



Universidade de Aveiro
2022

**Daniel dos
Santos Clemente
Chaves Morais**

**Design generativo aplicado ao design de uma
coleção de vasos: Estágio no Estudioama**



Universidade de Aveiro
2022

**Daniel dos
Santos Clemente
Chaves Morais**

**Design generativo aplicado ao design de uma
coleção de vasos: Estágio no Estudioama**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Design de Produto, realizada sob a orientação científica da Doutora Maria de Fátima Teixeira Pombo, Professora Associada com Agregação do Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro, e do Doutor Ricardo José Alves de Sousa, Professor Auxiliar com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutor Joaquim Alexandre Mendes de Pinho da Cruz
professor associado da Universidade de Aveiro

arguente

Prof. Doutora Violeta Catarina Marques Clemente
professora adjunta da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção de Aveiro
Norte/Universidade de Aveiro

arguente

Prof. Doutor Fábio Jorge Pereira Simões
professor adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria

orientador

Prof. Doutora Maria de Fátima Teixeira Pombo
professora associada com agregação da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Aos meus pais por todo o apoio e carinho que me fez tornar a pessoa que sou hoje.

Ao Estudoama por me proporcionar a oportunidade de aprender e desenvolver enquanto profissional.

Aos meus orientadores, Professora Fátima Pombo e Professor Ricardo Sousa, pela disponibilidade para orientar e partilha do conhecimento científico.

Ao meu amigo Neil Mooney pelo apoio na prototipagem rápida.

Aos meus colegas de curso com os quais aprendi bastante e passei bons momentos.

Aos meus amigos com quem posso sempre contar.

Por fim, um agradecimento especial à minha namorada Rita, por me incentivar constantemente a trabalhar mais e melhor, mesmo nos momentos mais difíceis.

palavras-chave

Design Generativo, Modelação 3D, Design de Produto, Estágio, Prototipagem rápida.

resumo

Este documento resulta do estágio curricular realizado no Estudioama, e resume a investigação realizada ao longo do projeto. O estágio permitiu colaborar e adquirir novos conhecimentos com designers com provas dadas no ramo do design. O projeto concretizado tem como objetivo conceber uma coleção de vasos para propor à empresa Almas Design e, simultaneamente, perceber as vantagens e desvantagens da utilização do design generativo por parte de um designer de produto.

Numa fase inicial estabeleceu-se uma base teórica onde se fez um estudo do design generativo, assim como dos diferentes tipos de design computacional. Realizou-se também um levantamento de exemplos da implementação do design generativo na concepção de produtos cerâmicos.

Uma vez que seria necessário construir uma base de conhecimento em relação ao design generativo de um ponto de vista da sua utilização, foi feita uma aprendizagem generalizada do programa Grasshopper, uma vez que este seria o veículo para a introdução do design generativo no projeto.

Com a realização da coleção de vasos foi possível concluir que existem condições favoráveis para a implementação do design generativo, nomeadamente a capacidade que este oferece na procura de forma. E também a capacidade que revela em criar diversas alternativas para o mesmo problema, o que torna o computador numa ferramenta mais atrativa na fase conceptual do projeto.

keywords

Generative Design; 3D Modeling; Product Design; Internship; Rapid prototyping.

abstract

This document results from the internship at Estudioama and contains the activities that were developed during the creation of the project. The internship allowed to collaborate and acquire knowledge from experienced designers with a proven track record. The project's aim was to create a collection of vases to present to Almas Design, and simultaneously understand the advantages and disadvantages in the usage of generative design by a product designer in their workflow.

In an initial stage, a theoretical base was established in which occurred a study of generative design, as well as of the different types of Computational Design. There was also a gathering of several examples of ceramic products that were created using generative design.

Since it was necessary to establish a know-how in terms of the usage of generative design, a learning stage of the software Grasshopper ensued, this programme was going to be the method of introducing generative design into the project therefore this was a key part of the process.

With the creation of the vase collection, it was possible to acknowledge that there are favourable aspects to implementing Generative Design. Some of which are the ability that this form of Computational Design possesses in terms of form-finding, as well as the ability to quickly create several alternatives to the same problem. This will result in being able to utilize the computer in a much earlier stage of the project.

Índice

4 Índice de figuras

12 Índice de tabelas

Parte I - Contextualização teórica

Capítulo 1. Introdução

15 **1.1** Contextualização
15 **1.2** Motivação e Objetivos
16 **1.3** Metodologia
17 **1.4** Estrutura do documento

Capítulo 2. Enquadramento teórico

19 **2.1** Design Computacional
20 **2.1.1** Padrão *Voronoi*
21 **2.1.2** Otimização de Topologia
22 **2.1.3** Algoritmos Genéticos
23 **2.1.4** Design Paramétrico
24 **2.1.5** Design Algorítmico
25 **2.2** O Design Generativo
27 **2.3** Design Generativo em cerâmica

32 **Considerações intermédias**

Parte II - Desenvolvimento do projeto

Capítulo 3. Estabelecimento de competências em Grasshopper

35 **3.1** Introdução ao Grasshopper
37 **3.2** Primeiras experiências no Grasshopper
41 **3.3** Padrão *Voronoi*
44 **3.4** Padrão ininterrupto
49 **3.5** Atratores
55 **3.6** Utilização de *mesh*
57 **3.7** *Loft* paramétrico
61 **3.8** Expansão de uma curva numa superfície
65 **3.9** Algoritmo *Shortest-Path*

Capítulo 4. Projeto

71	4.1	O atelier Estudioama
73	4.2	A empresa Almas Design
75	4.3	A faiança e os seus processos de produção
76	4.3.1	Conformação da pasta
79	4.3.2	Tratamento da pasta modelada
82	4.4	Enquadramento do projeto
83	4.5	Projeto brief
84	4.6	Desenvolvimento conceptual
86	4.7	Desenvolvimento projetual
97	4.8	Proposta final
112	4.9	Prototipagem
114		Considerações finais
118		Referências bibliográficas

Índice de Figuras

Nota: quando não há referência de fonte, a imagem é do autor.

Figura 1 - Modelo Double Diamond. Fonte: http://wiki.doing-projects.org/index.php/Double_diamond:_A_design_process_model

Figura 2 - Tijela *Voronoi* por Studio Levien. Fonte: www.studiolevien.com/projects/voronoi-bowl

Figura 3 - Corrimão Corollaria por Nervous System. Fonte: www.n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/corollaria-railing/

Figura 4 - Cadeira A.I. por Phillipe Starck. Fonte: www.kartell.com

Figura 5 - Suspensão do Czinger 21C. Fonte: www.wevolver.com/article/the-3d-printed-hypercar-that-beat-the-best

Figura 6 - Parametric Ceramics por Jimmy Jian e Jack Liu. Fonte: www.jimmyjian.com/Parametric-Ceramics

Figura 7 - Parametric Ceramics por Jimmy Jian e Jack Liu. Fonte: www.jimmyjian.com/Parametric-Ceramics

Figura 8 - Coluna Neo por Harmon/Kardon. Fonte: www.behance.net/gallery/96557325/Harman-Kardon-Neo

Figura 9 - Exemplo de um algoritmo feito em Grasshopper.

Figura 10 - Juno por Fuseproject. Fonte: <https://www.dezeen.com/2014/11/12/yves-behar-dna-testing-machine-fluidigm-fuseproject/>

Figura 11 - Hyrb. Fonte: <https://www.micucci.co.uk/product/hryb-porcelain-table-lamp/>

Figura 12 - Urquino. Fonte: <https://www.micucci.co.uk/product/urqino-porcelain-table-lamp/>

Figura 13 - Nervi. Fonte: <https://www.micucci.co.uk/product/nervi-porcelain-table-lamp/>

Figura 14 - Vortex. Fonte: <https://www.german-design-award.com/en/the-winners/gallery/detail/33471-vortex-by-ross-lovegrove.html>

Figura 15 - Padrão biológico. Fonte: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/reaction-diffusion-inspiration/>

Figura 16 - Coral Cup (2018). Fonte: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/coralcup/>

Figura 17 - 3D Printed Cup. Fonte: <https://www.3dprintersonlinestore.com/3d-printed-ceramic-cups-printed-by-nervous-system-3d>

Figura 18 - Coral Plate (2010). Fonte: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/reaction-cup/content/01-reaction-plate/>

Figura 19 - Geo. Fonte: <http://www.almas-design.com/collections/generative-design/>

Figura 20 - Gen. Fonte: <http://www.almas-design.com/collections/generative-design/>

Figura 21 - Vasos desenvolvidos pelo Abnormal.Design. Fonte: <https://www.mickgeerits.com/pots>

Figura 22 - Alguns dos trabalhos realizados por Jonathan Keep. Fonte: <http://www.keep-art.co.uk/digital.html>

Figura 23 - Algorithmic Ceramics por Francesco Perego. Fonte: <https://francescoperego.com/en/project/algorithmic-ceramics>

Figura 24 - Permutation por Cunicode. Fonte: <https://www.cunicode.com/works/permutation>

Figura 25 - Exemplo de um algoritmo composto por 4 nodes. Fonte: <https://discourse.mcneel.com/t/how-to-get-viewportrectangle-from-grasshopper-make2d/89679>

Figura 26 - Cilindro construído em Grasshopper por extrusão.

Figura 27 - Cilindro construído em Grasshopper por loft. Fonte:

Figura 28 - Cilindro construído em Grasshopper por revolução.

Figura 29 - Diferentes geometrias obtidas através do mesmo algoritmo.

Figura 30 - Evolução do anel modelado em Grasshopper.

Figura 31 - Algoritmo utilizado para a construção do anel.

Figura 32 - Efeitos do Graph Mapper no modelo.

Figura 33 - Algoritmo utilizado.

Figura 34 - Evolução do modelo.

Figura 35 - *Render* do vaso desenvolvido em cinza claro.

Figura 36 - *Render* do vaso desenvolvido em cinza escuro.

Figura 37 - *Render* do vaso desenvolvido em roxo.

Figura 38 - Padrão *Voronoi* criado em superfície.

Figura 39 - Algoritmo para criação de um padrão *Voronoi*.

Figura 40 - Funcionamento do *Voronoi* 3D num prisma rectangular.

Figura 41 - Demonstração da ininterrupção do padrão.

Figura 42 - Algumas das diferentes geometrias possíveis.

Figura 43 - Algoritmo criado para obtenção da geometria.

Figura 44 - Demonstração da ininterrupção do padrão.

Figura 45 - Variações aleatórias no padrão através de alterações no Seed.

Figura 46 - Evolução do estado do padrão.

Figura 47 - As duas versões do padrão.

Figura 48 - Modelos finais dos vasos.

Figura 49 - *Render* do vaso com padrão arredondado.

Figura 50 - *Render* do vaso com padrão rectilíneo.

Figura 51 - Ponto atrator situado numa curva.

Figura 52 - Diferentes padrões utilizados atualmente.

Fonte A: <https://lemanoosh.com/tagged/geometry/>

Fonte B: <https://www.chameo-design.com/trend-research/material-pattern-structures/>

Fonte C: https://www.pinterest.co.uk/pin/384072674470302023/?nic_v3=1a4H3Ykas

Fonte D: <https://www.arketipomagazine.it/schuco-per-la-nuova-sede-durst-a-bressanone-bz/>

Fonte E: https://www.pinterest.co.uk/pin/27021666497850638/?nic_v3=1a4H3Ykas

Fonte F: <https://www.yankodesign.com/2016/07/19/the-evolution-of-wireless-video/>

Fonte G: https://www.pinterest.pt/pin/331859066284884252/?nic_v3=1a4H3Ykas

Figura 53 - Grelhas afetadas por curvas atratoras.

Figura 54 - Mesma curva com dois resultados diferentes.

Figura 55 - Vasos com padrões realizados a partir de atratores.

Figura 56 - Diferentes subdivisões efetuadas à superfície base.

Figura 57 - Processo para obtenção das pirâmides.

Figura 58 - Efeito das curvas atratoras na geometria.

Figura 59 - Diferentes iterações com base no mesmo algoritmo.

Figura 60 - *Render* dos vasos.

Figura 61 - *Render* dos vasos.

Figura 62 - Superfície Nurbs e superfície em *mesh*. Fonte: <https://holocreators.com/blog/what-is-the-difference-between-a-nurbs-model-and-a-polygon-mesh/>

Figura 63 - Comparação entre vaso em *mesh* e vaso em Nurbs.

Figura 64 - Geometria resultante da suavização.

Figura 65 - Efeito do Graph Mapper no raio dos círculos.

Figura 66 - Translação dos pontos.

Figura 67 - Diferentes geometrias obtidas através do Graph Mapper.

Figura 68 - Geometria base.

Figura 69 - Geometrias alteradas.

Figura 70 - A mesma geometria em *mesh* vs SubD.

Figura 71 - Vasos resultantes do algoritmo.

Figura 72 - *Render* dos vasos.

Figura 73 - Evolução da expansão da curva ao longo da superfície.

Figura 74 - Diferentes resultados obtidos com o mesmo valor de expansão.

Figura 75 - Diferentes resultados obtidos com o mesmo valor de expansão.

Figura 76 - Resultado final obtido.

Figura 77 - Coral Cup por Nervous System. Fonte: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8222>

Figura 78 - *Renders* do vaso.

Figura 79 - População de pontos gerada na superfície.

Figura 80 - Ponto base para o percurso.

Figura 81 - Passos seguidos para obter o caminho mais curto entre o ponto inicial e os finais.

Figura 82 - Geometria inicial resultante do Dendro.

Figura 83 - Geometria final após a diminuição da espessura.

Figura 84 - Modelo final do vaso.

Figura 85 - *Renders* do vaso.

Figura 86 - Logotipo Estudioama. Fonte: <https://www.facebook.com/Estudioama-lda-181819365186864/>

Figura 87 - Alguns projetos realizados pelos estúdio. Fonte: www.behance.net/aveiromeuamor

Figura 88 - Entrada da Almas Design. Fonte: www.almas-design.com

Figura 89 - Arquétipos por Estudioama. Fonte: www.almas-design.com

Figura 90 - Geo por Studio Levien. Fonte: www.almas-design.com

Figura 91 - Gen por Studio Levien. Fonte: www.almas-design.com

Figura 92 - Catálogo da Almas Design. Fonte: www.almas-design.com

Figura 93 - Esquema representativo da conformação por enchimento. Fonte: www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/slip-casting

Figura 94 - Conformação de uma sanita através do enchimento sob pressão. Fonte: www.sacmi.com/pt-pt/ceramics/news/5359/Volgogradskij-Keramicheskij-Zavod-Russia-expands-its-high-pressure-casting-department-with-Sacmi

Figura 95 - Extrusora de argila. Fonte: <https://fento.pt/pt/gallery-item/fieira-para-ceramica/>

Figura 96 - Contramoldagem Roller. Fonte: www.phgmag.com/setting-the-table/

Figura 97 - Prensa RAM. Fonte: www.sharif-ceramics.com/product/gypsum-for-ram-press/

Figura 98 - Esquema representativo da prensagem RAM. Fonte: www.saintgobainformula.com/usages/ram-press

Figura 99 - Peças cerâmicas a secar. Fonte: www.ceramicaelobo.com/fabricacion2/

Figura 100 - Peças cerâmicas chacotadas. Fonte: www.ceramicaelobo.com/fabricacion2/

Figura 101 - Vidragem à pistola. Fonte: www.homofaber.com/en/experience/spray-glazing-workshop-saint-josse-ten-noode-belgium-hd0yw#

Figura 102 - Vidragem por imersão. Fonte: <https://ceramicartsnetwork.org/daily/article/Quick-Tips-A-Brilliant-Glaze-Dipping-Solution>

Figura 103 - Peças vidradas e decoradas a serem levadas ao forno. Fonte: www.ceramicaelobo.com/fabricacion2/

Figura 104 - Taxonomia. Fonte: <https://pedrobandeiramaia.wixsite.com/designbybiobehaviors/copia-bioexperiencesphd>

Figura 105 - Animais estudados.

Figura 106 - Definição do bio agente.

Figura 107 - Introdução das 3 primeiras variáveis.

Figura 108 - Definição da variável "intimidatório".

Figura 109 - Definição da variável "gentil".

Figura 110 - Definição da variável "enganador".

Figura 111 - Definição da variável "ritualizado".

Figura 112 - Definição da variável "materiais".

Figura 113 - Parte 1 do algoritmo.

Figura 114 - Parte 2 do algoritmo.

Figura 115 - Parte 3 do algoritmo.

Figura 116 - Resultado obtido da taxonomia do Carangueijo-Violinista.

Figura 117 - Resultado obtido da taxonomia do Cavalo-marinho.

Figura 118 - Resultado obtido da taxonomia do Peixe-balão.

Figura 119 - Resultado obtido da taxonomia do Choco.

Figura 120 - Resultado obtido da taxonomia da Tartaruga-verde.

Figura 121 - Resultado obtido da taxonomia da Aranha-pavão.

Figura 122 - Resultado obtido da taxonomia do Camaleão.

Figura 123 - Resultado obtido da taxonomia do Caracol.

Figura 124 - Resultado obtido da taxonomia do Ouriço-terrestre.

Figura 125 - Resultado obtido da taxonomia do Pirlampo.

Figura 126 - Resultado obtido da taxonomia da Ave-lira-soberba.

Figura 127 - Resultado obtido da taxonomia da Parótia-de-lawes.

Figura 128 - Resultado obtido da taxonomia do Pássaro-jardineiro.

Figura 129 - Resultado obtido da taxonomia da Borboleta-rainha.

Figura 130 - Resultado obtido da taxonomia do Cisne-negro.

Figura 131 - Resultado obtido da taxonomia do Combatente.

Figura 132 - Resultado obtido da taxonomia da Fragata-majestosa.

Figura 133 - Resultado obtido da taxonomia do Grou-japonês.

Figura 134 - Resultado obtido da taxonomia da Patola-de-pés-azuis.

Figura 135 - Resultado obtido da taxonomia do Pavão-azul.

Figura 136 - Processo inicial da construção do vaso.

Figura 137 - Evolução da forma.

Figura 138 - Evolução da forma.

Figura 139 - *Render* do vaso Caracol I.

Figura 140 - *Render* em contexto do vaso.

Figura 141 - *Render* do vaso Caracol II.

Figura 142 - *Render* em contexto do vaso.

Figura 143 - *Render* do vaso Caracol III.

Figura 144 - *Render* em contexto do vaso.

Figura 145 - Evolução do modelo gerado a partir da taxonomia do Carangueijo-violinista.

Figura 146 - Evolução do modelo gerado a partir da taxonomia do Carangueijo-violinista.

Figura 147 - Evolução do modelo gerado a partir da taxonomia do Carangueijo-violinista.

Figura 148 - Evolução do modelo gerado a partir da taxonomia do Carangueijo-violinista.

Figura 149 - *Render* do vaso Carangueijo-violinista I.

Figura 150 - *Render* do vaso em contexto.

Figura 151 - *Render* do vaso Carangueijo-violinista II.

Figura 152 - *Render* do vaso em contexto.

Figura 153 - Transformação do modelo gerado através da taxonomia do Ouriço-terrestre.

Figura 154 - Vasos Ouriço-terrestre I e II.

Figura 155 - *Render* do vaso Ouriço-terrestre I.

Figura 156 - *Render* em contexto do vaso.

Figura 157 - *Render* do vaso Ouriço-terrestre II.

Figura 158 - *Render* em contexto do vaso.

Figura 159 - *Render* dos diversos vasos.

Figura 160 - Captura de ecrã do QIDI print.

Figura 161 - Irregularidade das camadas iniciais no vaso.

Figura 162 - Protótipos realizados.

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Ações para cada característica.

Parte I.
Contextualização teórica

Capítulo 1. Introdução

1.1 Contextualização

Este documento resulta do estágio curricular realizado no Estudioama, no âmbito da unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio do Mestrado de Engenharia e Design de Produto.

O estágio foi realizado de forma remota, sendo este o modo de funcionamento atual do Estudioama desde a pandemia Covid-19. Contudo, através da troca de impressões e da discussão constante das tarefas, esta distância física foi encurtada tornando-se assim possível desenvolver novas competências e consolidar as competências adquiridas ao longo do mestrado.

1.2 Motivação e Objetivos

O interesse em realizar este estágio surgiu inicialmente da vontade de integrar uma equipa de design com mais experiência, por forma a adquirir novos conhecimentos e métodos de trabalhar, uma vez que o Estudioama possui vários anos de atividade em diferentes áreas do design.

Os objetivos deste estágio consistiram em alicerçar os conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico e a aprendizagem de novos processos, mais concretamente o Design Generativo, bem como perceber quais os benefícios para um designer de produto em implementá-lo no seu fluxo de trabalho.

Como forma de atingir estes objetivos foi proposto por parte do Estudioama a criação de uma coleção de vasos, utilizando métodos de Design Generativo. Este projeto permitiria quer implementar os conhecimentos previamente adquiridos, quer perceber de forma concreta as mais valias do Design Generativo.

Com a sua realização foi possível adquirir um novo método para projetar e desenvolver forma, que foge aos processos mais standardizados de produção de design. Esta metodologia permitiu introduzir o CAD como uma ferramenta de descobrimento da mesma, o que, por norma, é uma fase levada a cabo em papel e caneta.

1.3 Metodologia

A metodologia utilizada no presente trabalho consiste no modelo Double Diamond, desenvolvido pelo British Design Council. Como o próprio nome indica este é processo composto por dois diamantes, que envolve quatro fases: *discover*, *define*, *develop* e *deliver* (figura 1).

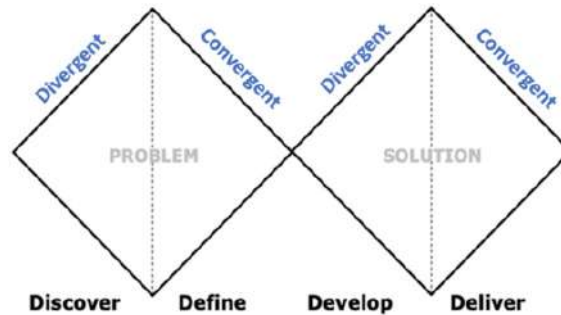


Figura 1 - Modelo Double Diamond

Fonte: http://wiki.doing-projects.org/index.php/Double_diamond:_A_design_process_model

Discover - a primeira etapa define-se pela fase de pesquisa e recolha da maior quantidade de informação possível sobre o tema em causa, por forma a perceber o problema e assim ser possível responder da melhor forma ao mesmo.

Define - nesta fase ocorre uma refinação da informação obtida na fase anterior, com o intuito de selecionar as melhores ideias e assim gerar algumas ideias mais concretas para implementar no *brief*.

Develop - corresponde à fase de exploração de diferentes soluções para o problema, obedecendo aos constrangimentos e ideias estabelecidas no *brief*.

Deliver - aqui são realizados os testes e protótipos das soluções desenvolvidas, para deste modo fazer a seleção da melhor solução e o desenvolvimento da mesma até se atingir um produto final pronto a produzir.

Esta metodologia foi útil no sentido de estabelecer de forma estruturada os diferentes momentos do projeto, e assim auxiliar na definição de objetivos e no cumprimento das diferentes tarefas a realizar.

O projeto realizado teve como ponto de partida os dados obtidos no estudo dos rituais de acasalamento de 20 animais. Neste foram analisadas uma série de questões tais como: a duração do ritual; qual dos animais toma iniciativa; qual o seu tipo de comportamento durante o ritual e, por fim, quais os sentidos utilizados pelos animais durante esse processo. Esta opção prendeu-se com o facto deste ser um estudo que já tinha sido conduzido pelo professor Pedro Maia, um dos membros do Estudioama, na sua tese de doutoramento, e que propôs utilizar os resultados deste como parâmetros do sistema generativo a desenvolver.

1.4 Estrutura do documento

O presente documento encontra-se dividido em cinco capítulos principais.

O primeiro capítulo - **Introdução** - é composto pela contextualização do estágio, assim como as motivações e objetivos estabelecidos para o mesmo. Consta ainda a metodologia utilizada ao longo do projeto.

O segundo capítulo - **Enquadramento teórico** - corresponde ao estudo feito ao Design Computacional e as suas ramificações, com especial foco no Design Generativo.

