtém-se se uma ótima aderência do material entre camadas, ao longo de todo o caminho percorrido para a produção da peça, obtendo assim um bom acabamento da mesma.

Ainda no desenvolvimento do teste 6.2 (30 cm), observa-se uma ótima qualidade na produção da peça, mantendo exatamente o comportamento da peça realizada no teste anterior.

Em forma de conclusão, com os testes realizados, que apesar de o percurso percorrido por camada ter aumentado em 30cm, a aderência entre camadas apresenta exatamente a mesma qualidade, podendo assim concluir-se então, que peças de maiores dimensões, utilizando os parâmetros de produção corretos serão possíveis de produzir e com boa qualidade.

7.3 Avaliação da peça final com base nos testes realizados

Após a realização de todos os testes anteriormente apresentados, surge a necessidade de avaliar a peça desenvolvida com base nos parâmetros concluídos nos mesmos.

Desta forma, observa-se que esta é possível produzir pois respeita o único parâmetro que se conclui anteriormente que poderá causar uma impossibilidade de produção, que é o da inclinação. Pois apesar da peça apresentar inclinações não excede o máximo obtido em testes de 30º.

De entre os outros dois parâmetros testados, como altura e dimensão da distância percorrida por camada, verificaram-se como não influentes na qualidade, logo, apesar das suas grandes dimensões é possível a sua produção.

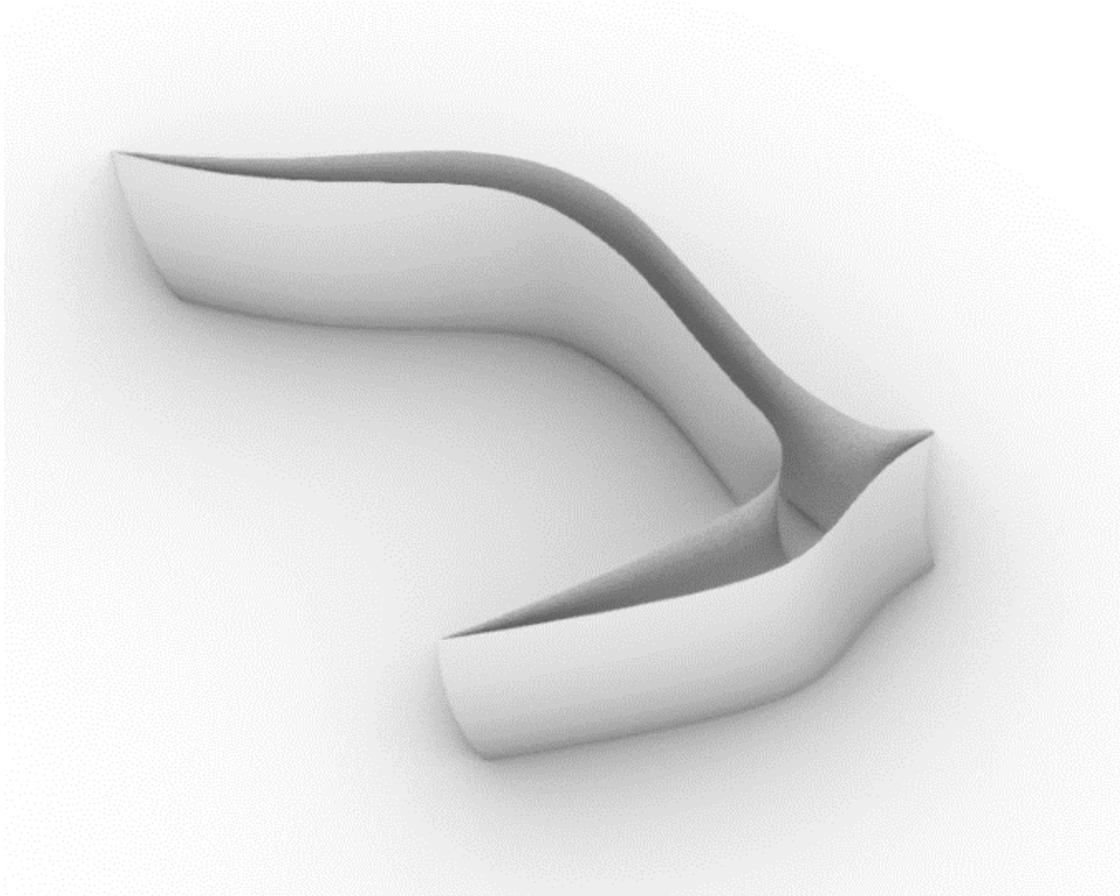


Figura 47 - Geometria a produzir

8. METODOLOGIA PARA INTRODUÇÃO À TECNOLOGIA

Após o desenvolvimento de testes e todo o conhecimento obtido através da introdução no fabrico aditivo em grande escala com a extrusão controlada por braço robótico, surge a necessidade de desenvolver uma metodologia inicial para introdução à mesma.