No terceiro capítulo - **Desenvolvimento de competências em Grasshopper** - consta a documentação do processo de aprendizagem no programa de Design Computacional, o Grasshopper, e as experiências neste realizadas.

O quarto capítulo - **Projeto** - consiste na descrição das diferentes fases do desenvolvimento do projeto. Numa fase inicial a contextualização do conceito, até à fase final onde se apresenta o resultado obtido de todo o processo.

Capítulo 2.

Enquadramento teórico

2.1 Design Computacional

A complexidade do design levou à criação de sistemas de Design Computacional que consistem no aproveitamento da capacidade de processamento dos computadores para colmatar as limitações dos seres humanos. Assim, pode-se afirmar que estes sistemas foram desenvolvidos com o intuito de automatizar e assistir no processo de design, pois ao utilizar este tipo de processos o designer liberta sobre ele próprio a realização de tarefas repetitivas e complexas (Alfaris, 2009).

Segundo Caetano et al. (2020) o Design Computacional pode ser visto como um processo que tira proveito das capacidades computacionais, para possibilitar a automatização dos processos de design, o tratamento eficiente de grandes quantidades de informação, a realização de alterações de forma rápida e auxiliar os designers no exercício da procura da forma nos seus projetos. De acordo com os referidos autores, nas duas últimas décadas os designers e arquitetos têm vindo a incorporar métodos de Design Computacional nos seus fluxos de trabalho. No entanto, para uma utilização efetiva destes métodos por vezes os utilizadores necessitam de adquirir conhecimentos fora da sua área.

Neste sentido, as técnicas de Design Computacional oferecem aos designers e arquitetos novas ferramentas no que respeita o exercício de procura de forma. O Design Algorítmico, Paramétrico e Generativo são alguns dos tipos de design que permitem aos designers abandonarem as estratégias tradicionais de desenho, cujos resultados se podem tornar previsíveis e repetitivos, chegando alternativamente a formas complexas que apenas conseguem ser geradas por estes processos de design (Kolarevic, 2003).

2.1.1 Padrão Voronoi



Figura 2 - Tijela *Voronoi* por Studio Levien

Fonte: www.studiolevien.com/projects/voronoi-bowl



Figura 3 - Corrimão *Corollaria* por Nervous System

Fonte: www.n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/corollaria-railling/

Um dos sistemas computacionais mais frequentemente utilizado é o padrão *Voronoi*, que consiste em subdivisões aplicadas a um plano ou a uma superfície geométrica. Precisamente por ser fácil de gerar este padrão é um dos mais populares no design industrial. É importante notar que existem diversas aplicações online que são capazes de gerar estes padrões, onde o utilizador pode ajustar os parâmetros de acordo com a sua preferência ou necessidade. Seguidamente o designer apenas necessita de os exportar para o seu programa CAD, onde posteriormente o poderá incorporar no seu desenho. Existem também alguns programas CAD que já possuem ferramentas nativas ou *plug-ins* para gerar estes padrões, não sendo então necessária uma aprendizagem de algoritmos complexos para os gerar. Estes padrões são caracterizados pela sua aparência, que se assemelha ao interior dos ossos, e que sublinham a capacidade que o Design Generativo tem em replicar as formas orgânicas encontradas na natureza (Lobos, 2019).

Um exemplo deste padrão aplicado em design de produto é a tijela *Voronoi* (figura 2), desenhada pelo Studio Levien para a Costa Verde. Esta tijela foi inspirada nas asas de uma libelinha, por serem leves e ao mesmo tempo fortes. O referido padrão foi utilizado na metade superior da tijela, com o intuito de reduzir o seu peso e, simultaneamente, manter a devida resistência beneficiando também do caráter estético do mesmo. Apesar dos seus aspetos positivos este padrão possui também algumas limitações. Por exemplo, no caso de uma utilização não bidimensional apenas a manufatura aditiva possibilita a sua produção, sendo esta lenta e dispendiosa.

Por sua vez quando utilizado em superfícies bidimensionais, existe uma grande facilidade em explorar as infindáveis variações possíveis deste padrão. Isto é possível observar no corrimão *Corollaria* (figura 3), desenvolvido pela nervous system no ano de 2020, em que dentro do padrão no seu todo existem alterações no seu calibre que criam subpadrões, oferecendo uma sensação de que está vivo e em constante mutação. Neste projeto foi utilizado o corte a laser para a sua produção, isto por ser um processo capaz de produzir desenhos 2D numa superfície com elevado detalhe o que é crucial neste caso em particular.

2.1.2 Otimização de Topologia

A otimização de topologia tem como intenção encontrar a melhor solução estrutural para um determinado problema, de acordo com objetivos, constrangimentos e condições previamente estabelecidas (Bagassi et al., 2016).

Em 2018, a Autodesk introduziu um protótipo de uma Inteligência Artificial, com o propósito de desempenhar este tipo de funções. O funcionamento desta aplicação difere radicalmente das demais, pois neste programa o designer define uma série de regras e objetivos que determinada peça tem de cumprir, tais como o peso, a capacidade de carga, dimensões, etc. Adicionalmente, neste programa o designer pode definir certas geometrias que quer manter e áreas nas quais o programa não pode criar material, por forma a não impedir um movimento ou causar interferência com outras partes.

Posteriormente, e estando os requisitos todos preenchidos, o designer apenas tem que correr o programa e de forma automática este gera uma infinidade de possíveis soluções, todas elas cumprindo os requisitos base estabelecidos. O papel do designer passa depois por fazer uma triagem dos resultados e escolher o ideal. Alternativamente, pode partir de uma seleção de possíveis soluções e utilizá-las como base para uma nova geração de soluções (Lobos, 2019).

Este tipo de Design Computacional tem vindo a ganhar cada vez mais utilizadores. Por exemplo Phillippe Starck projetou em 2019 uma cadeira para a Kartell, utilizando o programa desenvolvido pela Autodesk. A cadeira denominada de A.I. (Artificial Intelligence) (figura 4) foi a primeira cadeira a ser produzida em série que fora desenhada com o auxílio da inteligência artificial. O objetivo deste projeto passou por criar uma cadeira resistente, estável e com o mínimo de material possível, sendo esta uma cadeira que demonstra bem as características estéticas deste tipo de design. Isto é, as formas extremamente orgânicas e quase evocativas de estruturas ósseas, que advém do facto de que a própria natureza conta com milhões de anos de constante evolução e otimização, que a inteligência artificial tenta, de certa forma, replicar.



Figura 4 - Cadeira A.I. por Phillippe Starck

Fonte: www.kartell.com



Figura 5 - Suspensão do Czinger 21C

Fonte: www.wevolver.com/article/the-3d-printed-hypercar-that-beat-the-best

Para além disso, os resultados obtidos por este processo de design seriam virtualmente impossíveis de replicar com recurso a métodos tradicionais de CAD, tanto pela geometria em si, como pela otimização na relação entre a quantidade de material utilizado e as propriedades mecânicas oferecidas.

As qualidades que advém deste tipo de design causaram bastante interesse na indústria aeronáutica e, inclusivamente, na indústria automóvel, com especial foco no segmento do hiper carro (figura 5) onde cada quilo conta.

2.1.3 Algoritmos Genéticos

Inicialmente explorado em 1975 por John Holland, os algoritmos genéticos tentam replicar a natureza no ponto de vista da evolução das espécies (Balakrishnan & Jacob, 1996). Ou seja, estes algoritmos consistem na produção de várias iterações de soluções possíveis para um determinado problema. Posteriormente, ocorrem sucessivas mutações das mesmas onde apenas as melhores versões vão ficando e evoluindo até se obter o resultado mais adequado (Krish, 2011) e (Renner & Ekárt, 2003).

Neste processo é o designer que controla quais as iterações que seguem para novas mutações, e que dão origem a uma nova geração. A sua natureza aleatória introduz resultados inesperados, o que pode ser bom para estimular a criatividade. No entanto, pode ter o efeito menos positivo de causar divergência excessiva. Os algoritmos genéticos partilham algumas semelhanças com o método de otimização de topologia, uma vez que os algoritmos genéticos focam-se em desenvolver um design otimizado (Alcaide-Marzal et al., 2020). Contudo, divergem no sentido em que para trabalhar com algoritmos genéticos é preciso um conhecimento bastante avançado de programação, o que muitas vezes designers de produto parecem carecer.

2.1.4 Design Paramétrico

De acordo com Sun & Huang (2019) a abordagem *top-down* tradicionalmente utilizada já não é o método preferido pelas novas gerações de designers. Estes designers fazem uso das valências presentes nos sistemas paramétricos para obter mais controlo em todo o processo, e explorar as infinitas possibilidades na exploração da forma através da modelação digital.

As principais diferenças do Design Paramétrico em relação às técnicas consideradas tradicionais de design são que o Design Paramétrico permite fugir à exploração conceptual, normalmente efetuada com papel e caneta. Isto torna-se especialmente benéfico no desenvolvimento de superfícies complexas e formas orgânicas. Outra diferença passa pela rapidez na execução de alterações na geometria, sendo que com algumas modificações nos algoritmos podem surgir resultados completamente diferentes (Sun & Huang, 2019). Apesar de ambos viverem de baixo do “chapéu” do Design Computacional e serem tangenciais em muitos aspetos, o Design Paramétrico distingue-se do Design Generativo visto que utiliza algoritmos menos autónomos. Por sua vez o Design Generativo consegue gerar resultados mais complexos através de algoritmos mais simples. (Caetano et al., 2020).

Um exemplo de utilização deste método em design de produto é a coleção de vasos intitulada Parametric Ceramics (figuras 6 e 7), desenhada por Jimmy Jian e Jack Liu em 2018. Neste caso os designers utilizaram o programa Grasshopper para gerar as geometrias complexas presentes. O processo passou por desenvolver vários algoritmos, os quais depois alteram a geometria das peças.

O resultado deste processo são formas que seriam muito difíceis de atingir com métodos CAD tradicionais. Naturalmente para que estas formas sejam produzidas são necessários processos produtivos que permitam reproduzir esta complexidade geométrica. Daí que a cerâmica seja um ótimo meio para explorar as possibilidades oferecidas por estas ferramentas CAD.

Este método não tem apenas como objetivo atingir formas geométricas complexas, dado que pode também oferecer ao designer a possibilidade de reduzir a quantidade de tarefas repetitivas, o que lhe permite



Figura 6 - Parametric Ceramics por Jimmy Jian e Jack Liu

Fonte: www.jimmyjian.com/Parametric-Ceramics



Figura 7 - Parametric Ceramics por Jimmy Jian e Jack Liu

Fonte: www.jimmyjian.com/Parametric-Ceramics



Figura 8 - Coluna Neo por Harmon/Kardon

Fonte: www.behance.net/gallery/96557325/Harman-Kardon-Neo

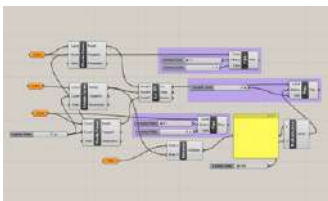


Figura 9 - Exemplo de um algoritmo feito em Grasshopper



Figura 10 - Juno por Fuseproject

Fonte: <https://www.dezeen.com/2014/11/12/yves-behar-dna-testing-machine-fluidigm-fuseproject/>

focar-se em questões mais importantes. Isto pode ser visto no caso da coluna portátil Neo da Harman Kardon (figura 8), em que os furos para saída do som foram desenhados de forma paramétrica. Por causa das diferenças em cada 'fila' destes furos modelar estes detalhes com métodos tradicionais seria uma tarefa extremamente trabalhosa para qualquer designer, sendo assim o Design Paramétrico um facilitador de tarefas.

2.1.5 Design Algorítmico

O Design Algorítmico é uma abordagem que permite a geração de espaço e forma através de algoritmos com base em regras, variáveis e valores que podem resultar do problema a resolver (figura 9). Com base nesta informação o computador cria as formas apropriadas para o problema em questão (Terzidis, 2003).

Este método permite gerar e controlar modelos com complexidade muito além da capacidade humana. Assim, com os constrangimentos e regras apropriadas um algoritmo pode levar a formas sem precedentes e a resultados completamente imprevisíveis, mantendo sempre a coerência com os parâmetros estabelecidos. Em suma, o Design Algorítmico permite aos designers encontrar novas soluções e ir um passo além das capacidades dos programas CAD tradicionais (Tedeschi, 2014).

Segundo Caetano et al. (2020) a utilização de algoritmos para a geração de forma faz com que este método se possa considerar também generativo. No entanto, como existe uma relação entre o algoritmo e o resultado é possível perceber que parte do algoritmo faz o quê no modelo obtido. Os autores consideram ainda o Design Algorítmico um subproduto do Design Generativo, sendo que a maior diferença entre os dois se prende com o facto do Design Algorítmico garantir uma maior objetividade no que respeita a obtenção do resultado final.

Neste sentido, pode-se concluir que existem tangências muito fortes entre o Design Generativo, paramétrico e algorítmico, sendo que em alguns casos um determinado produto pode ter sido concebido utilizando métodos de Design Algorítmico e não ser generativo (figura 10), enquanto todos os produtos que são generativos são simultaneamente algorítmicos.

2.2 Design Generativo

O Design Generativo é uma nova abordagem que apoia o designer na exploração de novas soluções, utilizando procedimentos semelhantes aos sistemas evolutivos encontrados na natureza. Este método utiliza a capacidade computacional para conceber uma grande variedade de possíveis alternativas para um problema de design, permitindo sempre ao designer estar envolvido neste processo sendo ele quem faz as escolhas (Tang & Cui, 2014). Já Abrishami et al. (2014) afirma que o Design Generativo pode-se referir a qualquer prática de design em que o designer utilize um sistema, por exemplo, um computador para produzir uma solução com algum nível de autonomia por parte deste.

Trata-se, portanto, de um método inovador para auxiliar o designer a explorar oportunidades no campo do design. Adicionalmente, não consiste apenas na otimização de topologia ou de algoritmos evolucionários mas sim numa combinação de diversas formas de otimizar um produto. Deste modo, torna-se possível atingir resultados que não seriam possíveis de alcançar através da utilização de métodos de CAD tradicionais (Bagassi et al., 2016).

Sistemas generativos têm sido utilizados ao longo da história da humanidade por várias civilizações. Nos anos 60 do século XX foram utilizados computadores para a geração de formas geométricas complexas, o que deu origem à arte generativa. Duas décadas mais tarde a sua utilização foi estendida ao mundo da Arquitetura, da Engenharia e da Construção (AEC), levando ao que se conhece hoje em dia como sendo o Design Generativo (Lobos, 2018).

Segundo Alcaide-Marzal et al. (2020), este tipo de design consiste na modificação algorítmica de um produto, através de regras inicialmente definidas por um *designer*. O objetivo deste processo é o de explorar uma série de alternativas a partir de um modelo original e obter uma grande variedade de resultados que cumprem os requisitos da melhor forma possível (Li & Lachmayer, 2018).

Assim, o Design Generativo pode ser encarado como um método em que a geração da forma ocorre através de um conjunto de regras e/ou algoritmos, que derivam de ferramentas computacionais como o Processing,

Rhinoceros, Grasshopper entre outros (Caetano et al., 2020).

Por norma a exploração conceptual acontece na fase de esboçar com papel e caneta, sendo que o CAD é raramente utilizado nesta fase do processo (Khan & Awan, 2018) (Krish, 2011) e (Lin & Lee, 2013). Segundo os mesmos autores o Design Generativo pode intervir nesta fase, onde acaba por fornecer um vasto número de possíveis alternativas ao problema em mãos. Complementarmente a esta ideia Li & Lachmayer (2018) acrescentam que modelos CAD raramente cumprem os requisitos variáveis intrínsecos ao campo do design. Isto é, consistindo este num processo iterativo e com constrangimentos existe uma necessidade de fazer constantes evoluções num determinado modelo CAD, quer para exploração da forma, quer para uma melhor adequação às suas funções e constrangimentos.

Segundo Chase (2005) um pacote CAD tradicional permite a um utilizador desenvolver e analisar os seus desenhos. Contudo, estes programas CAD estão dependentes de ações diretas por parte dos utilizadores para a manipulação da forma, enquanto nas ferramentas generativas o programa auxilia o utilizador na exploração de forma. Assim, o Design Generativo providencia diversos benefícios no que respeita do desenvolvimento de novos produtos, nomeadamente na criação de padrões muito detalhados que se assemelham a sistemas naturais fugindo às formas mais geométricas. Para além disso, destaca-se também a automação dos processos onde os computadores ficam encarregues das tarefas mais complexas e repetitivas que seriam demasiado exigentes ou entediantes para humanos. De destacar que esta automação é considerada muitas vezes o principal benefício do Design Generativo na criação de novos produtos. Contudo, os resultados que os computadores geram derivam sempre da visão inicial do designer (Lobos, 2019).

Existem atualmente alguns designers industriais que começam a integrar os princípios do Design Generativo no seu fluxo de trabalho. Estes designers encaram o Design Generativo como sendo algo vantajoso uma vez que a sua integração permite obter, de uma forma mais simples, formas extremamente detalhadas, e possuem ainda o potencial de ter melhores propriedades mecânicas. Isto deve-se à forte capacidade dos programas de Design Generativo, que conseguem realizar cálculos bastante complexos. Embora os designers devam ter um

entendimento básico das relações entre os sistemas, por forma a chegar a um determinado resultado, eles não necessitam de saber como fazer os cálculos na sua integra. Isto resulta do facto de ser suficiente providenciar ao computador os parâmetros necessários, dado que este os transforma em algoritmos que geram as formas tridimensionais (Tang & Cui, 2014).

2.3 Design Generativo em cerâmica

Ross Lovegrove é um designer industrial galês que tem vindo a desenvolver vários projetos utilizando métodos de Design Computacional, alguns dos quais em cerâmica, nomeadamente com projetos para a Vista Alegre (ver figuras 11 a 14). A linguagem estética presente nestes projetos tira partido dos benefícios oferecidos por estes métodos, assumindo todos eles formas de uma natureza muito orgânica e irregular, características do seu estilo enquanto designer.



Figura 11 - Hyrb

Fonte: <https://www.micucci.co.uk/product/hryb-porcelain-table-lamp/>



Figura 12 - Urquino

Fonte: <https://www.micucci.co.uk/product/urqino-porcelain-table-lamp/>



Figura 13 - Nervi

Fonte: <https://www.micucci.co.uk/product/nervi-porcelain-table-lamp/>



Figura 14 - Vortex

Fonte: <https://www.german-design-award.com/en/the-winners/gallery/detail/33471-vortex-by-ross-lovegrove.html>

O estúdio de design Nervous System utiliza métodos de Design Generativo na criação dos seus projetos, sendo este um estúdio muito interessado nas formas encontradas na natureza donde retira muita da sua inspiração (figura 15) e, como estabelecido anteriormente, o Design Generativo é o veículo ideal para a sua implementação. Desta forma, o estúdio em questão já desenvolveu vários projetos na área da cerâmica, nomeadamente o Coral Cup, o Coral Plate e o 3D Printed Cup (figuras 16 a 18). No caso do 3D Printed Cup o estúdio utilizou um material inovador, a Porcelite, uma resina feita de porcelana que pode ser utilizada em impressoras 3D. Apenas graças à utilização da tecnologia de impressão 3D, e deste material inovador, é que foi possível a construção do copo abaixo apresentado. Isto é, as suas formas intrínsecas e estruturas interiores tão complexas seriam impossíveis de ser alcançadas através de outros métodos como, por exemplo, o vazamento de barbotina.



Figura 15 - Padrão biológico

Fonte: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/reaction-diffusion-inspiration/>



Figura 16 - Coral Cup (2018)

Fonte: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/coralcup/>



Figura 17 - 3D Printed Cup

Fonte: <https://www.3dprintersonlinestore.com/3d-printed-ceramic-cups-printed-by-nervous-system-3d>



Figura 18 - Coral Plate (2010)

Fonte: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/reaction-cup/content/01-reaction-plate/>

O Abnormal.Design é outro estúdio de arte e Design Computacional que já efetuou trabalhos na área da cerâmica, tais como os vasos realizados em colaboração com o Studio Levien para a Almas Design. Mais uma vez a inspiração para a construção dos referidos vasos foi também a natureza. No caso particular do Geo (figura 19) a inspiração para a sua textura surgiu de mapas topográficos, enquanto que no caso do Gen (figura 20) a inspiração adveio da casca das árvores. O estúdio desenvolveu ainda outros vasos a título pessoal, ainda que não estejam em fase de produção (figura 21).



Figura 19 - Geo

Fonte: <http://www.almas-design.com/collections/generative-design//>

Figura 20 - Gen

Fonte: <http://www.almas-design.com/collections/generative-design//>



Figura 21 - Vasos desenvolvidos pelo Abnormal.Design

Fonte: <https://www.mickgeerits.com/pots>

Adicionalmente, também o artista britânico Jonathan Keep não ficou indiferente às mais-valias do Design Computacional, pelo que desenvolveu ao longo dos últimos anos inúmeras peças utilizando métodos computacionais em conjugação com a impressão 3D em argila. A figura 22 permite observar alguns dos seus trabalhos, onde fica claro que também ele retira inspiração de elementos encontrados na natureza, nomeadamente icebergs, conchas, corais e formigueiros.



Figura 22 - Alguns dos trabalhos realizados por Jonathan Keep

Fonte: <http://www.keep-art.co.uk/digital.html>

Contudo, não só os autores mencionados tem vindo a explorar a conjunção do Design Computacional com a impressão 3D na produção de peças cerâmicas. Este é um processo que se tem vindo a tornar cada vez mais popular, pelo que são vários os autores que tomam partido da versatilidade e facilidade da utilização da impressão 3D para a reprodução de desenhos complexos, obtidos através do Design Computacional, figuras 23 e 24. No caso da coleção Algorithmic Ceramics, realizada por Francesco Perego, o autor recorreu ao Design Algorítmico, enquanto que o estúdio Cunicode utilizou o Design Generativo na criação da sua coleção, Permutation.



Figura 23 - Algorithmic Ceramics por Francesco Perego

Fonte: <https://francescoperego.com/en/project/algorithmic-ceramics>



Figura 24 - Permutation por Cunicode

Fonte: <https://www.cunicode.com/works/permutation>

Considerações intermédias

Este estudo permitiu obter uma melhor compreensão acerca do Design Computacional, assim como os diferentes tipos de design que dele fazem parte, especificamente no que diz respeito às suas semelhanças e aos aspetos em que diferem. Adicionalmente, foi ainda possível observar vários projetos que foram realizados com diferentes técnicas de Design Computacional e perceber de que forma estas metodologias impactam o objeto final obtido.

Fez-se ainda um levantamento de uma série de projetos realizados em cerâmica nos quais foi utilizado o Design Generativo para a sua conceção, tendo esta sido uma investigação fundamental uma vez que o projeto a realizar consiste na conceção de uma coleção de vasos com recurso a este tipo de design. Para além disso, esta recolha de projetos tornou ainda possível retirar algumas conclusões sobre a utilização do Design Generativo, tais como o facto de que muitas vezes as formas geradas são bastante intrínsecas e fortemente inspiradas em elementos encontrados na natureza, como padrões de animais ou texturas de plantas.

Parte II.

Desenvolvimento do projeto

Capítulo 3.

Estabelecimento de competências em Grasshopper

Neste capítulo consta o processo da obtenção de conhecimentos em Grasshopper que seriam posteriormente cruciais no que toca ao desenvolvimento do projeto.

3.1 Introdução ao Grasshopper

A abordagem ao Grasshopper foi essencial para estabelecer bases sobre o programa, uma vez que antes da realização do estágio os conhecimentos sobre esta matéria eram praticamente nulos. Pode-se afirmar que o programa é bastante complexo, sendo o seu *modus operandi* completamente diferente ao de outros programas, nomeadamente o SolidWorks ou o Fusion 360 com os quais já existia uma relação de familiaridade. Até em relação ao programa 'progenitor', Rhinoceros, o funcionamento do Grasshopper é totalmente diferente, ficando-se as semelhanças apenas por alguns comandos que partilham nomes e funções.

Apesar desta complexidade continua a ter uma prevalência em relação a programas de natureza semelhante, que se deve ao facto de que o utilizador não necessita de ter conhecimentos de programação escrita. Neste sentido, o funcionamento do Grasshopper consiste em programação visual através de diagramas compostos por *nodes* (figura 25), que contêm a informação necessária para a criação de geometria (Tedeschi, 2014).

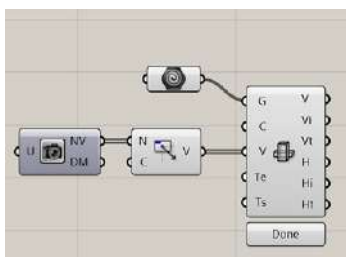


Figura 25 - Exemplo de um algoritmo composto por 4 nodes

Fonte: <https://discourse.mcneel.com/t/how-to-get-viewportrectangle-from-grasshopper-make2d/89679>

A partir das ligações efetuadas com os diferentes *nodes* são formados algoritmos que mostram na janela do Rhinoceros a geometria obtida em tempo real. No exemplo presente na figura 26 podemos observar um simples algoritmo para obter um cilindro, que é composto por um círculo e o plano em que este se encontra, o seu raio, altura e direção da extrusão. Sendo este um método paramétrico todos os valores referidos são controláveis em qualquer instância. Notar que existem diferentes formas de construir a mesma geometria. Isto é, é possível construir o mesmo cilindro com recurso a diferentes *nodes* (figura 27).

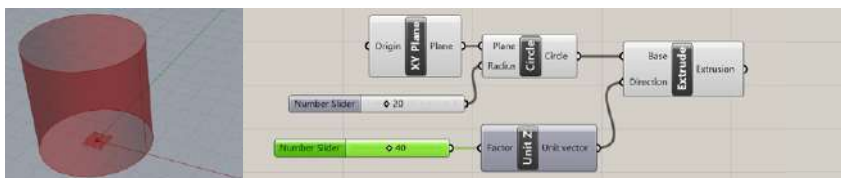


Figura 26 - Cilindro construído em Grasshopper por extrusão

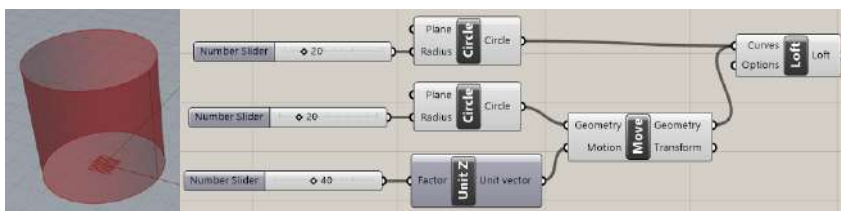


Figura 27 - Cilindro construído em Grasshopper por *loft*

Por outro lado, poderiam também ser utilizados outros métodos para construir o mesmo cilindro como, por exemplo, uma revolução de uma linha sob um eixo (figura 28). Referir que uma das principais vantagens deste programa trata-se da velocidade com que se pode alterar a geometria e rapidamente criar alternativas com o mesmo algoritmo através da alteração dos parâmetros. Um exemplo disso é a figura 29 em que se utiliza o mesmo algoritmo que fora criado para a obtenção do cilindro da figura 28, mas que devido à alteração de alguns dos parâmetros se obtém um resultado completamente diferente.

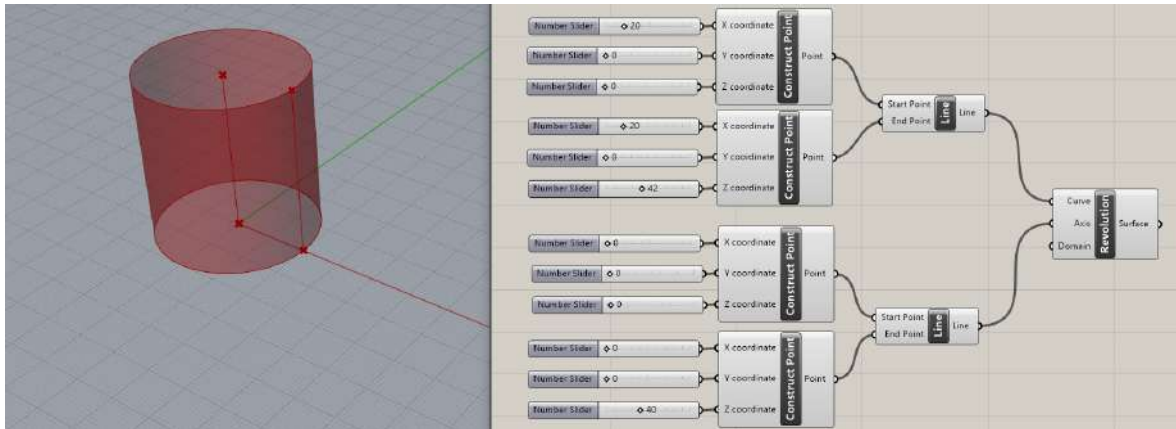


Figura 28 - Cilindro construído em Grasshopper por revolução

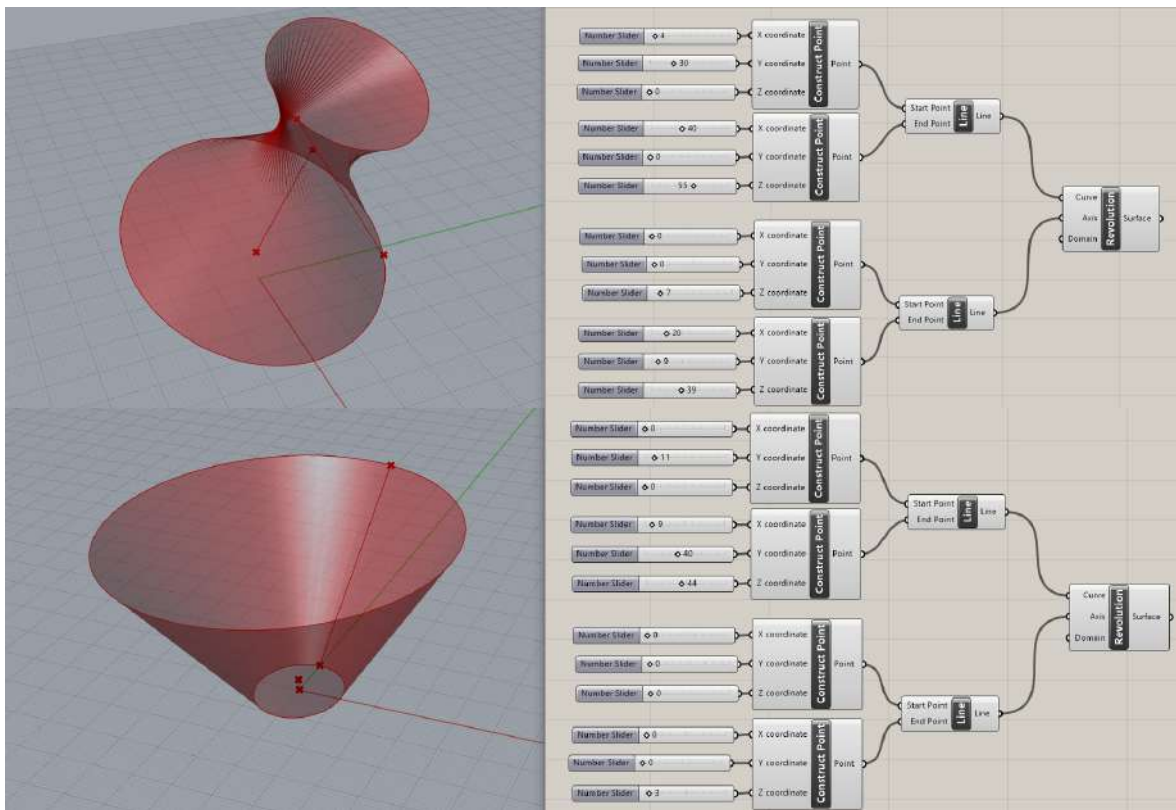


Figura 29 - Diferentes geometrias obtidas através do mesmo algoritmo

3.2 Primeiras experiências no Grasshopper

Sendo um plug-in do Rhinoceros o Grasshopper permite a integração de geometria criada no Rhino nos seus algoritmos, seja para a sua edição ou para a construção de algo mais. Como forma de aplicar os conhecimentos que foram sendo desenvolvidos em Grasshopper foi feito um primeiro teste com o objetivo de criar algo mais tangível e não tão abstrato.

Deste modo, optou-se por fazer um anel (figura 30) tendo-se desenhado como base 3 círculos no Rhino que foram importados no Grasshopper. Seguidamente, estes foram divididos em 72 segmentos iguais e foram estabelecidos arcos de 3 pontos entre cada ponto presente nos círculos. Em seguida, foi executado um “*pipe*” nestes arcos por forma a criar geometria tridimensional. O ultimo passo correspondeu à criação do ponto que serviu para atribuir uma espessura menor nas geometrias mais próximas deste. Posteriormente, e após a finalização da geometria foi executado o “*bake*”, isto é, a ação de exportação da geometria do Grasshopper para o Rhinoceros, programa que permite que se continue a trabalhá-la.

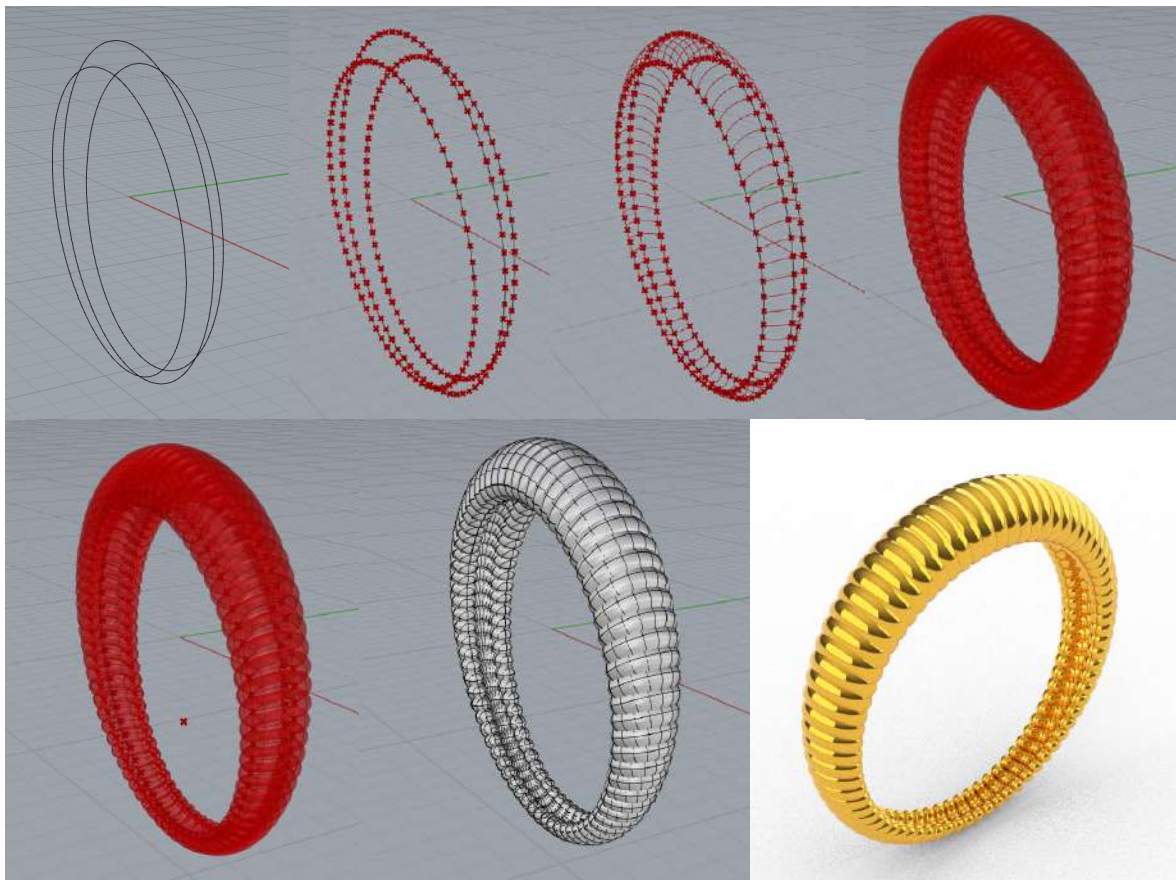


Figura 30 - Evolução do anel modelado em Grasshopper a partir de 3 curvas subdivididas em 72 pontos, que serviram para criar arcos aos quais foram atribuídos espessuras variáveis

A figura 31 permite analisar o algoritmo utilizado para a construção do anel, sendo possível perceber que não foram utilizados muitos passos. Ainda assim foi possível criar uma geometria relativamente complexa que seria bastante trabalhosa de atingir num programa CAD 'tradicional' como o SolidWorks, o Fusion 360 ou o Inventor, tanto pelo elevado número de subdivisões nos círculos como pelo facto das espessuras não serem iguais na totalidade do anel.

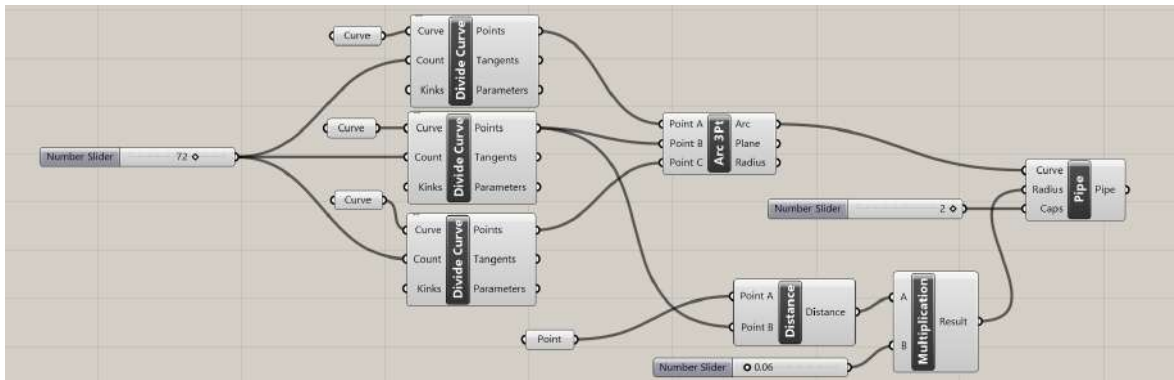


Figura 31 - Algoritmo utilizado para a construção do anel

A experiência seguinte consistiu em atribuir uma espessura variável a uma curva e na tentativa do seu controlo através de um componente chamado "Graph Mapper". Para que isto fosse possível foi criada uma curva no Rhino que foi importada no Grasshopper, e foi feita uma reparametrização da curva. Ou seja, o comprimento da curva foi transformado entre 0 e 1. Esta transformação é necessária pois é através desses valores que o Graph Mapper funciona. Posteriormente, foi estabelecido um valor máximo e um valor mínimo para a espessura, tornando assim possível controlar as espessuras ao longo do comprimento da curva. Este componente pega nos valores introduzidos no Graph Mapper e gera valores consoante a manipulação da curva entre o eixo X e Y, sendo possível obter uma infinidade de resultados diferentes (figura 32).

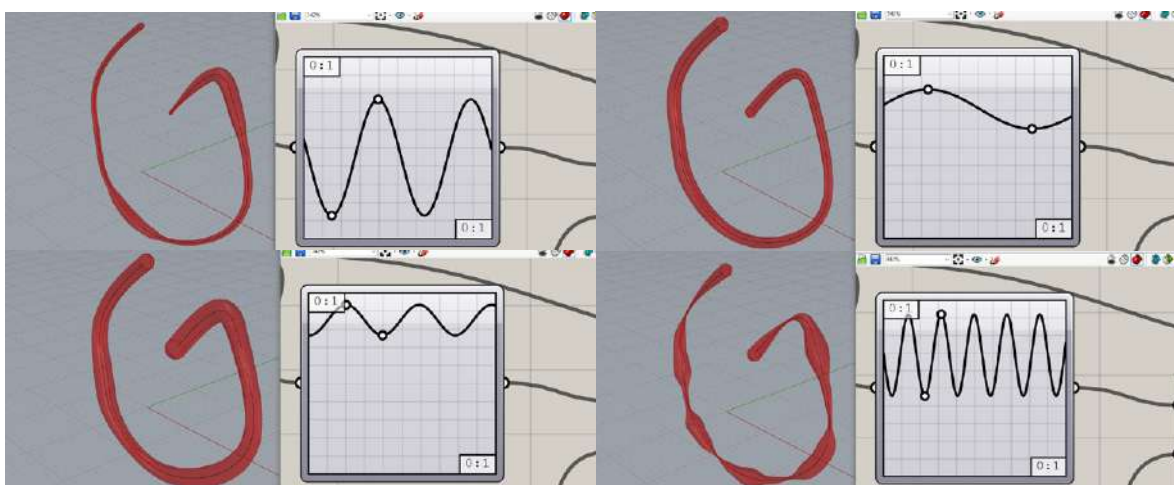


Figura 32 - Efeitos do Graph Mapper no modelo

A partir do algoritmo utilizado anteriormente (figura 33) tentou-se incorporar este princípio num vaso, uma vez que o objetivo final deste trabalho é o desenho duma coleção de vasos. Neste sentido, foi desenhada outra curva para integração no algoritmo, mais concretamente um semi-círculo. Em seguida, ocorreu um ajuste aos parâmetros até obter o resultado pretendido, sendo que estando isto concluído a geometria obtida foi exportada para o Rhino, onde após se realizar uma série de operações se obteve o vaso presente na figura 34.

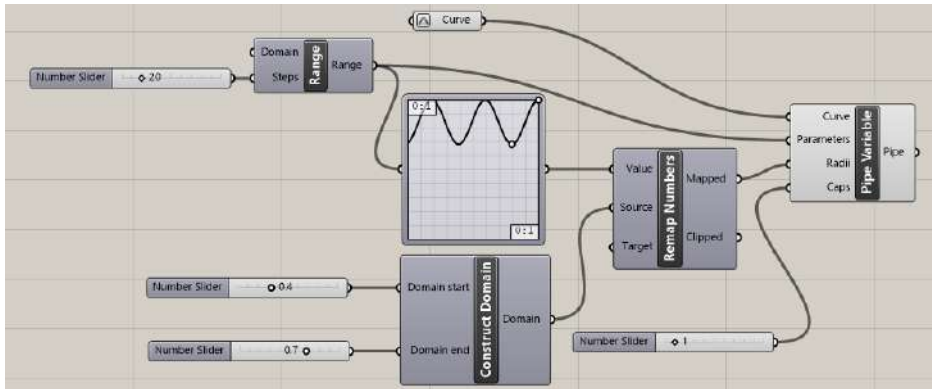


Figura 33 - Algoritmo utilizado

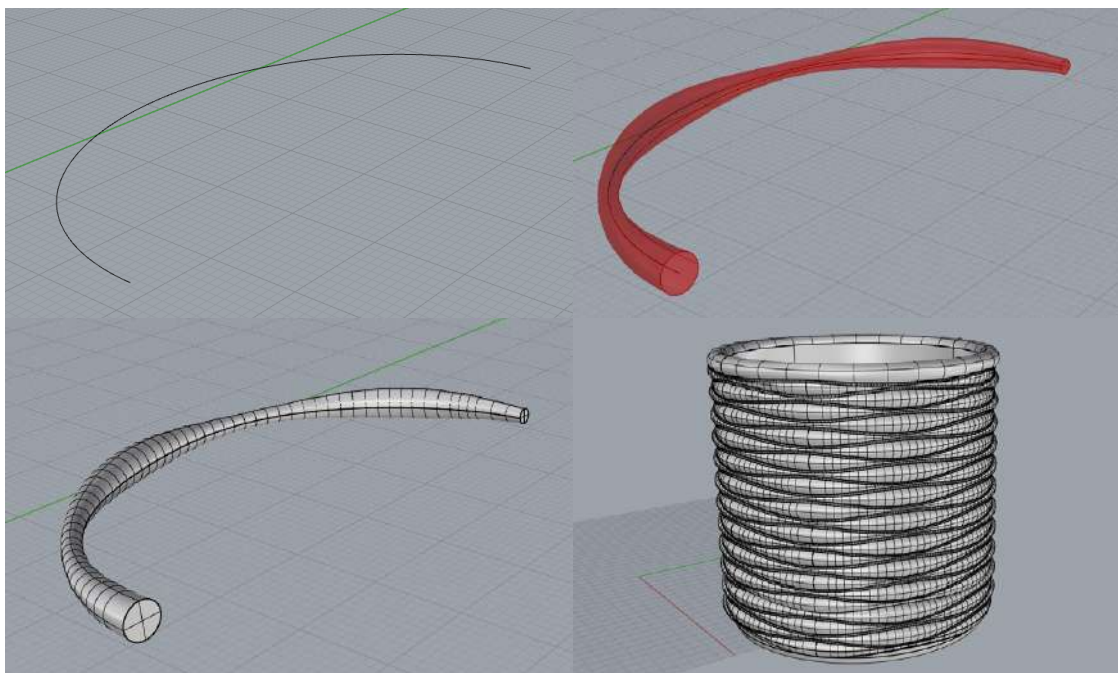


Figura 34 - Evolução do vaso que resultou da atribuição de uma espessura variável a um semi-círculo

Finalmente, e para possibilitar uma melhor visualização do vaso o modelo 3D foi importado no programa de renderização KeyShot, no qual se procedeu à realização de alguns renders do objeto (figuras 35 a 37).



Figura 35 - *Render* do vaso desenvolvido em cinza claro



Figura 36 - *Render* do vaso desenvolvido em cinza escuro



Figura 37 - Render do vaso desenvolvido em roxo

3.3 Padrão Voronoi

A experiência seguinte consistiu em criar um padrão *Voronoi* ao longo de uma superfície. Nesta superfície seriam ainda colocados 3 pontos que teriam a função de impactar a escala das células localizadas mais perto deles tornando as células maiores (figura 38), algo que já tinha sido implementado anteriormente.

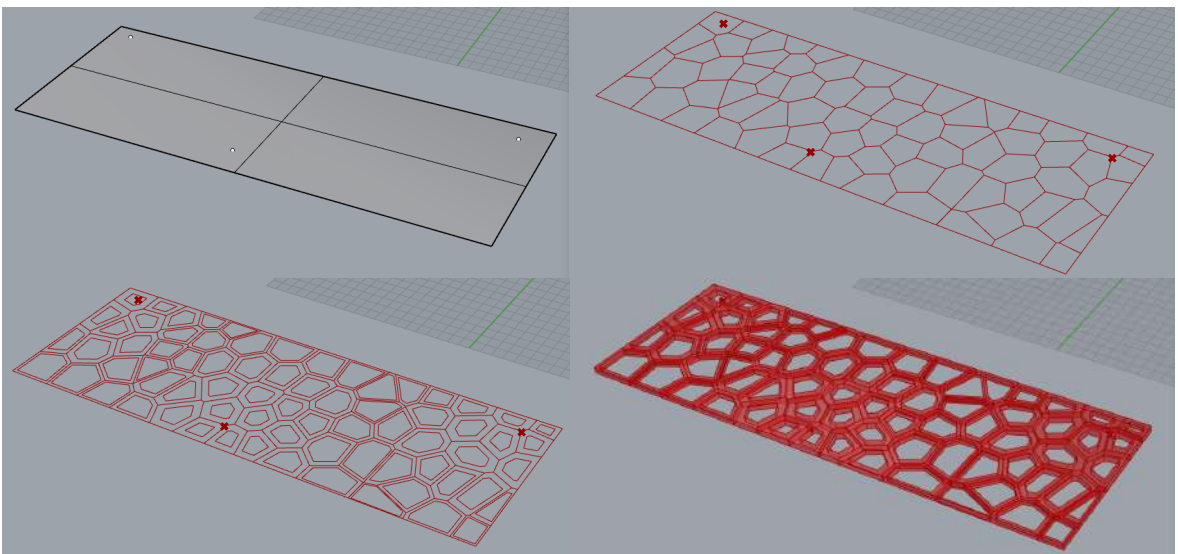


Figura 38 - Padrão *Voronoi* criado em superfície

Na figura 39 é possível analisar o algoritmo utilizado para a obtenção do padrão e as alterações nele efetuadas. Os passos seguidos foram os seguintes: 1) Importação da superfície à qual foi atribuída uma população de pontos com o componente “Populate 3D”; 2) com estes pontos foram formadas células com o componente “Voronoi”; 3) a partir destas células foram retirados os centros com o componente “Area”. Estes centros serviram para que o redimensionamento das células fosse a partir do seu centro funcionando como um *offset*. Simultaneamente, foram atribuídos valores máximos e mínimos às células, neste caso entre 0.5 e 0.9; 4) o componente “Boundary Surface” serviu para formar superfícies entre a parte interior e exterior das células, permitindo depois fazer uma extrusão das mesmas.