Esta tem como objetivo reduzir o tempo para definir a melhor relação entre os parâmetros de produção de forma a obter a melhor peça possível, principalmente quando existe uma mudança para outro material.

Esta metodologia baseia-se então, no desenvolvimento de uma peça padrão que apresenta um conjunto de parâmetros a avaliar. Estes deverão ser avaliados após a sua produção e corrigidos através das instruções e conhecimentos partilhados.

8.1 - Peça padrão

A peça padrão desenvolvida tem como base todos os testes realizados anteriormente. Esta deve então conseguir, através da produção de uma peça única, diferentes conclusões.

Do ponto de vista de parâmetros da geometria da peça, esta apresenta os três que foram testados, a altura da peça, distância do caminho percorrido e ainda uma inclinação nas suas faces.

Assim sendo, esta peça padrão desenvolvida apresenta 30cm de altura, uma distância de caminho percorrido numa camada de 70cm e inclinação de 30º em duas zonas da peça.

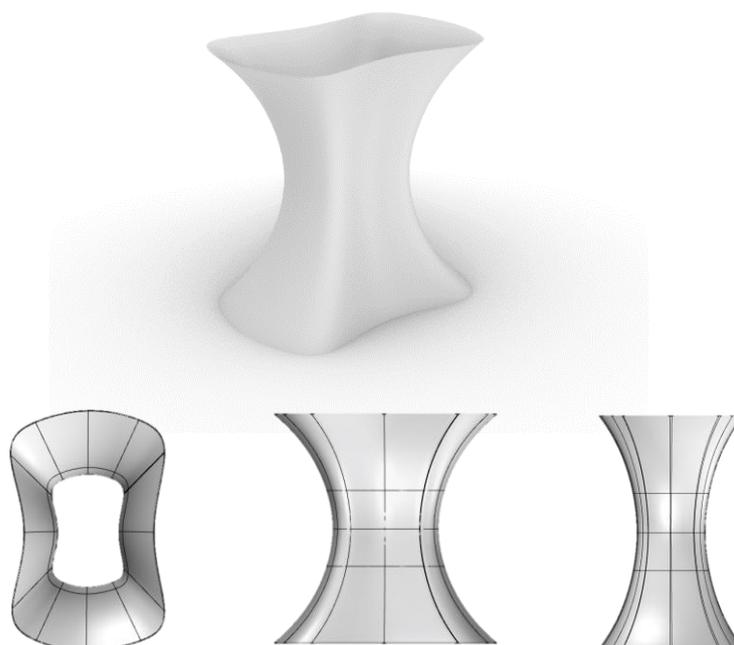


Figura 48 - Peça padrão desenvolvida

8.2 - Parâmetros de avaliação

Após a realização da peça padrão é necessário então avaliar a mesma perante diversos parâmetros, de forma a se obter conclusões para que a relação entre estes seja otimizada e assim obter uma peça com melhor qualidade.

Estes parâmetros são então:

- Qualidade das camadas
- Adesão entre camadas
- Dimensões finais da peça

8.3 Problemas e possíveis correções

1. Qualidade das camadas		
Problemas	Parâmetro variado	Efeito
1. Controlo da quantidade de material depositado	Velocidade do robô	- Velocidade permite depositar mais material por camada + velocidade permite depositar menos material e diminuir tempo de produção
	Velocidade de extrusão	- Rotações por minuto deposita menos material + rotações deposita mais quantidade de material
	Temperatura de fusão do material	+ temperatura torna o material mais fluido, logo deposita mais material - Temperatura fará com que seja depositado menos material
2. Relação entre material depositado e altura das camadas	Altura das camadas	Camada + alta é necessário depositar mais material Camada + baixa é depositado menos material
2. Aderência entre camadas		
Problemas	Parâmetro variado	Efeito
1. Falta de aderência entre camadas da peça	Temperatura do material	+ temperatura no processamento do material poderá fazer com que este adira melhor entre camadas
	Distância percorrida por camada	- distância percorrida por camada melhora a aderência entre camadas ou alteração para um material com outro tipo de comportamento