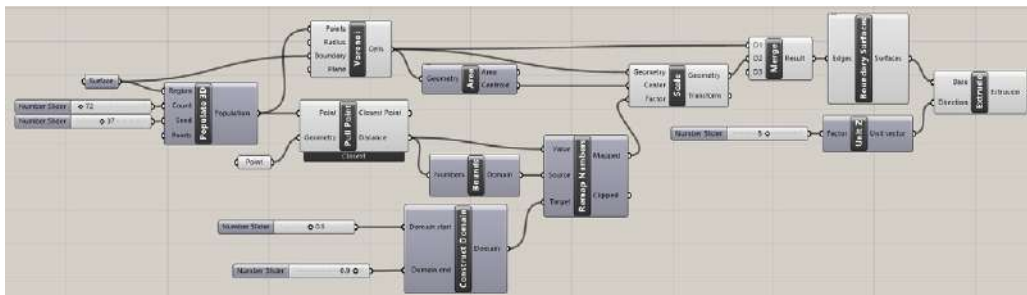


Figura 39 - Algoritmo para criação de um padrão Voronoi

Adicionalmente, no Grasshopper existe ainda o componente “Voronoi 3D”, que também foi explorado numa das experiências realizadas. Neste caso, a experiência consistiu na exploração das suas capacidades, mais precisamente na divisão de uma geometria, neste exemplo um prisma quadrangular com base numa população de pontos. O resultado desta divisão são geometrias irregulares semelhantes ao caso anterior, apenas com a diferença das células que resultam serem tridimensionais (figura 40).

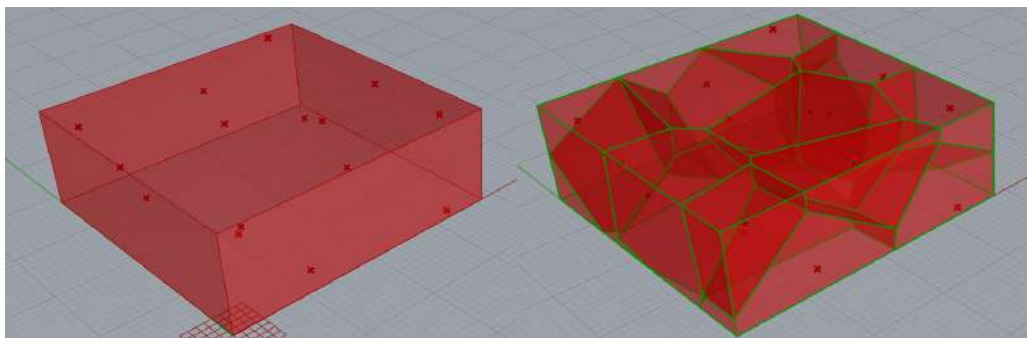


Figura 40 - Funcionamento do “Voronoi 3D” num prisma rectângular

A partir destas células foram retirados os seus centros utilizando o componente “Volume”. Simultaneamente, obtiveram-se os centros de cada uma das suas faces, através dos componentes “Deconstruct Brep” e “Area”. Dos pontos resultantes destas ações formaram-se linhas, com o componente “Polyline” e através dessas linhas gerou-se geometria tridimensional pelo “MultiPipe” (figura 41).

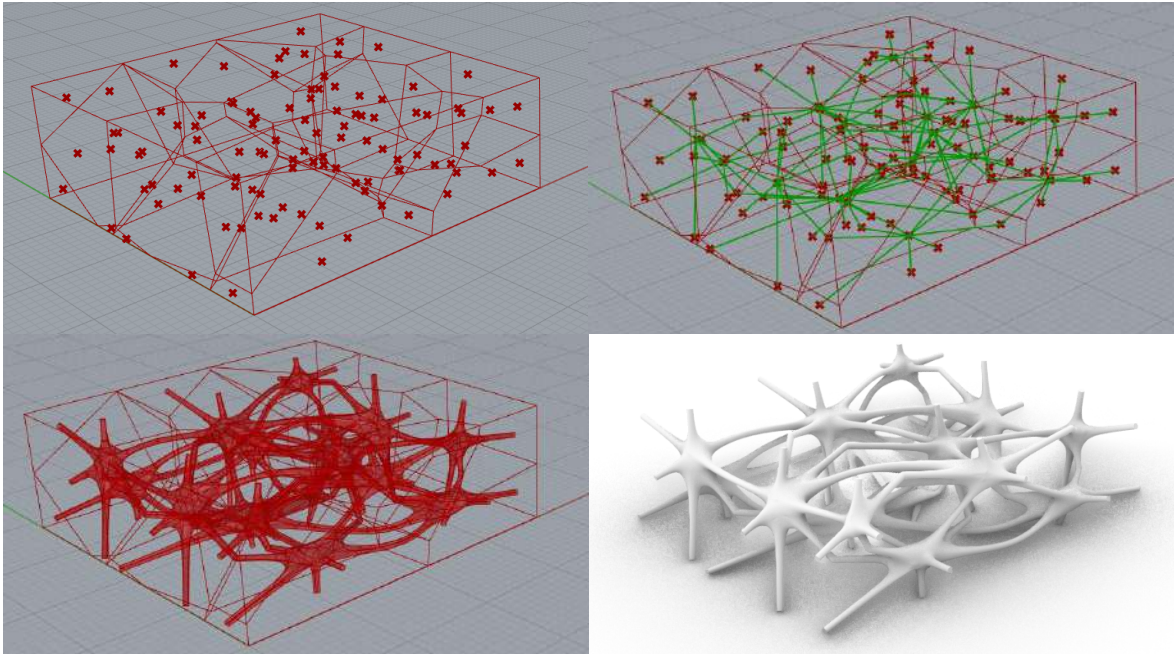


Figura 41 - Demonstração da ininterrupção do padrão

Um outro aspeto importante deste algoritmo, e que por isso deve ser mencionado, consiste no facto de este possibilitar uma grande variedade de resultados possíveis. Para além disso, é ainda possível alterar as dimensões do prisma original, a quantidade de pontos, e randomizar a sua posição através do *input* "Seed". Deste modo, a geometria final pode assumir infinitas formas e tamanhos (figura 42), tudo através de rápidas alterações dos parâmetros e de um algoritmo bastante simples, figura 43.

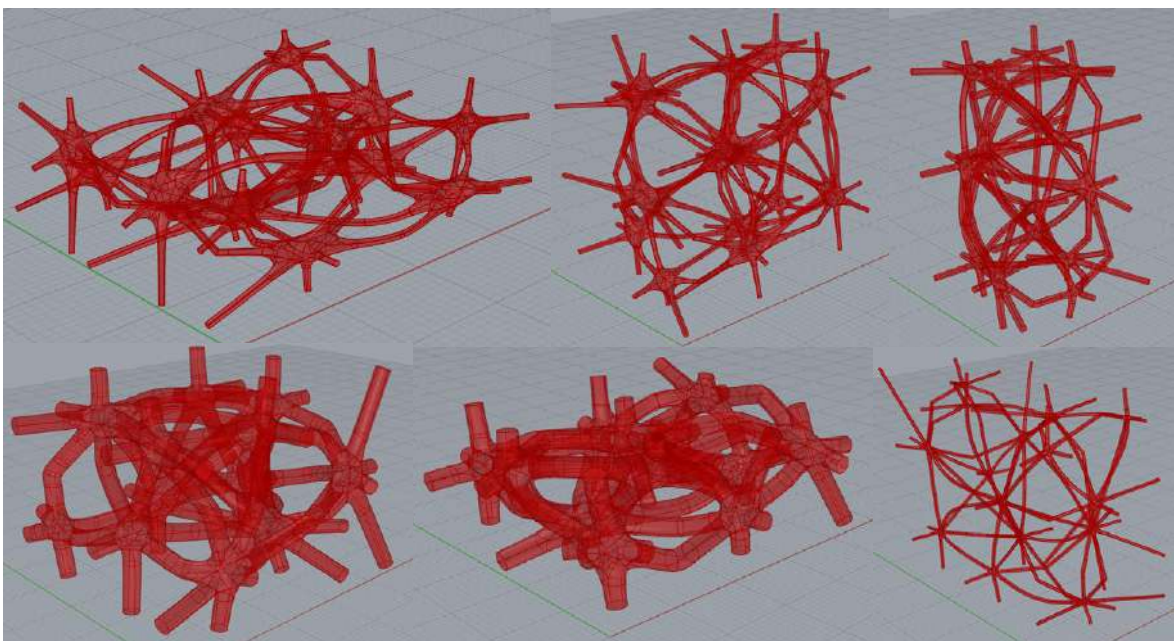


Figura 42 - Algumas das diferentes geometrias possíveis.

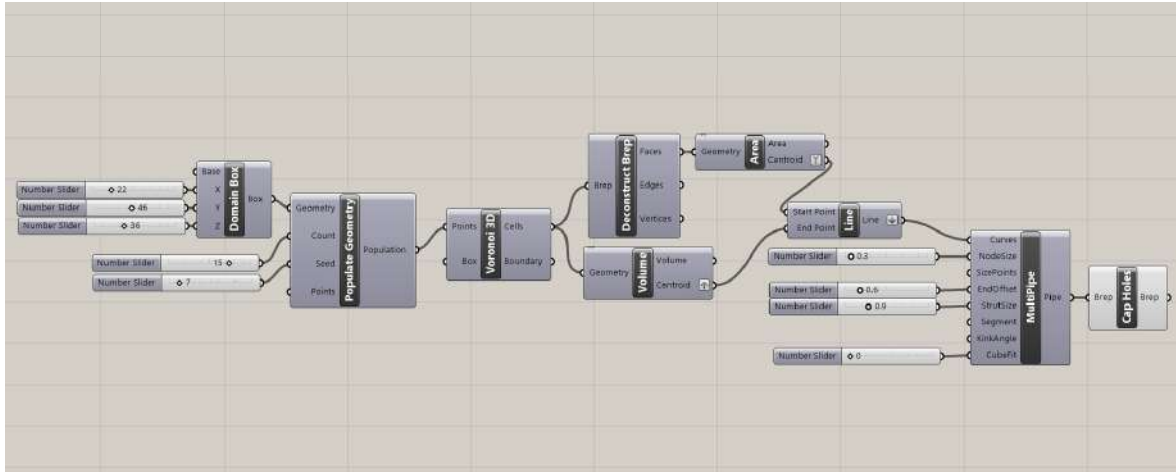


Figura 43 - Algoritmo criado para obtenção da geometria

3.4 Padrão Ininterrupto

Para a experiência seguinte pensou-se criar um padrão ininterrupto cuja finalidade seria figurar num vaso. De forma a conseguir isto foi realizado no Grasshopper um rectângulo, a partir do qual foi criada uma grelha com o componente “Array” composta por retângulos 20x20. O passo seguinte consistiu em explodir os retângulos de modo a obter as 4 linhas que compõem cada lado. Após isto, considerou-se o centro de cada um desses lados com o componente “Evaluate Length”, tendo sido formadas curvas controláveis através do componente “Bezier Span”. Através de uma rotação feita a cada curva, a partir do centro de cada célula da grelha, foi formado um padrão que é interminável. Ou seja, é possível juntar vários destes padrões em formato de azulejo sem que a fluidez seja quebrada (figura44).

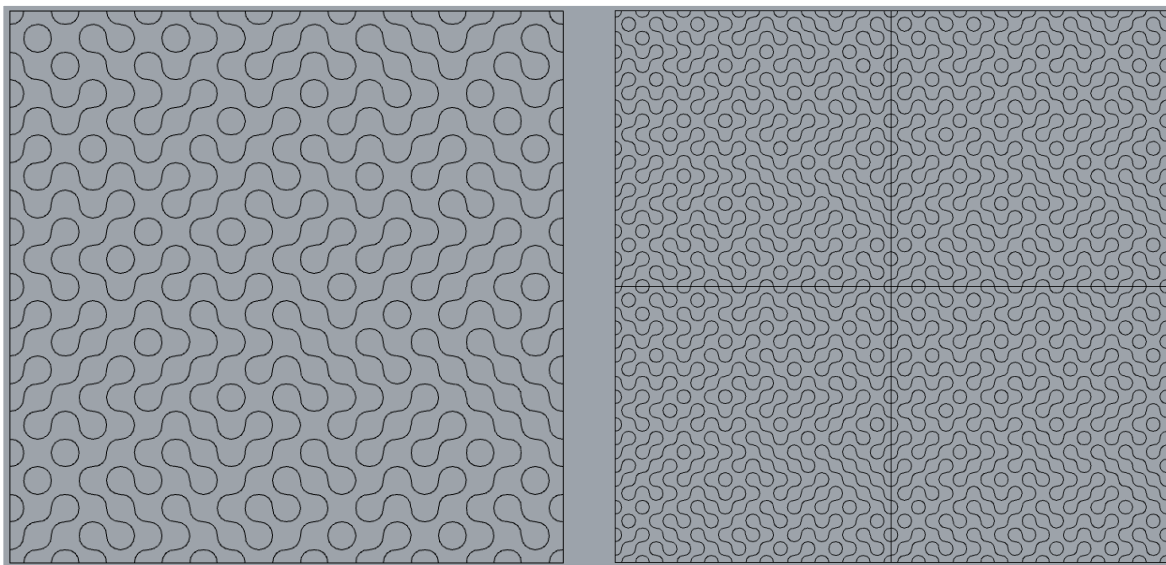


Figura 44 - Demonstração da ininterruptão do padrão

É ainda importante mencionar que devido ao componente “Random” este padrão é completamente aleatório, sendo possível introduzir no input “Seed” qualquer número à escolha resultando assim numa solução completamente diferente e imprevisível (figura 45).

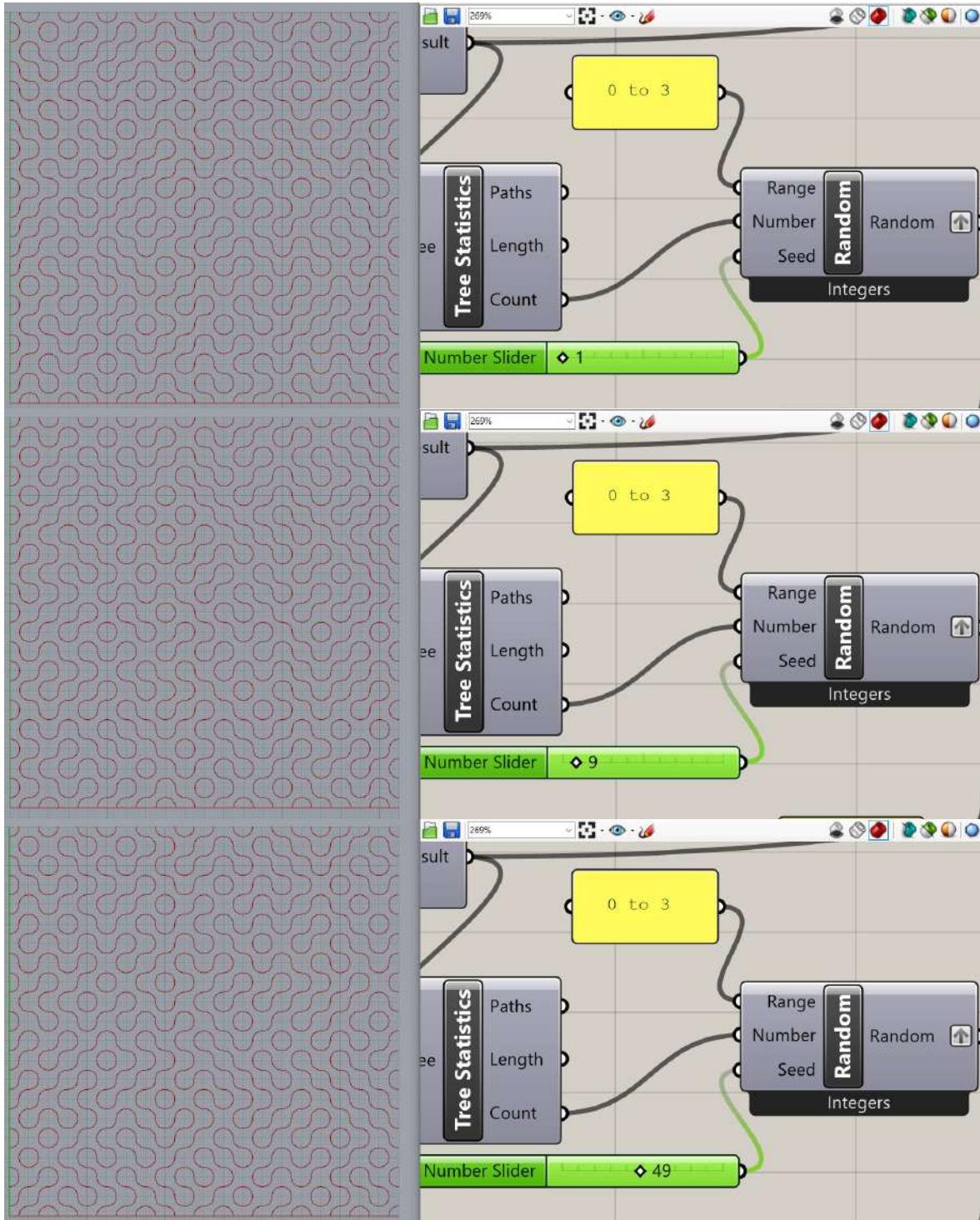


Figura 45 - Variações aleatórias no padrão através de alterações no Seed

Na figura 46 é perceptível os diferentes estágios na obtenção do padrão.

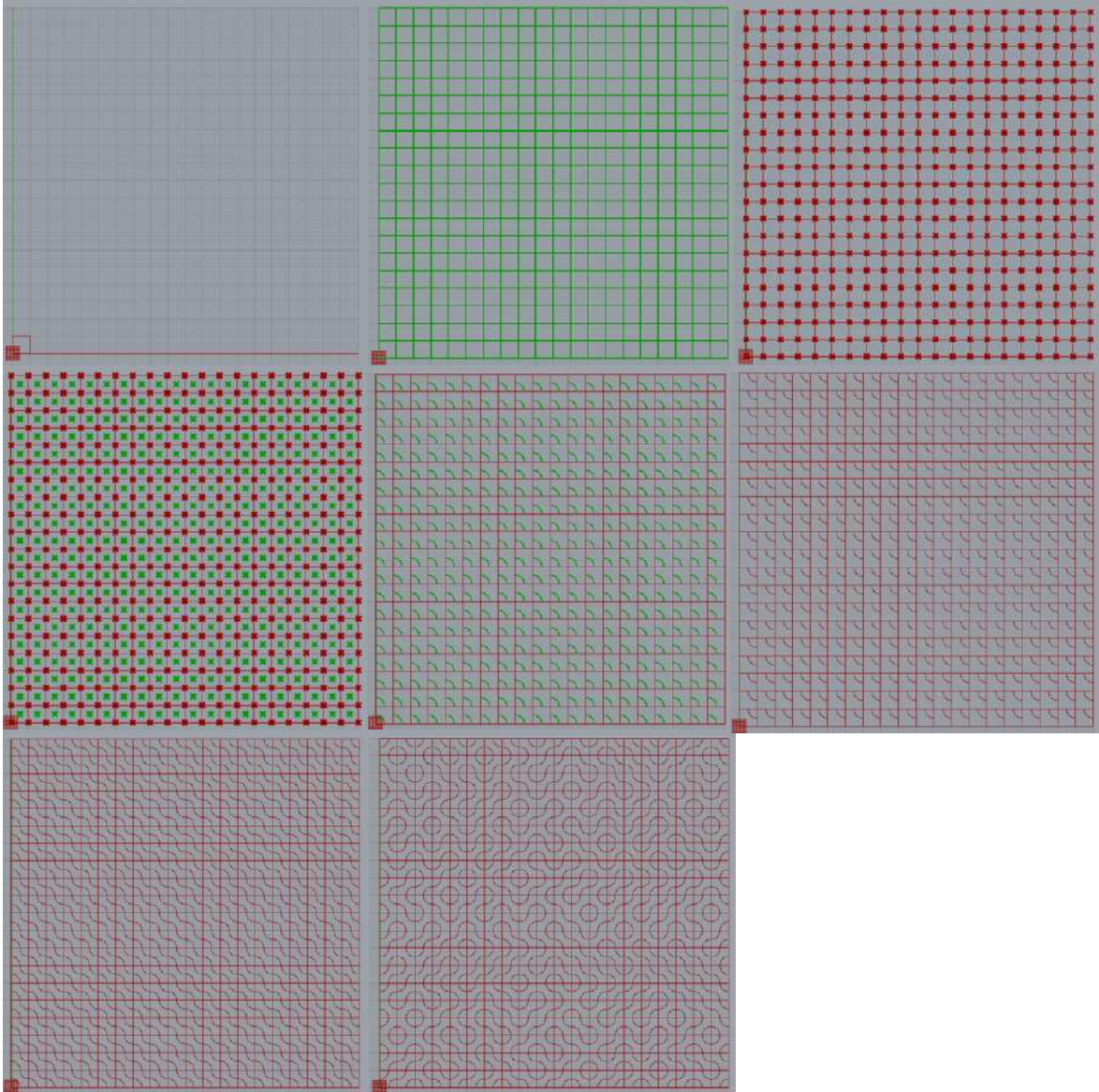


Figura 46 - Evolução do estado do padrão que se iniciou com um rectângulo que foi copiado e cujos pontos médios serviram para formar arcos com raio variável

Foi ainda realizada uma versão alternativa do padrão através da utilização de linhas retas, em vez de curvas, o que também ofereceu um resultado interessante. Estas linhas foram obtidas ao controlar o grau de curvatura no *input* do "Bezier Span" através do componente "Number Slider", componente este que consiste em conter números inteiros ou com casas decimais, que servem de *input* para outros componentes (figura 47).