3. Dimensões finais da pesa		
Problemas	Parâmetro variado	Efeito
1. Variação dimensional da peça final para o modelo CAD	Aderência à base	+ temperatura na base aquecida - altura da primeira camada para que esta tenha mais área de contacto com a base de trabalho + elementos de ligação ou fixação da peça à base
	Contração do material	Alteração para um material que apresente parâmetros de produção mais estáveis. Materiais com cargas tendem a ser mais estáveis.
	Relação entre movimento do robô e material depositado	Melhor relação entre os parâmetros de produção, através das alterações (1.)

9. CONCLUSÕES

Ao longo de todo o desenvolvimento do projeto, pode concluir-se que existiu uma elevada aprendizagem, ao redor de todas as temáticas apresentadas. Conseguindo assim adquirir-se conhecimento suficiente para entender qual o caminho que as nossas cidades irão seguir e onde é mais necessário intervir.

Com isto, foi então possível desenvolver uma estrutura que irá apoiar o futuro da mobilidade e deste modo refletir-se num estilo de vida mais sustentável, e que consiga responder às principais necessidades dos utilizadores.

Do ponto de vista da produção, apresentou-se como a parte mais desafiante do mesmo, pois foi necessário adquirir uma diversa variedade de conhecimento, desde o controlo e calibração do braço robótico, a programação para a execução da tarefa pretendida, e todo o controlo de processo de extrusão.

É neste ponto, em que surge o maior desafio, pois é o momento em que se pretende materializar e tornar possível a execução de todo estudo executado, onde foi necessário realizar diversos testes de forma a entender os melhores parâmetros de produção e as limitações que estes apresentavam.

Com isto, conseguiu então concluir-se que o processo de produção estudado é uma tecnologia com uma grande versatilidade, comparativamente com outras mais tradicionais, pois com a junção do braço robótico à extrusão de plástico, permite que o processo do fabrico

aditivo chegue à produção de peças de uma geometria e dimensão superior à grande parte das tecnologias e conseguindo ainda economizar muito material.

No entanto, é um processo que apresenta também algumas limitações, principalmente ligado à parte da extrusão do material, pois é necessário haver um grande controlo do processo de extrusão para que se consigam obter peças com bom acabamento superficial e um bom controlo dimensional.

Em tom de conclusão, podem obter-se através do estudo realizado, as seguintes vantagens e desvantagens do fabrico aditivo em grande escala, através da extrusão polimérica com o controlo de um braço robótico.

- Vantagens:

- Liberdade geométrica
- Tempo de produção
- Redução de material utilizado
- Utilização de materiais reciclados
- Automatização do processo de produção

- Desvantagens:

- Controlo de todos os parâmetros de extrusão
- Apenas utilização de materiais poliméricos
- Inclinação das faces da peça a produzir
- Acabamento das peças

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Europeia do Ambiente. (2019). *Emissões de dióxido de carbono nos carros*. <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20190313STO31218/emissoes-de-dioxido-de-carbono-nos-carros-factos-e-numeros-infografia>
- Barros, J. (2007). *Cidade e História*. <http://www.vozes.com.br>
- Baxter, M. (2011). *BAXTER_projeto de produto*.
- Bouton, S., Knupfer, S. M., Mihov, I., & Swartz, S. (2015). *Urban mobility at a tipping point*.
- Celani, G., & Verzola Vaz, C. E. (2003). *CAD Scripting And Visual Programming Languages For Implementing Computational Design Concepts:A Comparison From A Pedagogical Point Of View*.
- Comissão Europeia Direção Geral da Política Regional. (2017). *Cidades de Amanhã Desafios, visões e perspectivas*. <https://doi.org/10.2776/54301>
- Dino, I. G. (2012). Creative design exploration by parametric generative systems in architecture. *Metu Journal of the Faculty of Architecture*, 29(1), 207–224. <https://doi.org/10.4305/METU.JFA.2012.1.12>
- Extrusão de Materiais | Grupo de Pesquisa em Manufatura Aditiva | Universidade de Loughborough*. (n.d.). Retrieved January 28, 2023, from <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/>.
- Fischer, T., & Herr, C. M. (n.d.). *Teaching Generative Design*.
- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., Wang, C. C. L., Shin, Y. C., Zhang, S., & Zavattieri, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *CAD Computer Aided Design*, 69, 65–89. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>
- Gaspar, M. (2019). *Mobilidade no Futuro: “Precisamos de uma revolução”, diz vereador lisboeta - Smart Cities*. <https://smart-cities.pt/mobilidade/mobilidade-futuroey2802/>
- Hertzke, P., Müller, N., Schaufuss, P., Schenk, S., & Wu, T. (2019). *Expanding electric-vehicle adoption despite early growing pains*.
- Iordanova, I., Tidafi, T., Guité, M., de Paoli, G., & Lachapelle, J. (2009). *ParaMetric Methods of eXploration and creativitY during archItectural design A case study in the design studio*.