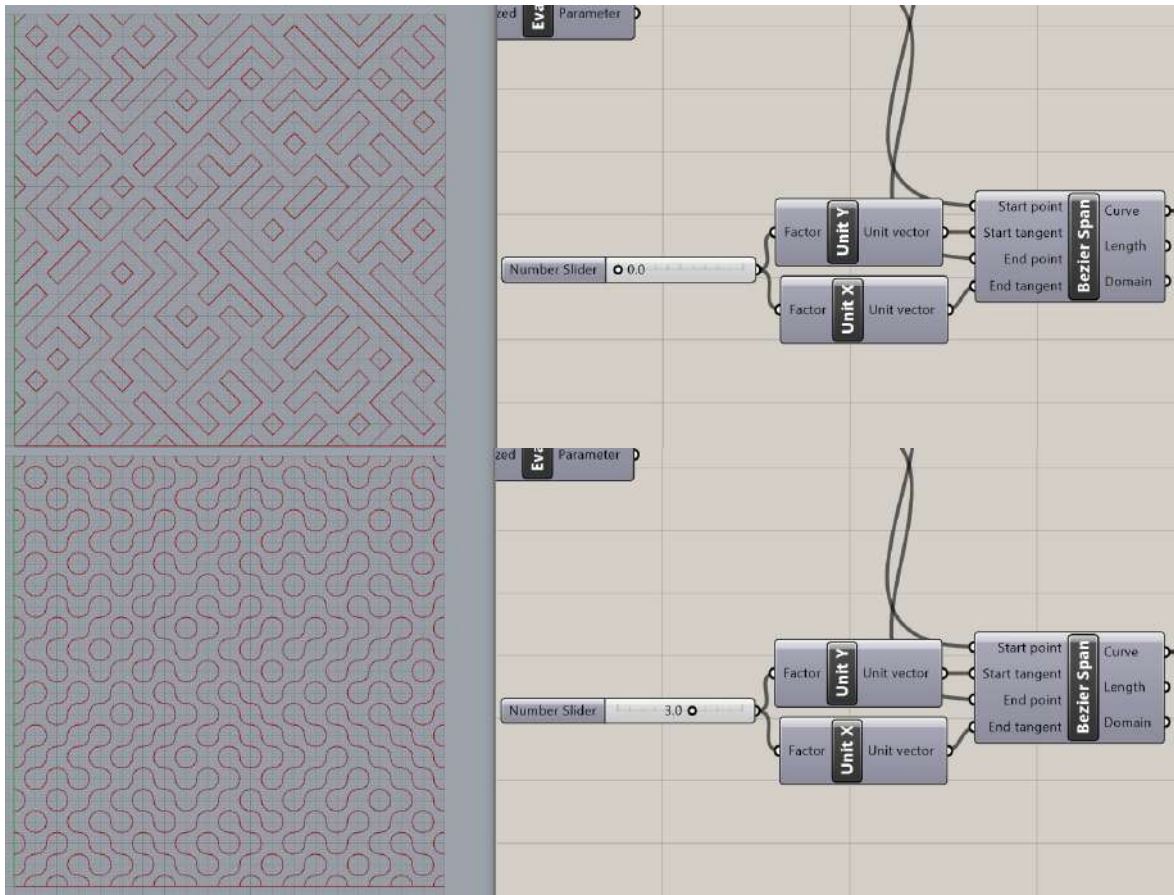


Figura 47 - As duas versões do padrão

Após a conclusão do padrão, este foi importado para o ambiente Rhino, onde foi construído o vaso e aplicado o padrão na superfície do mesmo. Para gerar geometria tridimensional foi utilizado o comando "Pipe" nas linhas do padrão, com uma espessura de 4mm. Na versão do padrão com as linhas retas foi feito antes um *offset* e uma extrusão com 3mm das linhas resultantes, e só depois é que foi projetado na superfície do vaso.

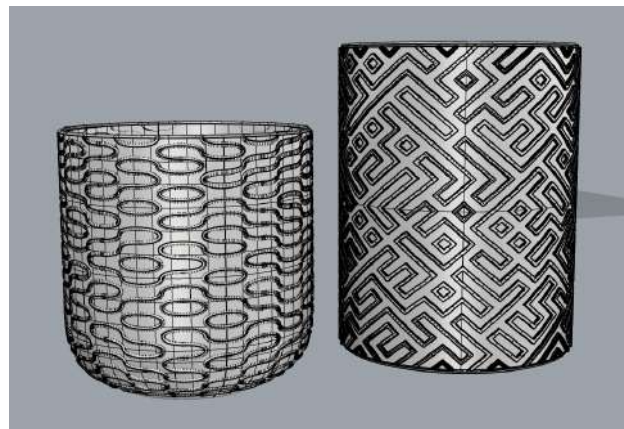


Figura 48 - Modelos finais dos vasos

Com os dois vasos concluídos (figura 48) procedeu-se à realização dos *renders* para que fosse possível obter um meio de visualização mais realista (figuras 49 e 50).

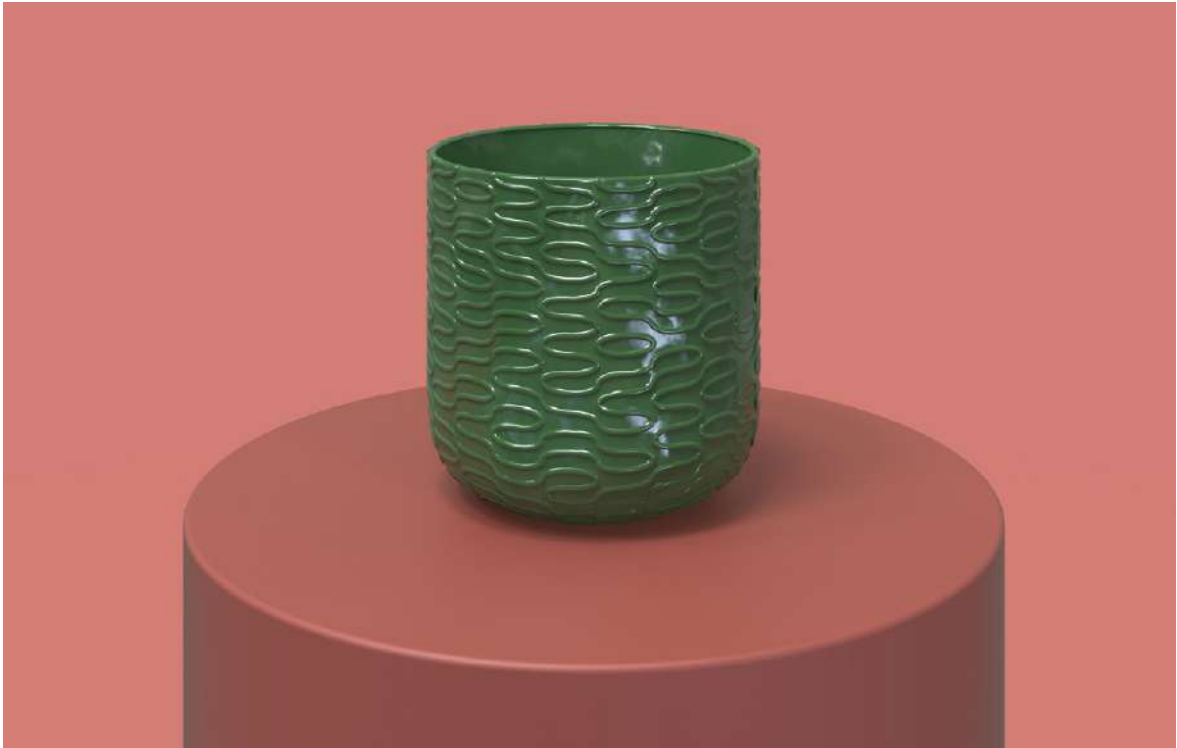


Figura 49 - Render do vaso com padrão arredondado

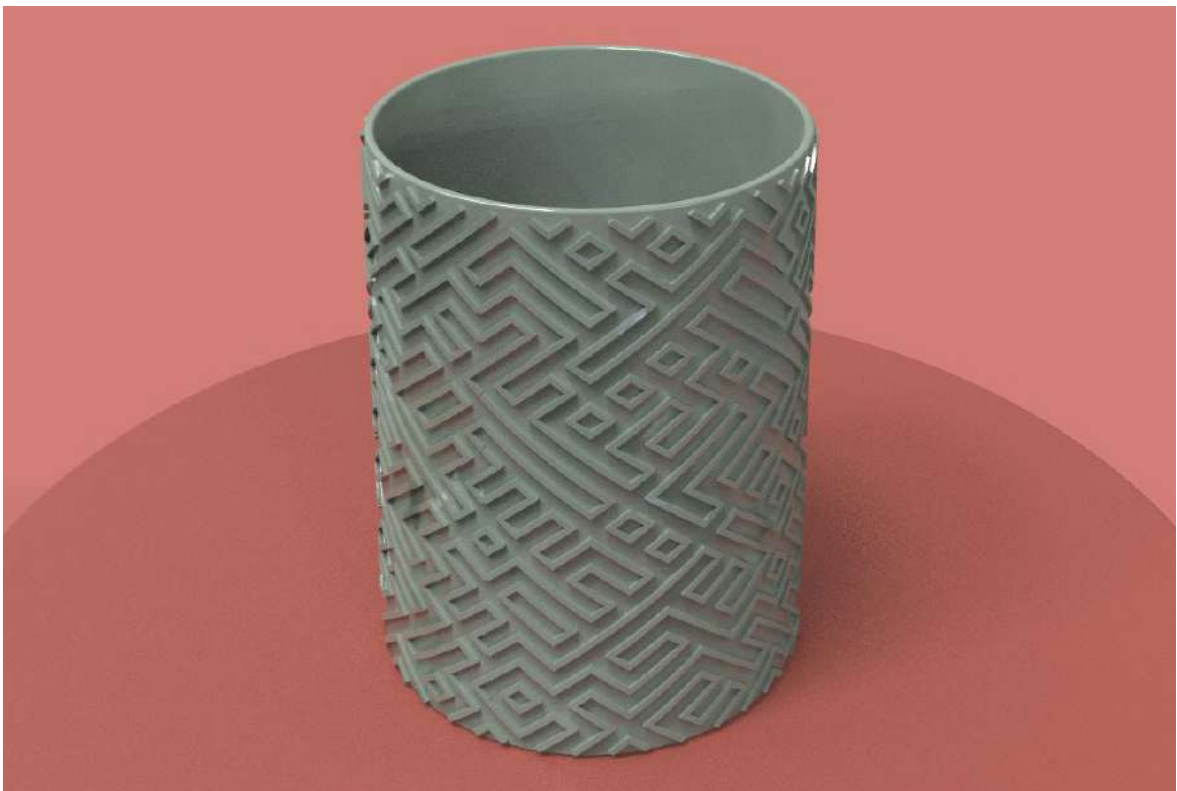


Figura 50 - Render do vaso com padrão retilíneo

3.5 Atratores

A experiência seguinte teve por base a utilização de 'atratores', isto é, a alteração de uma determinada geometria através de linhas, curvas ou pontos. As alterações realizadas consistiram em aumentar ou reduzir o tamanho e o formato da geometria em questão. Tudo isto funciona por distância dos atratores referidos em relação à geometria a alterar, daí o seu nome.

Na figura 51 é possível perceber qual o seu funcionamento. Neste caso quando se utiliza um ponto situado numa curva como atrator os círculos mais próximos tornam-se mais pequenos. Notar que seria também possível inverter os resultados aumentando o seu tamanho.

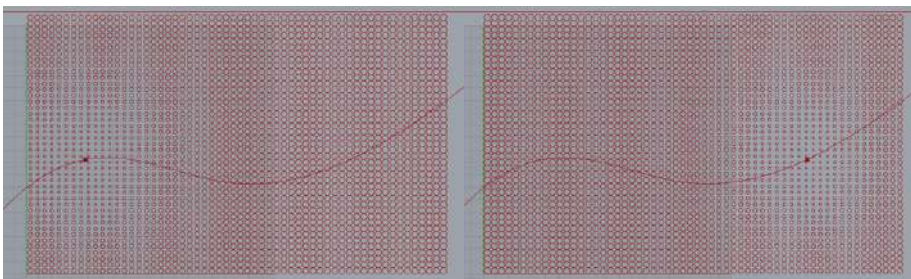


Figura 51 - Ponto atrator situado numa curva

Assim, e numa perspetiva de design e arquitetura este processo é muito interessante uma vez que a utilização deste tipo de padrões se tem vindo a tornar uma tendência (figura 52). Como tal, tentou-se também incorporar este método na construção de uma série de vasos, com o objetivo de tirar partido da diversidade de soluções permitidas.

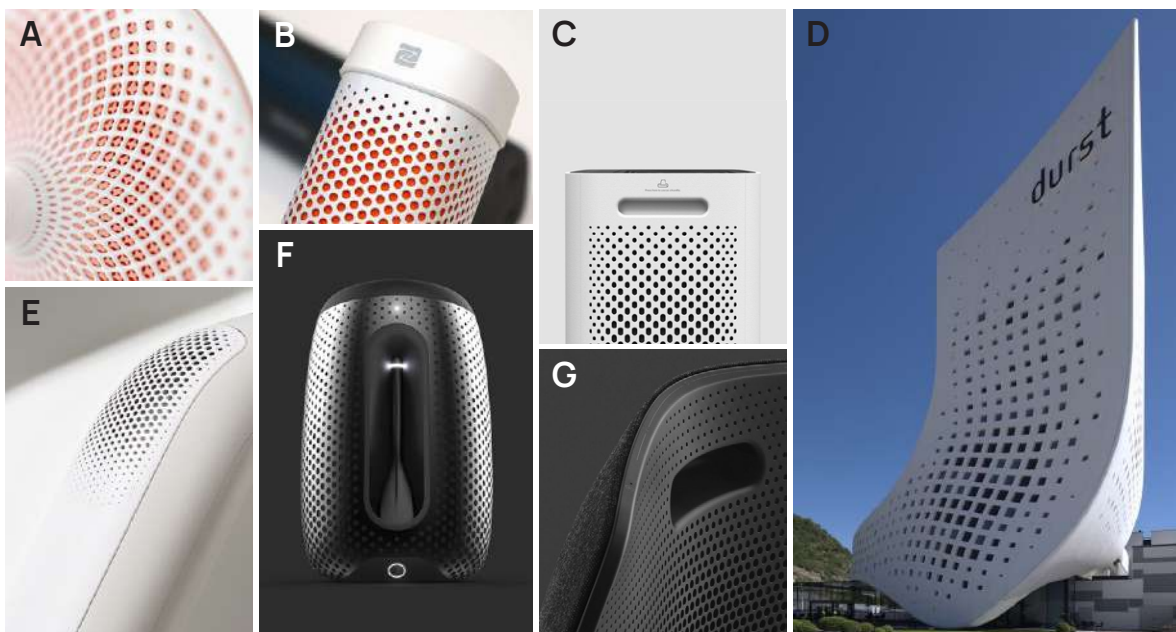


Figura 52 - Diferentes padrões utilizados atualmente

Fontes: Ver índice de figuras

Numa primeira fase, elaborou-se um algoritmo cujo funcionamento estava assente apenas em geometria 2D. Este consistia em criar uma grelha de círculos ao longo de uma superfície, para depois serem submetidos a alterações através de curvas. Deste modo, as curvas foram manipuladas por forma a obter o resultado pretendido (figura 53).

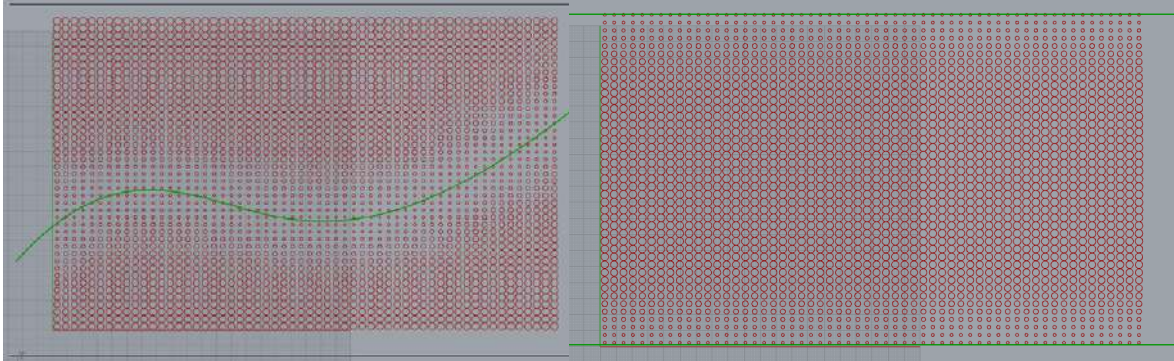


Figura 53 - Grelhas afetadas por curvas atratoras

Para controlar a dimensão dos círculos foi novamente utilizado o componente “Graph Mapper”, componente este que facilita imenso a manipulação precisa das dimensões e da área afetada pelos atratores. A figura 54 ilustra a mesma curva a afetar a grelha mas de diferente forma.

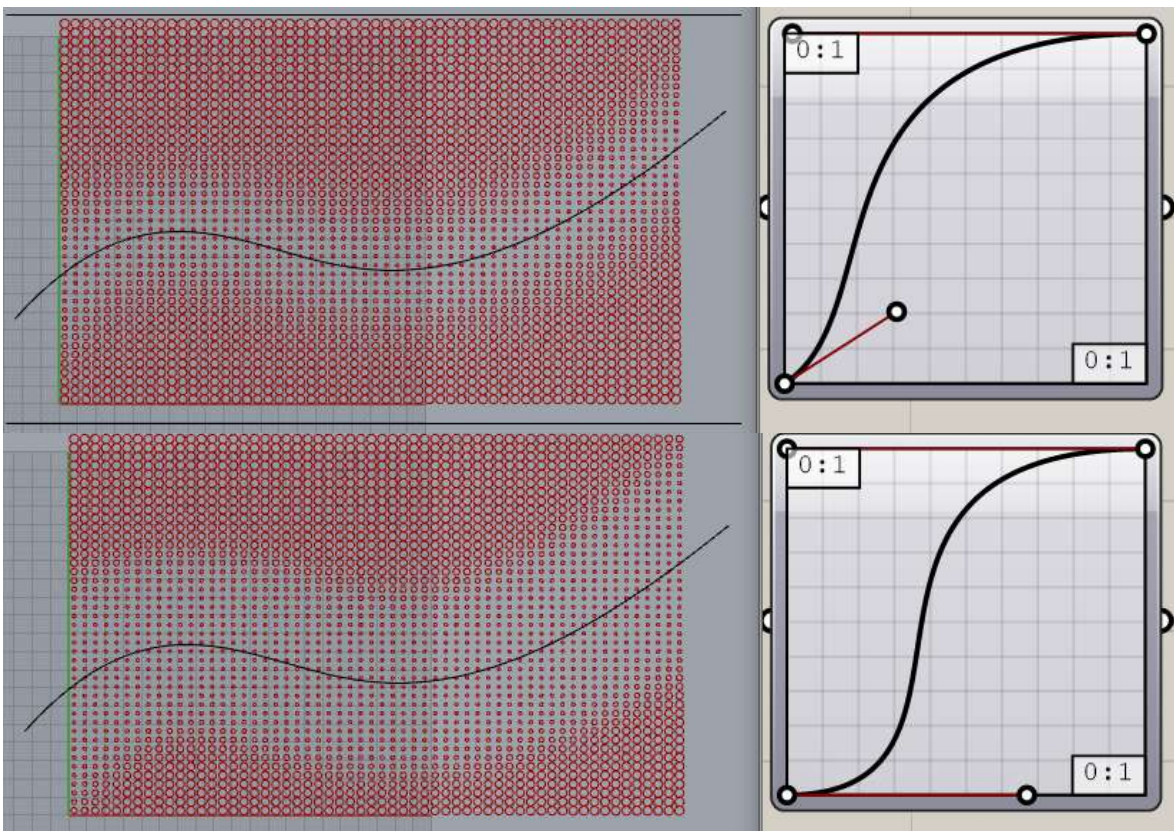


Figura 54 - Mesma curva com dois resultados diferentes

Após a exploração de um conjunto de testes diferentes, que geraram resultados interessantes, seguiu-se o mesmo processo que tinha sido anteriormente utilizado. Isto é, a geometria resultante dos testes foi exportada para o ambiente Rhino e foi aplicada aos vasos desenhados. Na figura seguinte é possível analisar os resultados obtidos.

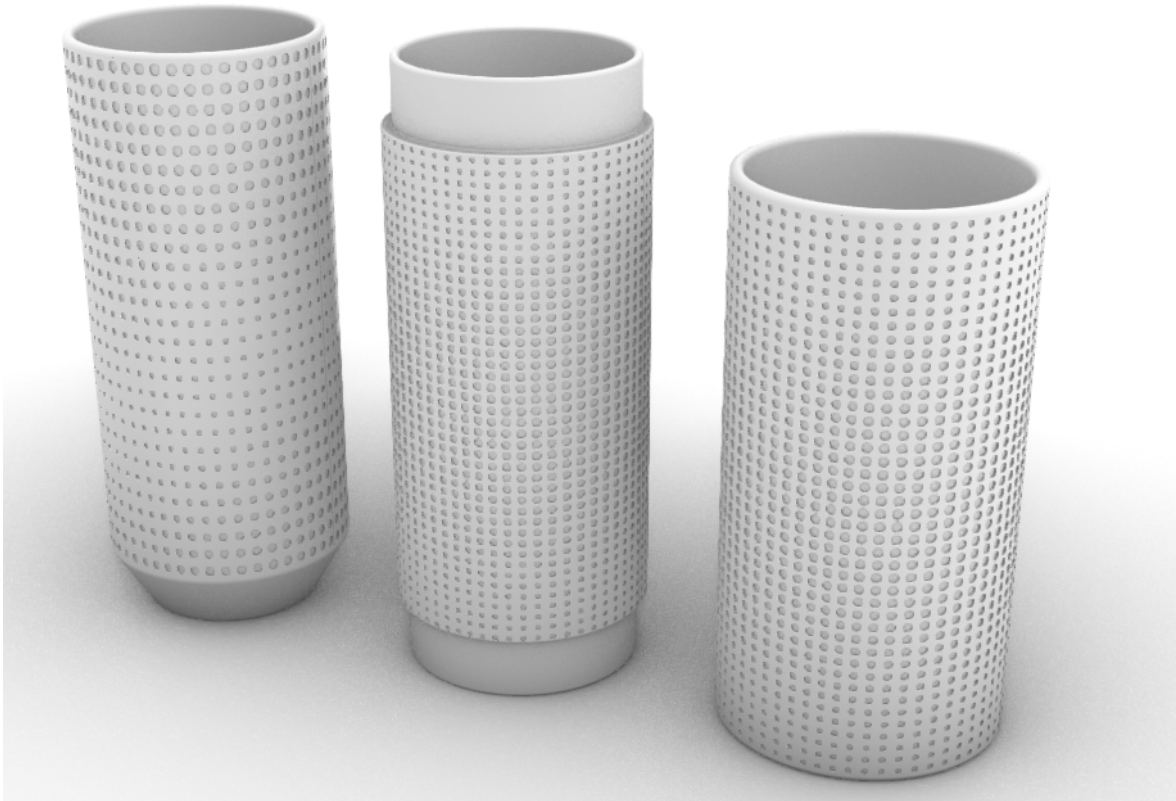


Figura 55 - Vasos com padrões realizados a partir de atratores

É importante mencionar que neste caso foram utilizados círculos, mas poderia ter sido utilizado qualquer tipo de polígono. Contudo, uma vez que o objetivo desta análise se prendia com o estudo do funcionamento deste método o foco não foi a solução estética obtida.

Uma vez que os atratores permitem também trabalhar com geometria 3D, a etapa seguinte passou por utilizar atratores num contexto tridimensional. Pegando no algoritmo obtido no processo descrito anteriormente, foram executadas algumas alterações para atingir a geração de geometria 3D. Neste caso, a geometria resultante consistiu em pirâmides numa superfície. O papel dos atratores neste algoritmo foi manipular a dimensão e direção do vértice das pirâmides.

Neste exemplo a primeira alteração realizada prendeu-se com a introdução de uma nova superfície como base, a ser subdividida em vários segmentos para mais tarde servir como base das pirâmides. A quantidade de segmentos resultantes é completamente da escolha do utilizador permitindo um elevado grau de customização e liberdade (figura 56).

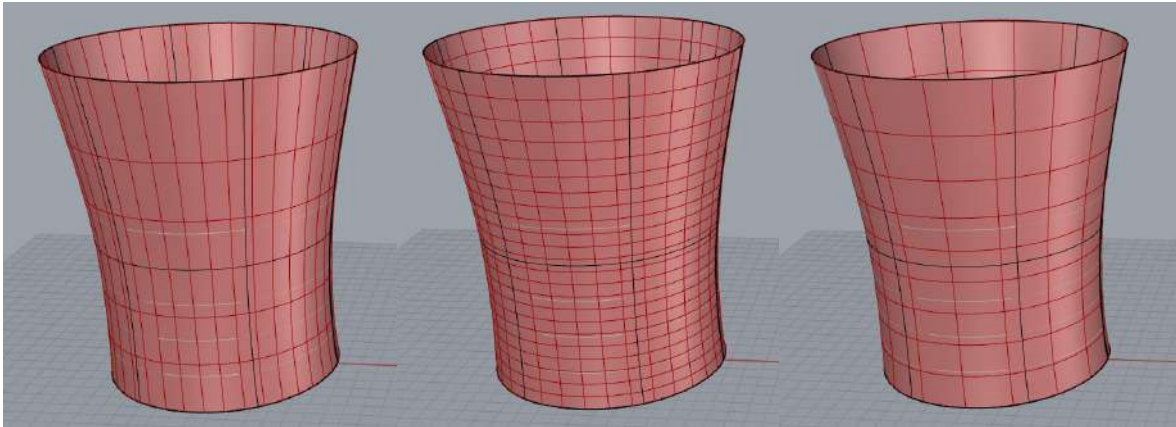


Figura 56 - Diferentes subdivisões efetuadas à superfície base

O número de subdivisões efetuadas tem um impacto direto no número de pirâmides que daí resultam, pois é a partir do centro de cada um destes polígonos que irá surgir o vértice superior. Graças a um processo de translação do ponto central de cada um dos polígonos são formadas as pirâmides (figura 57).