Khabazi, Z. (2012). *Generative Algorithms (using Grasshopper)*.

Khurt, J. (1991). *Material Incess Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques*.

Kolarevic. (2005). *Digital Morphogenesis and Computational Architectures*.

Leach, N. (2005). *The Aesthetics of Architecture*.

Martino, J. (2015). *ALGORITMOS EVOLUTIVOS COMO MÉTODO PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE ARQUITETURA CAMPINAS 2015*.

Möller, T., Padhi, A., Pinner, D., & Tschiesner, A. (2019). *The future of mobility is at our doorstep*.

Morais, A. (2022). *Métodos e Desafios para a Integração de Sistemas de Fabricação Robótica na Arquitetura e Construção*.

Parlamento Europeu. (2019). *Redução das emissões de carbono*.
<https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180305STO99003/reducao-das-emissoes-de-carbono-metas-e-iniciativas-da-uniao-europeia>

Roschli, A., Gaul, K. T., Boulger, A. M., Post, B. K., Chesser, P. C., Love, L. J., Blue, F., & Borish, M. (2019). Designing for Big Area Additive Manufacturing. *Additive Manufacturing*, 25, 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.11.006>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). *The World's Cities in 2018—Data Booklet (ST/ESA/SER.A/417)*. (2018).
<https://www.flickr.com/photos/thisisin>

Sociedade Geográfica Nacional. (2021).
<https://www.nationalgeographic.org/article/history-cities/>

Wiberg, A. (2019). Towards Design Automation for Additive Manufacturing A Multidisciplinary Optimization approach Anton Wiberg FACULTY OF SCIENCE AND ENGINEERING. In Linköping Studies in Science. www.liu.se

Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger – *Product Design and Development* (2015).

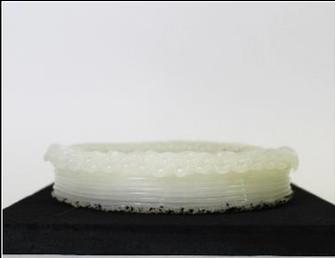
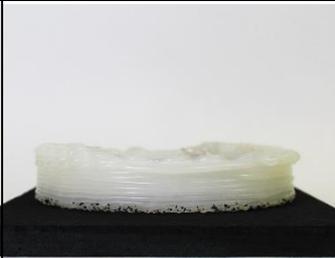
ANEXO A-1 – TESTE 1 ALTURA DE CAMADAS

Tabela 11 - Resultados obtidos no teste 1

			
Teste 1.1	Teste 1.2	Teste 1.3	Teste 1.4
3mm	4mm	5mm	6 mm
<p>Observações:</p> <p>Observa-se que a espessura do material depositado é superior à distância que a extrusora se move verticalmente, o que causa um arrasto do material com o bico da extrusora. Isto provoca um mau acabamento da peça.</p>	<p>Observações</p> <p>Observa-se que existe uma melhor relação entre a distância que a extrusora se move verticalmente por cada camada e a espessura do material depositado, apresentando assim uma melhor qualidade das camadas.</p> <p>No entanto, o material abate ao arrefecer, que, conseqüentemente, ao final de um número de camadas, aumenta a distância entre a camada e o bico de extrusão.</p>	<p>Observações:</p> <p>Observa-se exatamente do teste anterior, no entanto, agravado, devido à distância dada para camada ser superior.</p>	<p>Observações:</p> <p>Observa-se exatamente do teste anterior, no entanto, agravado, devido à distância dada para camada ainda ser mais superior.</p>
<p>Conclusões: Pode concluir-se que a altura da camada está diretamente ligada com a possibilidade da produção da peça e a sua qualidade. A definição deste parâmetro deverá ter sempre como base, independentemente do material utilizado, a melhor relação entre a espessura que o material apresenta, após ser depositado, com a distância definida para que o robô mova verticalmente a extrusora entre cada camada.</p> <p>Conclui-se ainda que o melhor teste é o de 4mm, que corresponde à espessura do bico utilizado.</p>			