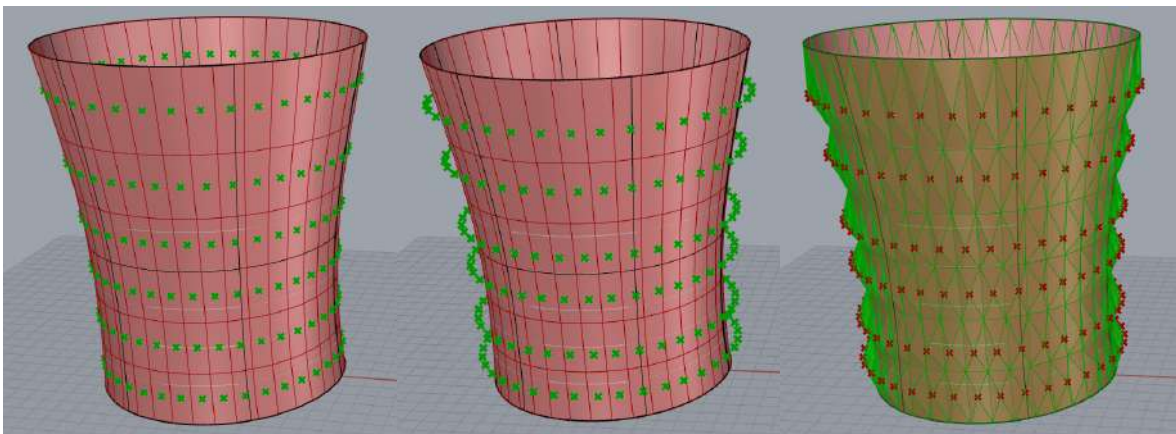


Figura 57 - Processo para obtenção das pirâmides

Os atratores neste algoritmo afetam os pontos que formam o vértice superior, podendo afastá-los ou apróxima-los de si. Foram utilizados 3 atratores, mais concretamente 3 círculos à volta da superfície. A escolha de círculos como atratores justifica-se pelo facto de se querer obter um resultado igual ao longo da revolução inteira da superfície. Na figura 58 é possível observar como os atratores afetam a direção das pirâmides.

Novamente o Graph Mapper serviu a função de controlar o quanto a geometria é afetada pelos atratores. Isto, em conjunção com os valores máximos e mínimos estabelecidos para a translação dos vértices superiores das pirâmides faz com que este método ofereça ao designer uma grande quantidade de variáveis, que por sua vez resulta na capacidade de conceber um número incalculável de resultados diferentes, apenas com rápidas alterações em certos parâmetros.

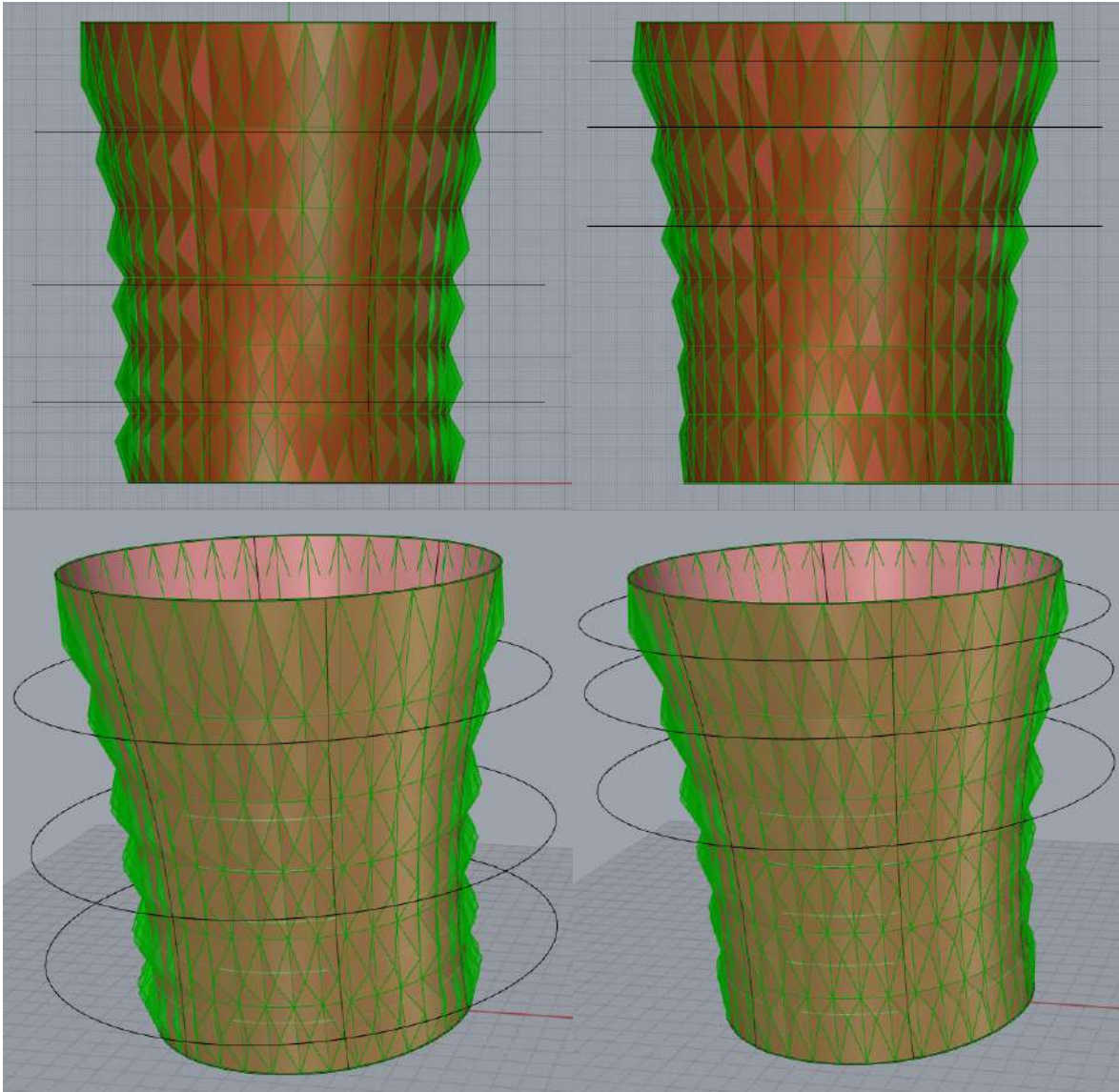


Figura 58 - Efeito das curvas atratoras na geometria

Com os resultados obtidos foram realizados alguns vasos. A diferença destes novos vasos relativamente aos que tinham sido realizados anteriormente a partir da geometria 2D consistiu no facto da superfície base ter já o formato pretendido. Deste modo, não foi necessário aplicar a geometria obtida em Grasshopper no vaso desenhado no Rhino, tendo apenas sido necessário pegar na geometria extraída do Grasshopper e construir o vaso a partir desta.

Na figura 59 estão demonstrados os vasos que foram realizados a partir deste método. Como é possível observar apesar do ponto de partida ser o mesmo os resultados obtidos são muito diferentes.

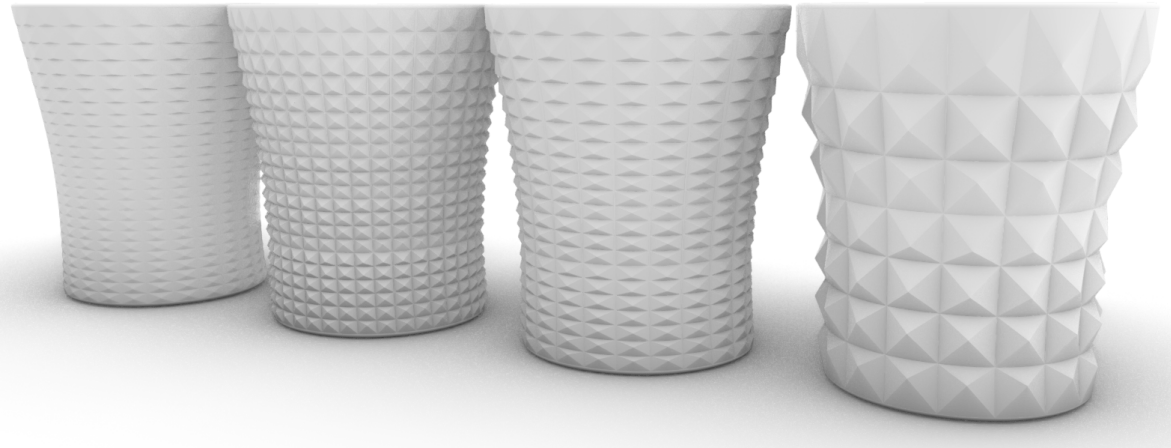


Figura 59 - Diferentes iterações com base no mesmo algoritmo

Foram ainda realizados alguns *renders* dos vasos desenhados, por forma a garantir novamente uma melhor visualização dos resultados obtidos (figura 60 e 61).



Figura 60 - *Render* dos vasos



Figura 61 - Render dos vasos

3.6 Utilização de *mesh*

Um dos problemas encontrados ao trabalhar com o método do subcapítulo anterior prende-se com o facto dos cálculos serem muito pesados devido à elevada quantidade de informação e à complexa geometria gerada, que levou à ocorrência de quebras de performance no Grasshopper e no próprio Rhino. Este é, portanto, um dos principais problemas que resultam do trabalho com algoritmos mais complexos, uma vez que os cálculos vão demorar significativamente mais tempo e qualquer alteração nos parâmetros pode levar a que o programa se desligue.

Alternativamente para melhorar a fluidez de performance é aconselhado, sempre que possível, trabalhar com geometrias *mesh* em vez de superfícies *nurbs*. Trabalhar com *mesh* faz com que o ficheiro seja muito mais 'leve' tornando os cálculos mais rápidos e faz com que o ficheiro ocupe muito menos espaço no computador.

Isto acontece pois uma superfície *Nurbs* é composta por pontos ligados por curvas suaves, ao passo que uma superfície *mesh* é composta por milhares de triângulos que formam entre si uma aproximação à superfície *nurbs* (figura 62). Por sua vez, uma melhor aproximação apenas é possível se a quantidade de triângulos for mais densa, o que torna a *mesh* mais 'pesada'.

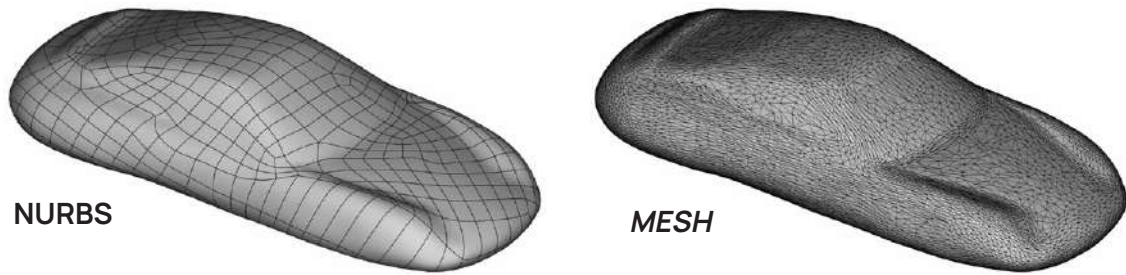


Figura 62 - Superfície *Nurbs* e superfície em *mesh*

Fonte: <https://holocreators.com/blog/what-is-the-difference-between-a-nurbs-model-and-a-polygon-mesh/>

Para ganhar familiaridade com a utilização de *mesh* tentou-se replicar a geometria criada no subcapítulo anterior. Ou seja, uma superfície que seria subdividida em vários polígonos que serviriam de base para pirâmides.

Existe um *plug-in* para o Grasshopper exclusivamente para trabalhar com *mesh* intitulado “Weaverbird”, tendo sido utilizados alguns dos componentes existentes neste *plug-in* para se gerar a geometria pretendida. O Weaverbird possui um componente para a criação de pirâmides, o “Weaverbird’s Stellate/Cumulation”, que permitiu agilizar muito o processo uma vez que não foi necessário encontrar o ponto central de cada polígono para fazer a sua translação e formar o vertice superior da pirâmide. Em resultado o algoritmo obtido revelou-se muito mais compacto quando comparado com o anterior.

Em seguida ficou claro que que com a simples alteração do número de subdivisões na superfície os resultados seriam instantaneamente transpostos. Adicionalmente, notou-se ainda outra grande diferença que residia na dimensão dos ficheiros, visto que comparando o tamanho do ficheiro do vaso em *mesh* para o mesmo vaso em *nurbs* a diferença foi 3 vezes superior (figura 63).

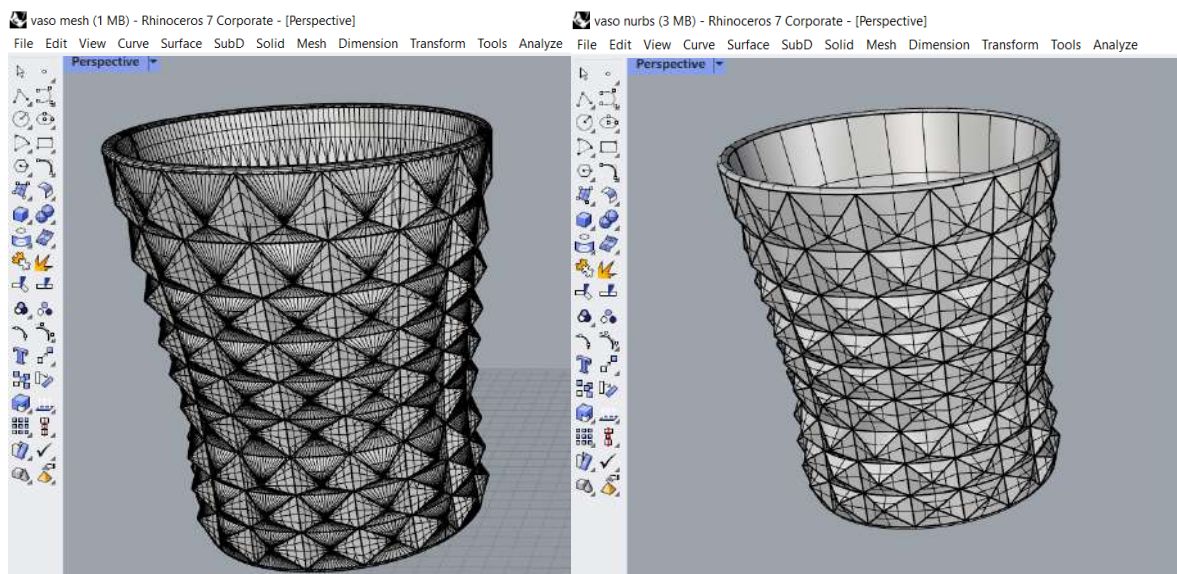


Figura 63 - Comparação entre vaso em *mesh* e vaso em *Nurbs*

Ainda assim neste caso em particular esta diferença não se revelou muito impactante visto que o ficheiro tem com pouca informação. Contudo, em situações em que os algoritmos e as geometrias sejam mais complexos a diferença tornar-se-á exponencialmente maior.

Com a utilização do componente “Weaverbird’s Catmull-Clark Subdivision” foi ainda possível chegar a uma alternativa suavizada da geometria. Na figura 64 pode-se observar o efeito deste componente.

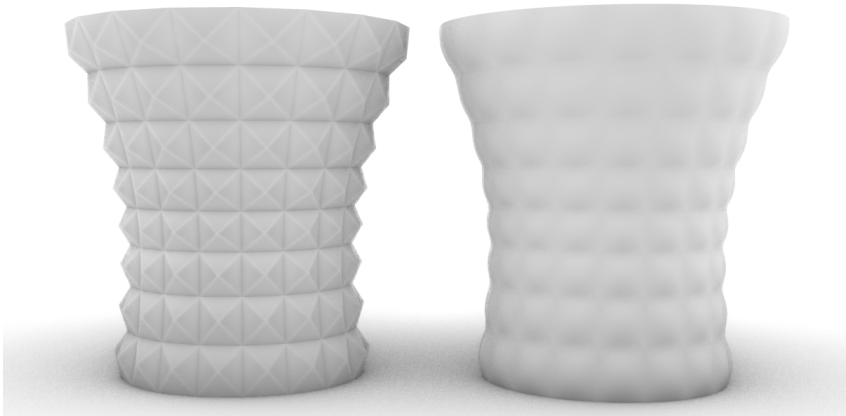


Figura 64 - Geometria resultante da suavização

3.7 Loft Paramétrico

Com base na aprendizagem que foi adquirida no Grasshopper a experiência seguinte consistiu, mais uma vez, na criação de uma série de vasos com a diferença que desta vez o foco seria a forma do próprio vaso e não as texturas que seriam aplicadas a uma geometria pré-definida. Neste sentido, foi desenvolvido um algoritmo que consistia em criar um Loft que poderia ser controlado por uma série de parâmetros, tais como a altura, largura, torção, perfil, entre outros.

Inicialmente o processo de construção deste algoritmo consistiu na criação de uma série de pontos ao longo do eixo z, a altura. Em cada um destes foi criado um círculo cujo raio seria controlado por um “Graph Mapper” (figura 65).

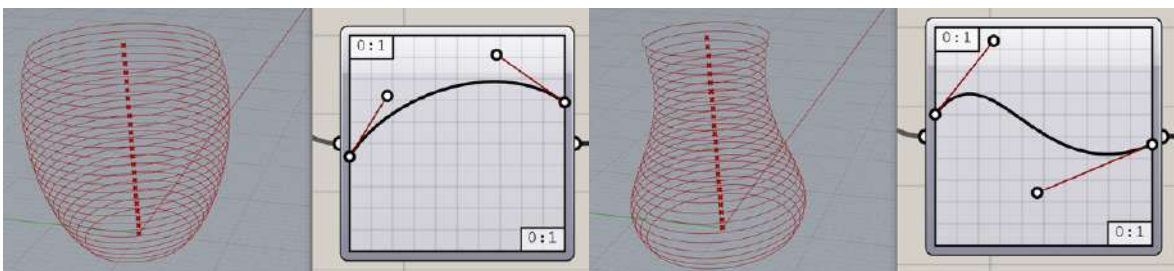


Figura 65 - Efeito do Graph Mapper no raio dos círculos

Após este passo foi feita uma divisão de cada um destes círculos em quantidades iguais, para que posteriormente se deslocassem cada um dos pontos de forma alternada para o interior do respetivo círculo (figura 66).

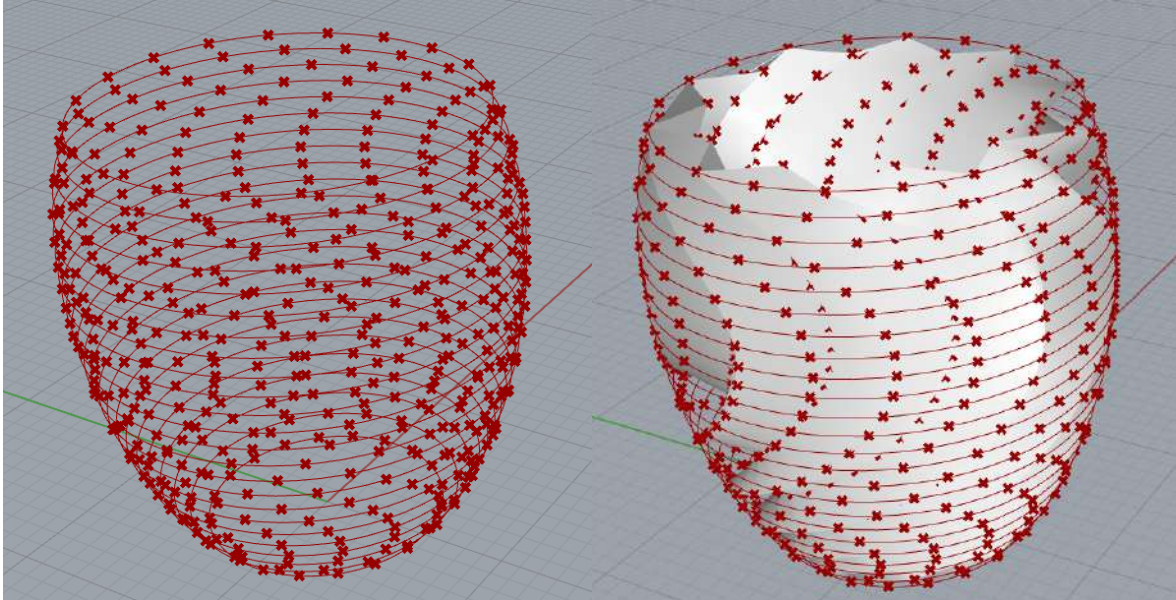


Figura 66 - Translação dos pontos

Esta ação cria uma série de depressões na superfície que se assemelham a ondas, que são também controladas pelo Graph Mapper. Isto acontece devido ao facto de o Graph Mapper controlar a dimensão dos círculos que compõem o Loft e a localização dos pontos ao longo dos círculos. Na figura 67 é perceptível o efeito que a deslocação dos pontos e dos círculos provoca na geometria gerada.

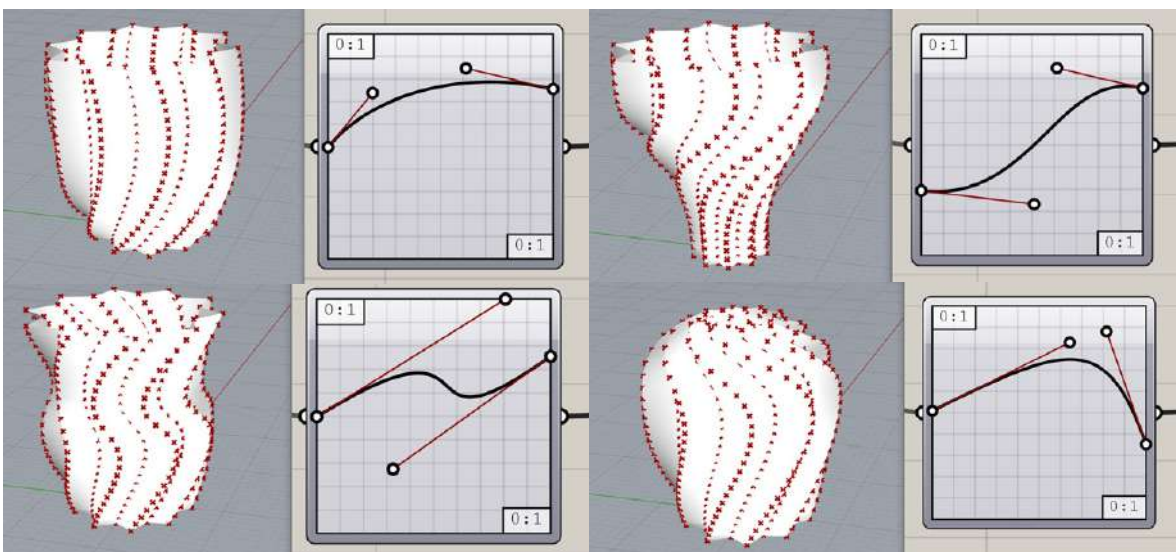


Figura 67 - Diferentes geometrias obtidas através do Graph Mapper

Contudo é ainda possível controlar um grande número de variáveis sem a utilização do Graph Mapper, tais como o número de subdivisões, a quantidade de torção das depressões, a altura, a largura e a distância de translação dos pontos interiores. Nas figuras seguintes é possível observar estas alterações realizadas a partir da mesma geometria base.

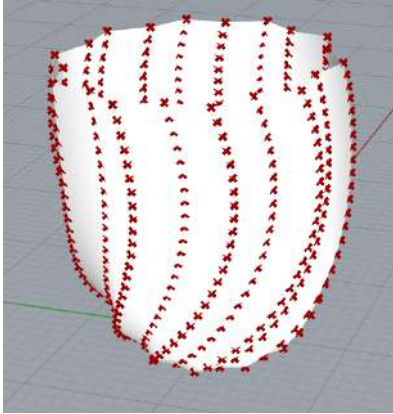


Figura 68 - Geometria base

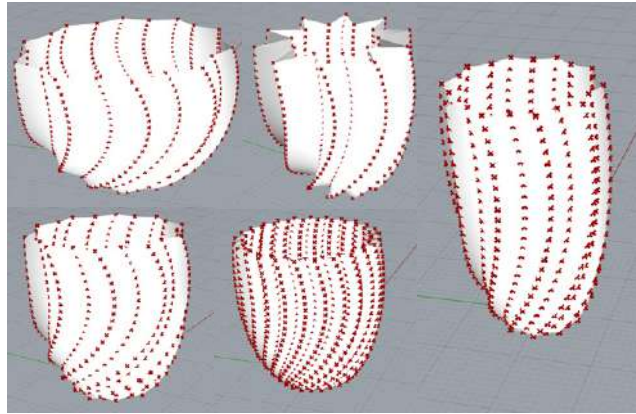


Figura 69 - Geometrias alteradas

Deste modo, o algoritmo construído permite um elevado grau de personalização que, com poucos passos, permite alcançar uma geometria completamente diferente. Devido à utilização de *mesh* a geração de forma no Grasshopper ocorre de forma rápida e sem causar erros no programa. No entanto, a utilização de *mesh* não compreende só aspetos positivos, existindo também pontos menos favoráveis a apontar, nomeadamente no que respeita as imperfeições na sua superfície. Como tal, ainda dentro do ambiente Grasshopper foi utilizado o componente “SubD from *mesh*”, que converte a geometria de *mesh* para SubD. Esta última é muito mais fácil de trabalhar e tem a vantagem acrescida de tornar a superfície mais suave (figura 70).

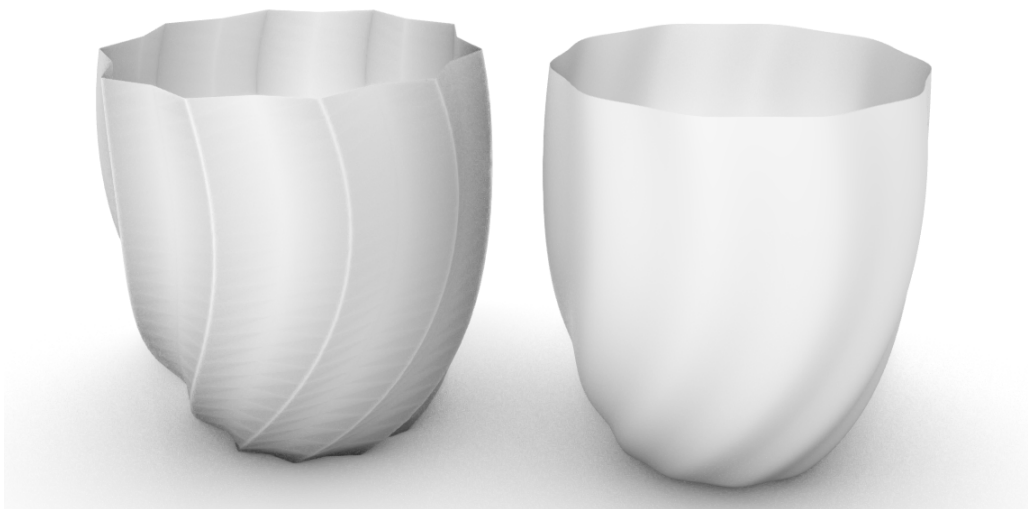


Figura 70 - A mesma geometria em *mesh* vs SubD

Após se terem obtido várias geometrias resultantes deste processo algorítmico estas foram convertidas de SubD para *nurbs*, onde já no ambiente Rhinoceros foram trabalhadas. Esta conversão conserva a geometria pois superfícies SubD são também baseadas em curvas *nurbs*. Seguiu-se o processo de estabelecer uma espessura por forma a obter um vaso e não apenas uma superfície. O resultado proveniente deste processo está demonstrado nas figuras 71 e 72.

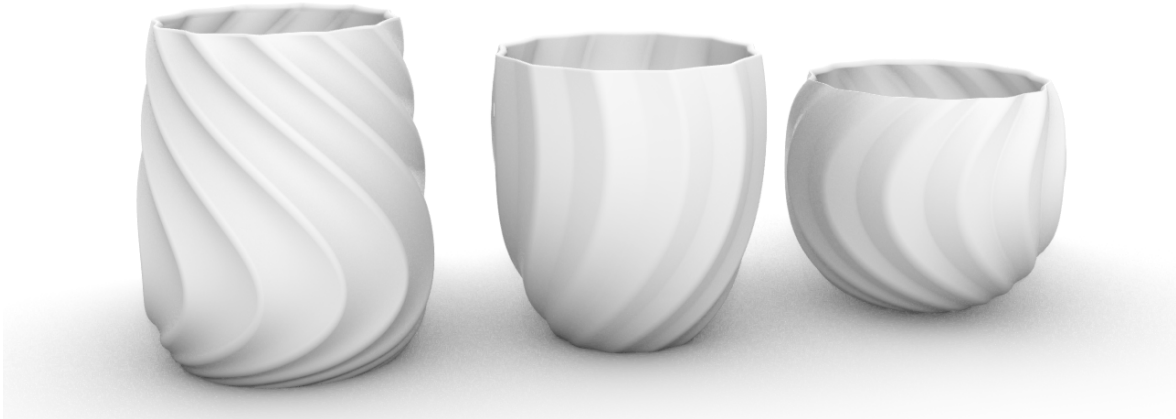


Figura 71 - Vasos resultantes do algoritmo



Figura 72 - Render dos vasos

3.8 Expansão de uma curva numa superfície

Para a realização de uma experiência já mais enquadrada em Design Generativo utilizaram-se as ferramentas de cálculo de física de colisão presentes no Grasshopper. Para isto, idealizou-se pegar numa curva e com estas ferramentas confiná-la a uma superfície, fazendo-a expandir até ocupar grande parte da superfície sem nunca se interceptar.

Neste sentido, desenhou-se uma curva e uma superfície para servir como base para esta expansão. Após a introdução de ambas as geometrias no ambiente Grasshopper o primeiro passo foi dividir a curva com o componente “Divide Curve” para obter 1000 pontos. Com estes pontos foi criada uma polilinha através do componente “Polyline”, tendo ao mesmo tempo os pontos sido introduzidos no componente “SphereCollide”. Isto fez com que cada ponto se tornasse o centro de uma esfera invisível, cujo volume é impossível de transgredir pelas esferas adjacentes. O componente “SphereCollide” funciona com 3 *inputs*: pontos, raio e força. No *input* raio introduziu-se um “Number Slider” que ligava simultaneamente ao comprimento dos segmentos da polilinha. A razão por detrás desta escolha assenta na intenção do crescimento da curva ser constante em relação ao raio destas esferas.

Com isto feito foram introduzidos os outputs resultantes da polilinha do “SphereCollide” e a superfície base no componente “StepSolver”, que permite calcular e visualizar o crescimento da curva na superfície. O crescimento ocorre de forma controlada pelo utilizador através do “Number Slider” referido anteriormente, onde os valores têm de ser aumentados de forma lenta e gradual para não causar erros na geometria (figura 73).

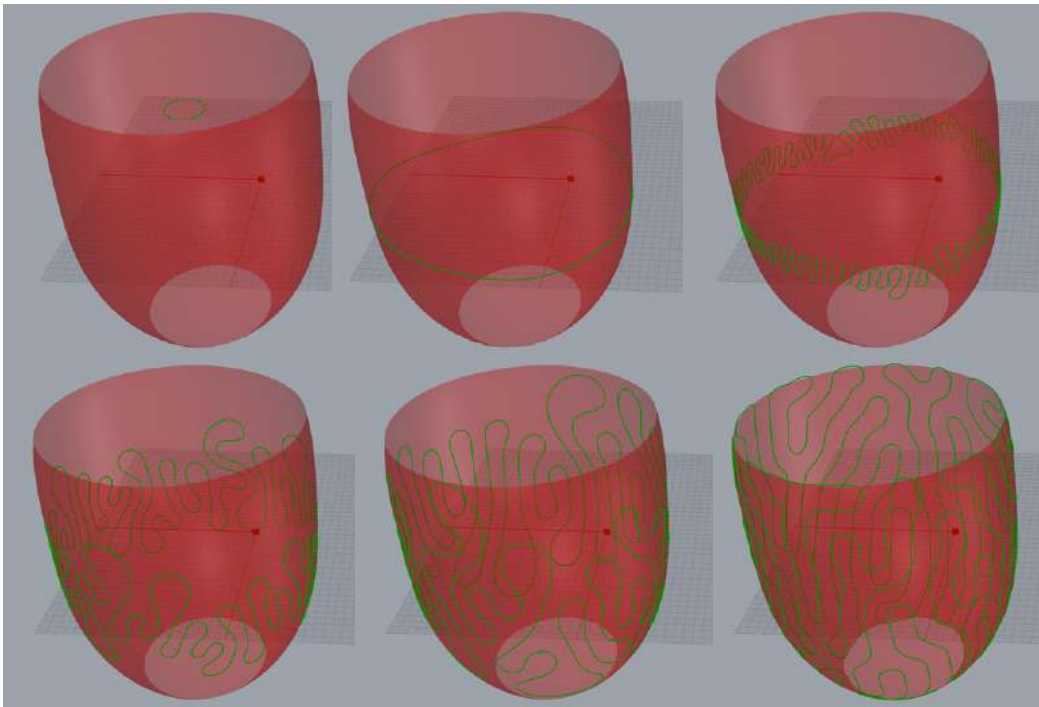


Figura 73 - Evolução da expansão da curva ao longo da superfície, a curva inicial é projetada na superfície e seguidamente é subdividida. A estes pontos são atribuídos esferas invisíveis para gerar tensão e assim afastar cada um dos pontos uma determinada distância

Apesar do controlo de expansão da curva ser feita por parte do utilizador os resultados são impossíveis de determinar previamente, pois a expansão ocorre sempre de forma diferente. Na figura 74 é possível observar que com exatamente os mesmos valores de expansão a curva gerada não é igual. Daí se considerar este método generativo, pois vai ser gerado algo sem se saber com precisão qual o seu resultado.

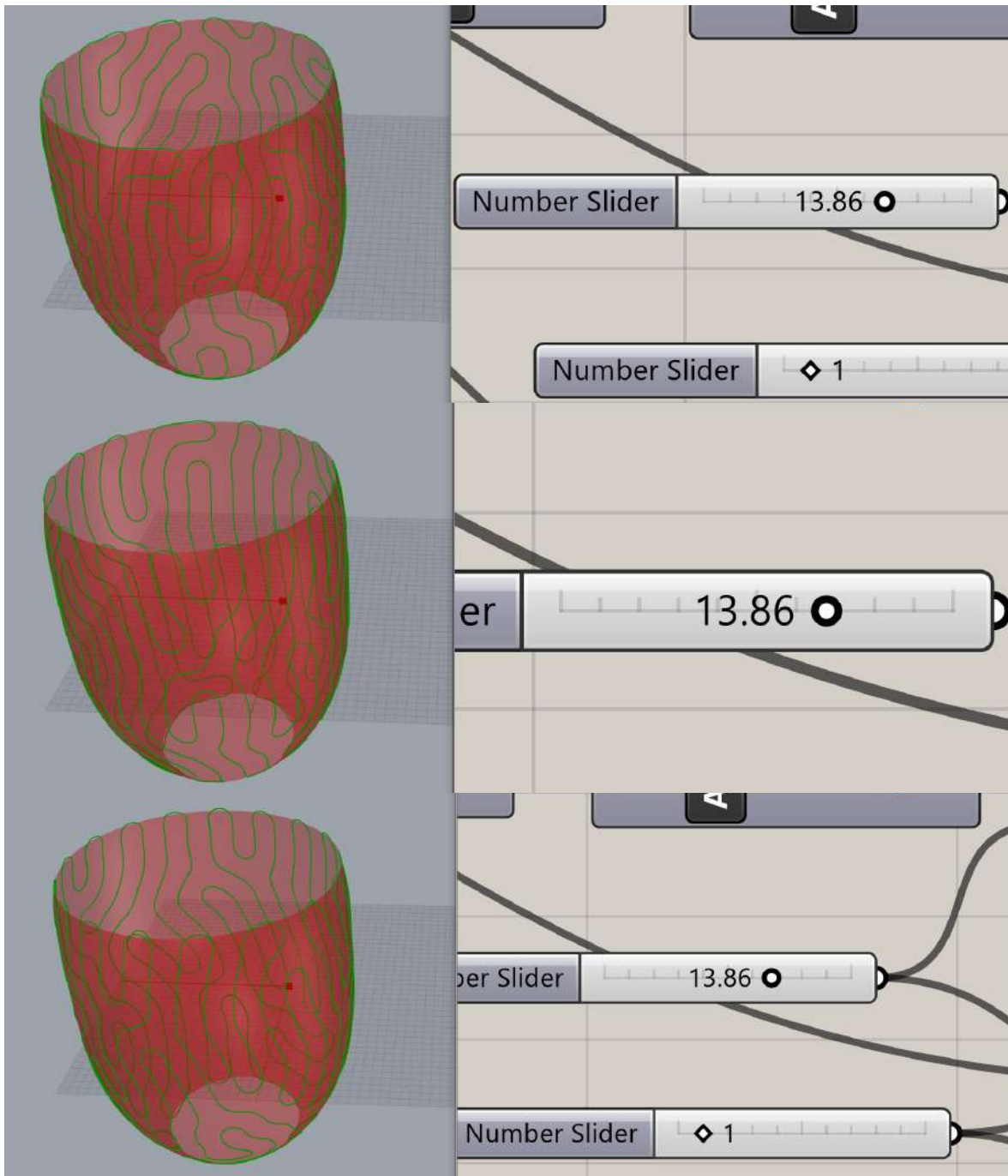


Figura 74 - Diferentes resultados obtidos com o mesmo valor de expansão

De forma a tornar a curva gerada em geometria tridimensional foi utilizado o componente "Pipe" no Grasshopper que resultou na geometria presente na figura 75.

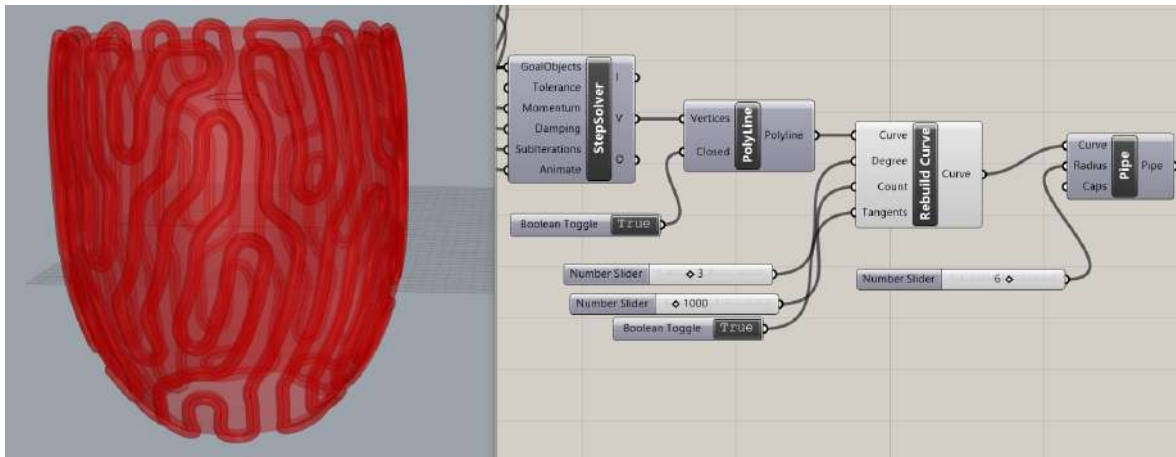


Figura 75 - Diferentes resultados obtidos com o mesmo valor de expansão

Tendo obtido uma geometria adequada foi feito o "Bake", por forma a continuar o trabalho no ambiente Rhino, onde foi dada uma espessura ao vaso e onde foram realizadas *fillets* para arredondar os cantos entre o *Pipe* e o vaso em si.

O resultado final (figura 76) foi satisfatório, podendo-se observar algumas semelhanças com o Coral Cup (figura 77) que havia sido mencionado no capítulo 2.4. Mais uma vez foram realizados alguns *renders*, sendo neste vaso interessante observar a forma como a luz interage com as suas 'veias' criando um efeito claro-escuro (figura 78).



Figura 76 - Resultado final obtido



Figura 77 - Coral Cup por Nervous System

Fonte: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8222>



Figura 78 - Renders do vaso

3.9 Algoritmo *Shortest-Path*

A última experiência realizada em Grasshopper, como forma de estabelecer bases para a realização do projeto, consistiu em construir um algoritmo, o *Shortest-Path*, que calcula o caminho mais curto de um determinado ponto a outro.

O primeiro passo na construção do algoritmo foi introduzir uma superfície base no Grasshopper, onde novamente a ideia consistia em incorporar o resultado obtido num vaso, pelo que a superfície foi desenhada como sendo a parte exterior do mesmo. O passo seguinte consistiu em povoar a superfície com uma população de pontos, tendo sido utilizados 5000 pontos através do componente "Populate Geometry" (figura 79). Simultaneamente foi introduzido no mesmo componente um ponto localizado na curva (figura 80) do fundo da superfície, que serviria como ponto de partida para todos os percursos a percorrer.

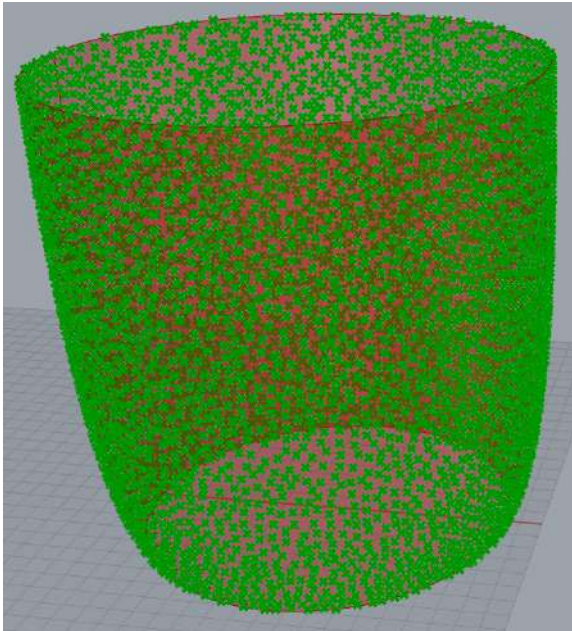


Figura 79 - População de pontos gerada na superfície

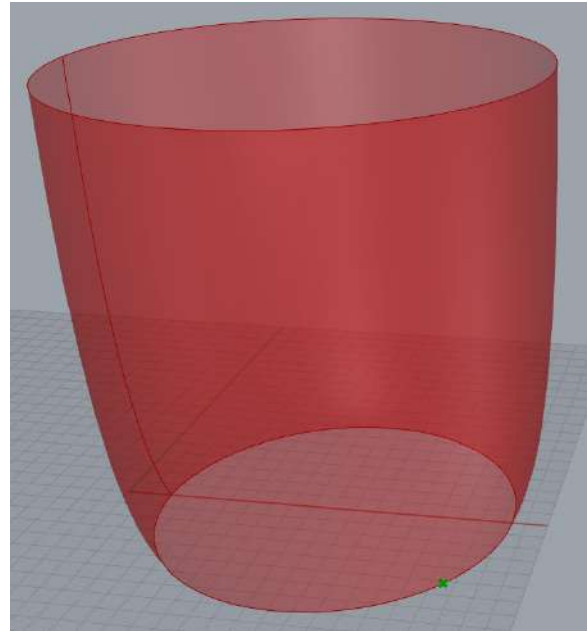


Figura 80 - Ponto base para o percurso

Seguidamente, utilizou-se o componente "Proximity 3D" para agrupar, em grupos de 3, os pontos mais próximos formando linhas entre eles. Enquanto isso foram removidos, aleatoriamente, 40% dos pontos através do componente "Random Reduce" para que as linhas apenas cruzassem com os pontos restantes.

Posteriormente, pegaram-se nas linhas resultantes do "Proximity 3D" e nos pontos resultantes do "Random Reduce" e introduziram-se estes inputs no componente "Shortest Walk". Por sua vez, este fez a ligação entre o ponto inicial e todos os pontos resultantes do "Random Reduce" pelo caminho mais curto. A figura 81 ilustra o processo adotado.

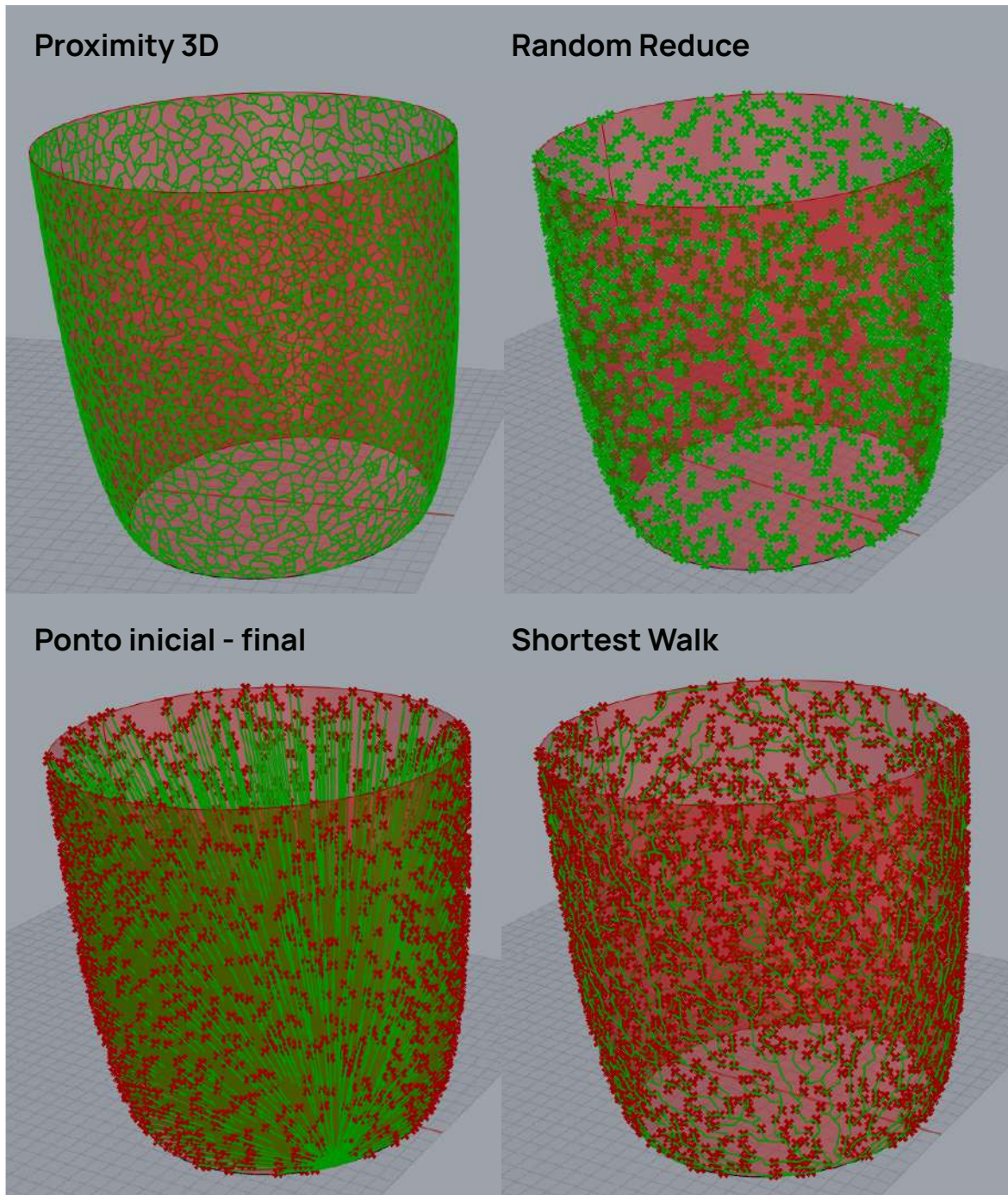


Figura 81 - Passos seguidos para obter o caminho mais curto entre o ponto inicial e os finais

Com estes processos concluídos faltou apenas dar volumetria ao resultado, tendo-se para isso recorrido ao *plug-in* Dendro, que permite gerar volumes através de pontos, linhas e curvas. Neste caso foram utilizadas as linhas resultantes do "Shortest Walk", tendo-se obtido a geometria presente na figura 82. Testou-se ainda a opção da espessura ir decrescendo na parte superior, tendo-se recorrido ao componente "Remap Numbers" para criar esse efeito, através da definição do valor máximo e mínimo para as espessuras – geometria final na figura 83.