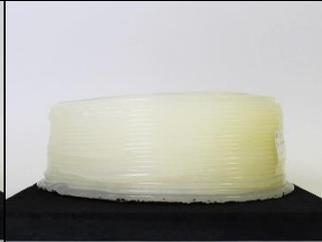
ANEXO A.2 – TEMPERATURA DE EXTRUSÃO

Tabela 12 - Resultados obtidos no teste 2

		
Teste 2.1	Teste 2.2	Teste 1.3
170 °C	175 °C	180 °C
<p>Observações:</p> <p>Observa-se uma boa relação entre as camadas, tanto a sua espessura, como aderência entre as mesmas. Conseguido através da estabilidade da temperatura que o material mantém até à passagem da próxima camada. Pois mantém bastante similar a espessura do material depositado com o passar sucessivo de camadas.</p>	<p>Observações</p> <p>Observa-se que a estabilidade entre camadas, com a temperatura utilizada neste teste, não é tão similar, pois com o passar das camadas, estas vão abatendo e reduzindo a sua espessura, o que consequentemente cria uma disparidade entre a altura da peça e altura do bico, a cada camada.</p>	<p>Observações:</p> <p>Observa-se um ligeiro aumento dos problemas do teste anterior, com o crescente aumento da temperatura, pois existe uma relação direta com o aumento da fluidez do material, que causa um maior abate do material depositado.</p>
<p>Conclusões: Pode concluir-se que quanto mais a temperatura aumenta comparativamente à ideal, existe um maior abate (menor espessura da altura real da camada), o que provoca ao desenvolvimento da peça, a cada camada, uma maior diferença entre esta altura real e a distância que a extrusora sobe verticalmente.</p> <p>Ou seja, consegue-se obter diferentes espessuras das camadas, ao alterar a temperatura de extrusão utilizada.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mais temperatura – mais fluidez - menor espessura de camada - Menos temperatura – menos fluidez – maior espessura de camada <p>No desenvolvimento das peças nota-se uma irregularidade em certos locais, devido à má aderência que a primeira camada apresenta. Esta deforma o que acaba por alterar as dimensões da peça.</p>		

ANEXO A.3 – TESTE VELOCIDADE DE EXTRUSÃO

Tabela 13 - Resultados obtidos no teste 3

			
Teste 3.1	Teste 3.2	Teste 3.3	Teste 3.4
5 rpm	7 rpm	10 rpm	13 rpm
<p>Observações:</p> <p>Observa-se neste teste uma boa relação entre o deslocamento vertical da extrusora, com a quantidade de material depositado. No entanto a velocidade de extrusão apresenta-se como inferior à da velocidade a que se desloca o braço robótico. Isto faz com que a quantidade de material depositado por segundo, não seja o suficiente para a velocidade de deslocamento. Isto traduz-se num arrasto do material e diminuição da qualidade da peça.</p>	<p>Observações</p> <p>Observa-se neste teste a melhor relação entre os diversos parâmetros. Conseguindo uma peça homogénea em todas as camadas. Isto deve-se à relação entre o material depositado por segundo ser a ideal para que este acompanhe a velocidade do movimento do robô.</p>	<p>Observações:</p> <p>Observa-se neste teste resultados similares aos obtidos no anterior. No entanto devido à quantidade de material depositado ser superior com o aumento dos rpm, este começa a ser em excesso, o que acaba por fazer com que a qualidade das camadas produzidas não obtenham tanta qualidade.</p>	<p>Observações:</p> <p>Observa-se no último teste que a quantidade de material depositado é excessiva para a velocidade de deslocação do robô. Isto traduz-se num desperdício de material para a peça desejada e uma má qualidade das camadas.</p>
<p>Conclusões: Com os testes realizados pode concluir-se que é necessário definir qual a melhor velocidade de extrusão para a velocidade de deslocamento definido para o robô, para que desta forma exista uma melhor relação entre os dois. Isto irá traduzir-se num melhor acabamento da peça e num menor desperdício de material.</p> <p>Assim sendo, consegue também concluir-se que ao aumentar a velocidade de extrusão, permite aumentar a velocidade do braço robótico, o que permite que se produza as peças num menor tempo.</p>			

ANEXO B.1 – TESTE DE INCLINAÇÃO DAS FACES DA GEOMETRIA

Tabela 14 - Resultados obtidos no teste 4

				
Teste 4.1	Teste 4.2	Teste 4.3	Teste 4.4	Teste 4.5
15°	20°	25°	30°	35°
<p>Observações:</p> <p>Observa-se que a inclinação da peça é possível de produzir e que esta apresenta uma boa estabilidade ao longo do seu processo de produção. Este apresenta uma melhor qualidade na parte interior da peça do que na exterior</p>	<p>Observações</p> <p>Observa-se a possibilidade de produção nesta inclinação, mantendo também o mesmo observado na qualidade interior superior à exterior.</p> <p>(Algumas das falhas apresentadas na peça devem de um problema na alimentação de material da extrusora)</p>	<p>Observações:</p> <p>Observam-se os mesmos resultados do teste anterior, verificando-se assim como possível a produção da peça com 25° e a qualidade da mesma.</p>	<p>Observações:</p> <p>Observa-se uma boa qualidade na peça produzida a 30°, no entanto começa a apresentar alguma variação dimensional comparativamente ao modelo CAD. Verificando-se um ligeiro atraso do material depositado comparativamente ao deslocamento diagonal feito pelo robô para a produção da peça.</p>	<p>Observações:</p> <p>Observa-se que apesar do bom acabamento da peça, esta apresenta uma grande variação dimensional, não conseguindo assim cumprir as dimensões definidas pelo modelo CAD. Isto deve-se ao material depositado não acompanhar o movimento diagonal feito pelo robô. Apesar da produção completa da peça, o material não é depositado no local correto.</p>
<p>Conclusões: Pode concluir-se através dos testes realizados que a inclinação máxima para uma produção possível e mantendo uma boa qualidade da peça, é de 30°, utilizando os parâmetros de produção anteriormente definidos. No entanto através do ajuste de alguns destes parâmetros poderá conseguir-se obter uma maior inclinação, através de uma melhor relação entre o movimento diagonal que o robô faz entre camadas e o material depositado pela extrusora. Conclui-se ainda de forma geral em todos os testes, que a parte interior das peças apresenta um melhor acabamento. Isto ocorre devido à parte interior da camada ser depositada sobre a camada anterior, obtendo uma maior estabilidade do que a exterior, pois devido ao movimento diagonal do robô, esta ser depositada quase de forma suspensa.</p>				

ANEXO B.2 – TESTE DE ALTURA DA GEOMETRIA

Tabela 15 - Resultados obtidos no teste 5

	
Teste 5.1	Teste 5.2
10cm	30cm
<p>Observações:</p> <p>Observa-se uma regularidade entre camadas ao logo da peça. Verificando-se ainda uma boa aderência entre as mesmas e também uma perfeita execução dimensional da peça</p>	<p>Observações</p> <p>Observa-se uma repetição dos parâmetros observados no teste anteriormente realizado. Obtém-se assim uma evolução regular das camadas ao logo da produção de toda a peça, tendo uma peça final com bom acabamento e rigor dimensional.</p>
<p>Conclusões: Com os testes realizados pode concluir-se que através da utilização dos parâmetros de produção mais adequados para o material utilizado, a altura das peças não apresenta uma influência direta na execução das peças e da sua qualidade. A tecnologia permite-nos assim produzir peças em grande escala mantendo uma boa qualidade e rigor dimensional.</p>	

ANEXO B.3 – TESTE DE DIÂMETRO DA GEOMETRIA

Tabela 16 - Resultados obtidos no teste 6

	
<p>Teste 6.1</p>	<p>Teste 6.2</p>
<p>20cm</p>	<p>30cm</p>
<p>Observações:</p> <p>Observa-se uma ótima aderência do material entre camadas, ao longo de todo o caminho percorrido para a produção da peça, obtendo assim um bom acabamento da mesma.</p>	<p>Observações</p> <p>Observa-se uma ótima qualidade na produção da peça, mantendo exatamente o comportamento da peça realizada no teste anterior.</p>
<p>Conclusões: Pode concluir-se assim através dos testes realizados, que apesar de o percurso percorrido por camada ter aumentado em 30cm, a aderência entre camadas apresenta exatamente a mesma qualidade. Conclui-se então que peças de maiores dimensões, utilizando os parâmetros de produção corretos serão possíveis produzir e com boa qualidade.</p>	

ANEXO C – PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ PARA IMPRESSÃO DA GEOMETRIA FINAL

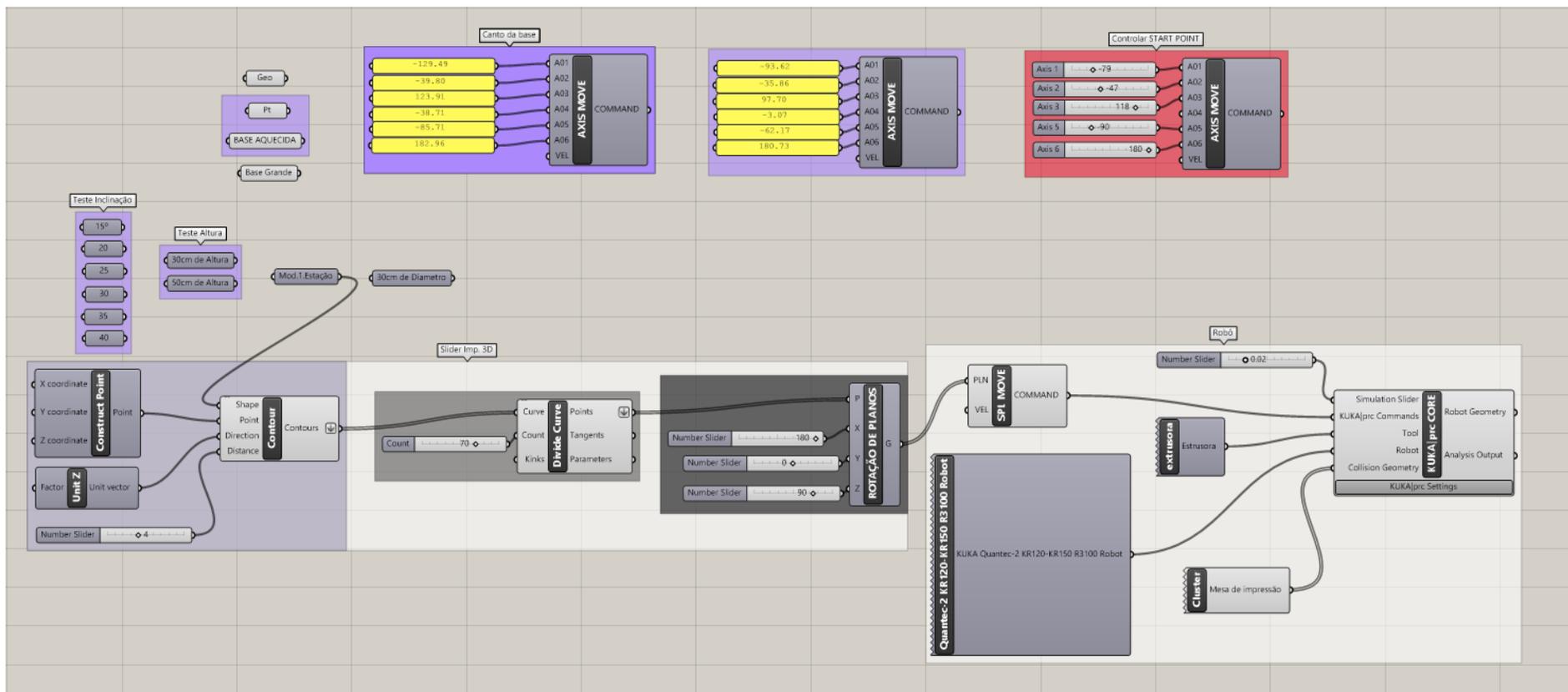


Figura 49 - Programação visual no Grasshopper