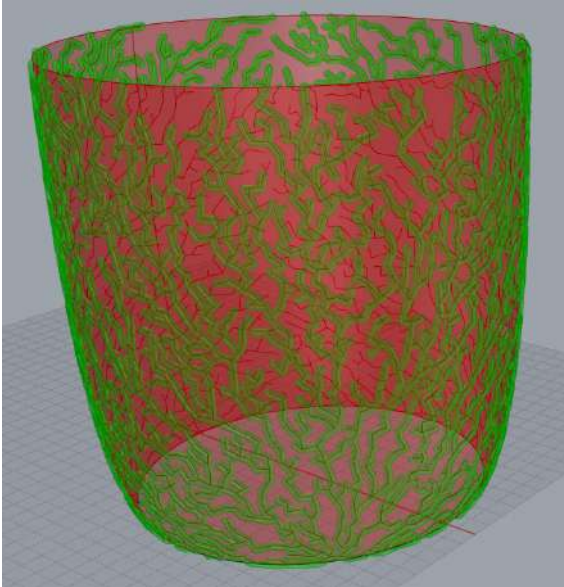


Figura 82 - Geometria inicial resultante do Dendro

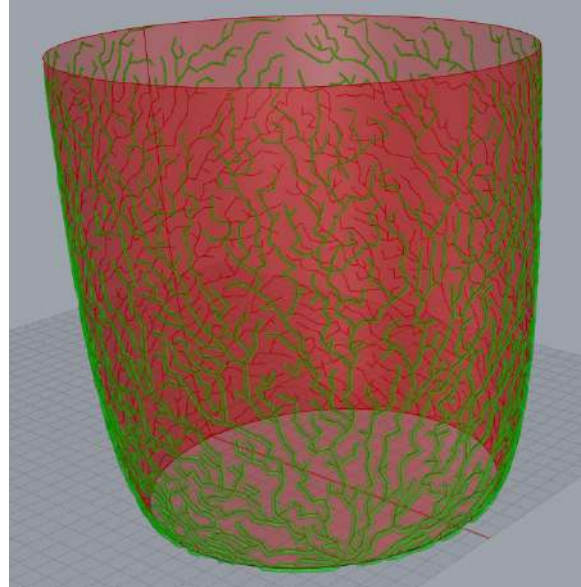


Figura 83 - Geometria final após a diminuição da espessura

Com estas etapas finalizadas, o restante trabalho consistiu em fazer o “bake” à geometria e trabalhar a partir da mesma no ambiente Rhinoceros, onde se obteve o resultado presente na figura 84. A partir deste vaso foram realizados também *renders*, que se encontram na figura 85.



Figura 84 - Modelo final do vaso

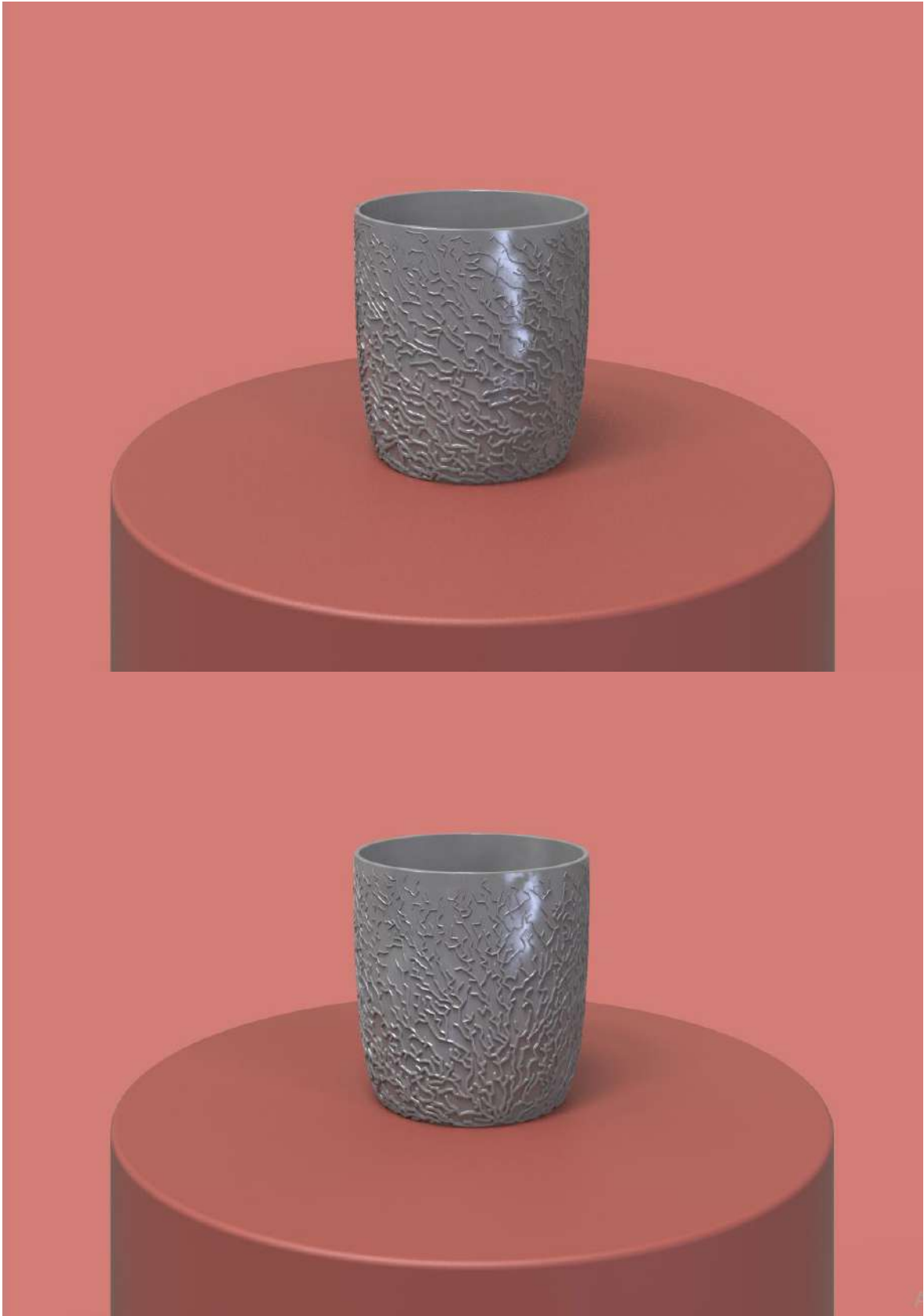


Figura 85 - Renders do vaso

Após esta exploração do Grasshoper como veículo de implementação de técnicas de Design Computacional, este programa revelou-se com diversas mais valias que podem ser exploradas na criação de produto. Particularmente no que respeita a rapidez de execução de alterações, a capacidade de realizar múltiplas iterações com o mesmo algoritmo, e por fim a capacidade de criar formas e padrões que seriam praticamente impossíveis de criar em programas CAD tradicionais. Já para não mencionar que existem imensos *plug-ins* que adicionam ainda mais funcionalidades.

Capítulo 4.
Projeto - Coleção de vasos

4.1 O atelier Estudiooama



Figura 86 - Logotipo Estudiooama

Fonte: <https://www.facebook.com/Estudiooama-lda-181819365186864/>

Fundado em 2003 pela dupla de designers Pedro Bandeira Maia e Raúl Pinto, o Estudiooama (figura 86) é um estúdio de design multidisciplinar, sediado em Aveiro, que procura em parceria com os seus clientes conceber e produzir projetos de elevada criatividade e valor.

Trata-se de um estúdio que gera soluções na área de design de produto, design de interiores e design gráfico, e que já desenvolveu diversos projetos, desde máquinas de café, peças de mobiliário, iluminação, *packaging* de produtos, etc. Ou seja, é estúdio onde todos os desafios são encarados da mesma forma.

Assim, o Estudiooama procura manter e assegurar o constante acompanhamento das novas tendências, novos materiais e tecnologias, sendo justamente essa procura e motivação que o colocam como veículo de ligação privilegiado entre as empresas e o mercado real. Deste modo, este acompanhamento conduziu a que o estúdio tenha desenvolvido interesse por implementar o Design Generativo nas suas ferramentas de trabalho, o que por sua vez motivou o desenvolvimento deste estágio curricular.

Projetos desenvolvidos

Ao explorar o website do Estudioama podem observar-se os vários projetos que têm sido desenvolvidos nas diferentes áreas de design, como o design produto, design de interiores e o design gráfico. Adicionalmente, é possível identificar a importância do conceito na conceção de cada um dos seus projetos, uma vez que cada pequeno detalhe ou objeto do nosso quotidiano pode servir como inspiração para desenvolver um novo produto. Isto é visível na coleção de vasos Potraits presentes na figura 87, esta linha é caracterizada por implementar no seu desenho elementos das referências que os inspiraram.



Figura 87 - Alguns projetos realizados pelos estúdio

Fonte: www.behance.net/aveiromeuamor

4.2 A empresa Almas Design

A Almas Design teve a sua origem no ano de 1908, em Vila Nova de Gaia, como uma fábrica de cadinhos para fundição de ouro, chamada de Fábrica Cerâmica da Madalena. Contudo, no ano de 1944 alterou o seu local de produção para Almas da Areosa (figura 88), local onde a empresa realiza a sua atividade ainda nos dias de hoje passando então o seu nome para apenas “Almas”.

Atualmente a sua produção consiste no fabrico de vasos sendo que todos os dias são produzidos milhares de unidades, que são enviadas para todas as partes do mundo. Tendo em conta que um dos principais valores pelo qual a empresa se rege é a sustentabilidade, esta efetua uma recuperação de 100% dos desperdícios, preocupa-se com a incorporação de materiais reciclados nos seus produtos e com a realização de uma gestão inteligente na utilização dos seus recursos.

Para além disso, um outro aspeto muito valorizado pela empresa é a inovação. Deste modo, ela procura estar sempre na vanguarda no que respeita o nível dos processos utilizados, bem como o design adotado nas suas peças. Neste sentido, e por forma a cumprir este parâmetro, a Almas Design trabalha com vários designers e estúdios de design vencedores de prémios internacionais, tais como o Estudiooama (figura 89) e o Studio Levien, atelier de design situado em Londres que veio introduzir a Almas Design no campo do Design Generativo com a linha Geo e Gen (figura 90 e 91).



Figura 88 - Entrada da Almas Design

Fonte: www.almas-design.com



Figura 89 - Arquétipos por Estudiooama

Fonte: www.almas-design.com



Figura 90 - Geo por Studio Levien

Fonte: www.almas-design.com



Figura 91 - Gen por Studio Levien

Fonte: www.almas-design.com

No website da Almas Design consta o seu catálogo (figura 92), onde podemos observar as suas coleções, estas desenhadas pelos diversos estúdios e designers com os quais trabalham. Como seria de esperar existe uma grande variedade no que respeita a linguagem das peças, uma vez que cada estúdio e designer emprega o seu próprio estilo nos seus desenhos.



Figura 92 - Catálogo da Almas Design

Fonte: www.almas-design.com

4.3 A Faiança e os seus processos de produção

Para a construção dos seus vasos a Almas Design utiliza a faiança. Este tipo de cerâmica revela uma ótima relação custo-benefício, o que faz com que ocupe a maior percentagem de produção em termos de produtos cerâmicos.

Comparativamente à porcelana e ao grés a faiança contém menos percentagem de vidro, pelo que tem uma elevada porosidade (entre 10 e 20%), sendo necessária a sua vidragem por forma a reter líquidos. Adicionalmente, a faiança é opaca enquanto a porcelana é translúcida e a faiança é também mais frágil e menos densa que o grés.

Um aspeto menos positivo da faiança é o facto de esta se lascar com alguma frequência. Contudo, este tipo de cerâmica tem como valia o facto de existir uma menor distorção da geometria das peças ao longo do seu processamento, relativamente a outros tipos de cerâmica (Lefteri, 2014).

Para além disso, a faiança tem como característica ser de fácil produção, especialmente quando comparada com a porcelana. Isto é, a sua produção é viável tanto em grande escala como numa escala reduzida, como resultado do seu baixo custo de produção por ser um tipo de cerâmica com uma temperatura de cozedura mais baixa relativamente aos outros tipos. Por sua vez, e no que respeita os métodos de conformação da pasta podem ser utilizados a conformação por enchimento, extrusão, prensagem e contramoldagem (Lefteri, 2014).

4.3.1 Conformação da pasta

4.3.1.1 Conformação por enchimento tradicional

Boch & Nièpce (2007) afirmam que a Conformação por enchimento tradicional trata-se do método mais convencional de produção de peças cerâmicas com formas mais complexas (tais como os sanitários, *tableware*, materiais refratários e cerâmicos técnicos). Este é um método que consiste no vazamento de barbotina líquida em moldes porosos, normalmente feitos de gesso. O molde absorve a humidade da barbotina, formando assim uma camada consolidada junto à sua superfície (quanto mais tempo se deixar no molde mais espessa fica a peça). Seguidamente é retirado o excesso de barbotina presente no molde, ficando apenas a peça em estado sólido por desmoldar (figura 93). Nesta fase ocorre uma ligeira retração da peça o que facilita a sua desmoldagem.

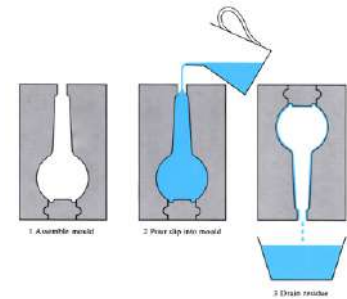


Figura 93 - Esquema representativo da conformação por enchimento

Fonte: www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/slip-casting

Segundo Freitas et al. (2009) este processo de conformação é vantajoso por ser um método que possibilita atingir formas complexas, oferecendo bastante liberdade no que respeita o tamanho das peças e, por fim, ao utilizar equipamentos de baixo custo. Em sentido contrário, as suas limitações passam pela necessidade de mão-de-obra intensiva e dos seus ciclos de produção serem longos.

4.3.1.2 Conformação por enchimento sob pressão

Esta técnica de conformação é a mais utilizada na indústria cerâmica, para a produção de louça decorativa, utilitária e sanitários (figura 94). Neste processo, são utilizados moldes porosos em gesso ou poliméricos, para onde é injetada a barbotina a uma elevada pressão que força a saída da água pelo molde ocorrendo, simultaneamente, uma compactação das partículas, que permite formar a peça (CAE 23412). Neste processo não é necessário que haja uma secagem dos moldes entre cada enchimento, o que aliado ao facto de ser um processo altamente computadorizado permite uma elevada produtividade.



Figura 94 - Conformação de uma sanita através do enchimento sob pressão

Fonte: www.sacmi.com/pt-pt/ceramics/news/5359/Volgo-gradskij-Keramicheskij-Zavod-Russia-expands-its-high-pressure-casting-department-with-Sacmi

4.3.1.3 Extrusão



Figura 95 - Extrusora de argila

Fonte: <https://fento.pt/pt/gallery-item/fieira-para-ceramica/>

Utilizada em muitas indústrias, nomeadamente na indústria cerâmica, a extrusão tem como vantagem o facto de ser um método que pode ser utilizado como processo de conformação plástica para produtos de secção constante, como por exemplo, nos tijolos (Ribeiro et al., 2005). Contudo, é frequente a sua utilização para o processo de mistura e homogeneização da pasta cerâmica, melhorando as suas propriedades (Freitas et al., 2009).

Neste processo a pasta cerâmica é forçada através de um eixo helicoidal em direção à fieira, figura 95, onde à saída a pasta é cortada com as dimensões ideais para a peça a realizar. Ou seja, trata-se de um processo realizado em vácuo, com o intuito de causar a desgaseificação e homogeneização da pasta, que depois será utilizada em outros processos por forma a atingir a geometria pretendida, como por exemplo a contramoldagem e prensagem (CAE 23412).

Deste modo, este é um processo altamente mecanizado e otimizado pois ocorre um desperdício mínimo de material.



Figura 96 - Contramoldagem Roller

Fonte: www.phgmag.com/setting-the-table/

4.3.1.4 Contramoldagem Roller

Na contramoldagem a pasta cerâmica é colocada sobre um molde de gesso que contém o seu interior, e que é depois comprimido por um punção rotativo (podendo este ser feito de nylon ou aço) que permite formar o exterior da peça (figura 96). A posterior retração, durante a fase verde-seco, permite uma fácil desmoldagem da peça. Assim, e como resultado da natureza rotacional deste processo é apenas permitida a realização de peças com um eixo de simetria radial (Ribeiro, 2021).

4.3.1.5 Prensagem RAM

Este processo consiste na conformação da pasta plástica na forma geométrica pretendida, por via da prensagem hidráulica com recurso a um molde permeável em gesso composto por duas peças (figura 97). Ao contrário da contramoldagem roller neste processo não existe uma rotação, tornando possível a realização de peças que não contenham um eixo de simetria radial (Shackelford & Doremus, 2008).

O primeiro passo a realizar nesta operação é colocar a pasta no molde inferior, sendo que o molde superior irá exercer pressão sobre a pasta, o que assegura que esta assuma o formato dos moldes (figura 98). Em seguida, os tubos em têxtil porosos, presentes no interior dos moldes, injetam ar por forma a desmoldar a peça, primeiro na parte inferior e depois na parte superior do molde. Para facilitar esta desmoldagem é realizado previamente um humedecimento à superfície do molde, que ajuda a limitar a adesão da pasta ao mesmo.

O nível de plasticidade da pasta é essencial neste processo de conformação, pois caso exista um nível excessivo de plasticidade pode ocorrer um empeno na peça, ou uma secagem e acabamento mais difícil. Por outro lado, um nível de plasticidade insuficiente na pasta causa um desgaste mais rápido no molde, que pode levar a uma fissuração mais fácil dos bordos das peças resultantes, bem como numa superfície mais rugosa.

Por forma a atingir uma maior homogeneização da pasta e a remover possíveis bolhas de ar, esta é previamente sujeita a um processo de extrusão. Contudo, a extrusão induz a uma orientação das partículas, o que por vezes leva a empenos devido a diferentes comportamentos durante a secagem da peça conformada (Ribeiro, 2021).

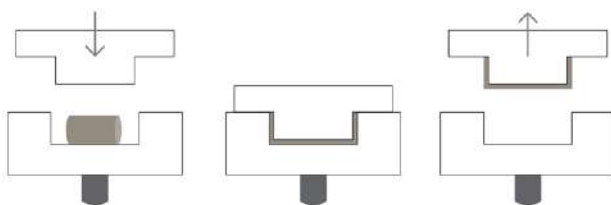


Figura 98 - Esquema representativo da prensagem RAM

Fonte: www.saintgobainformula.com/usages/ram-press



Figura 97 - Prensa RAM

Fonte: www.sharif-ceramics.com/product/gypsum-for-ram-press/

4.3.1.6 Prensagem a seco

Este método de conformação consiste no vazamento de uma massa de pó com um teor de humidade muito reduzida, tipicamente inferior a 5%, no interior de um molde onde são compactados por um punção. Esta ação leva à sua deformação plástica e causa uma fratura das partículas. Assim, a peça fica com a sua aparência quase definitiva e com uma resistência mecânica que permite a realização dos processos seguintes de tratamento da peça.

Ou seja, trata-se de um processo de elevada produtividade pois é bastante automatizado e versátil, permitindo uma grande variedade de formas e tamanhos. Para além disso, ao tratar-se de um processo onde a humidade é muito baixa, não se verifica uma retração significativa da peça durante a sua secagem (Freitas et al., 2009).

4.3.2 Tratamento da pasta modelada

4.3.2.1 Secagem

Após a fase de acabamento, onde são removidas as imperfeições das peças, a peça agora conformada é sujeita ao ambiente natural ou de oficina (figura 99). Nesta fase ocorre uma desidratação que conduz à perda de 90% da água presente na peça, que assim ganha uma maior dureza e fica apta para uma primeira cozedura, também conhecida como chacoagem (Mântua et al., 2007).



Figura 99 - Peças cerâmicas a secar

Fonte: www.ceramicaelobo.com/fabricacion2/

4.3.2.2 Chacotagem

Finalizada a secagem a peça é levada a uma primeira cozedura (figura 100), ainda sem vidrado, sendo sujeita a temperaturas entre 800°C e 900°C. A chacotagem é o segundo momento de transformação física e química do corpo cerâmico após a pasta cerâmica ser conformada, sendo que o primeiro foi a secagem (Mântua et al., 2007).



Figura 100 - Peças cerâmicas chacotadas

Fonte: www.ceramicaelobo.com/fabricacion2/

4.3.2.3 Vidragem

Concluída a fase da chacotagem, ocorre a vidragem das peças, que consiste em cobrir as mesmas num vidrado ou esmalte e que pode ser realizada com base em várias técnicas, desde a imersão à vidragem, à pistola (figura 101 e 102), variando as diferentes técnicas no seu grau de automatização. Nesta fase é quando a peça adquire o seu fator diferenciador sendo no caso da faiança essencial para assegurar a sua impermeabilidade. Seja qual for a técnica de vidragem utilizada, a peça será sujeita a uma segunda cozedura, denominada de cozedura do vidrado (CAE 23412).



Figura 101 - Vidragem à pistola

Fonte: www.homofaber.com/en/experience/spray-glazing-workshop-saint-josse-ten-noode-belgium-hd0yw#



Figura 102 - Vidragem por imersão

Fonte: <https://ceramicartsnetwork.org/daily/article/Quick-Tips-A-Brilliant-Glaze-Dipping-Solution>

4.3.2.4 Cozedura do vidrado

Para assegurar uma boa coesão entre o vidrado e a peça chacotada, e por forma a causar uma fusão entre o vidrado e as tintas da decoração, ocorre uma segunda cozedura (figura 103) a uma temperatura desta vez mais alta (entre 950°C e 1050°C) (Mântua et al., 2007). Por sua vez, o tempo de cozedura pode variar consoante a composição, grau de homogeneização e das características pretendidas para a peça final.

Para realizar esta cozedura é tipicamente utilizado um forno túnel ou um forno intermitente. Os fornos intermitentes consistem em câmaras de alvenaria cerâmica espessa, e são carregados manualmente, sendo o forno aquecido até atingir a temperatura pretendida, que se mantém por um período estabelecido previamente. Já nos fornos túnel as peças são introduzidas em vagonetas cujo caminho está delimitado por trilhos, e movem-se de uma extremidade à outra do mesmo. As peças são sujeitas a um aumento de temperatura gradual até chegarem à zona onde se efetua a combustão e, seguidamente, estas fazem o caminho inverso, desta vez de arrefecimento até saírem do túnel (CAE 23412).



Figura 103 - Peças vidradas e decoradas a serem levadas ao forno

Fonte: www.ceramicaelobo.com/fabricacion2/

4.4 Enquadramento do projeto

O tema deste projeto de estágio lançado pelo Estudioama prendeu-se com a criação de uma coleção de vasos utilizando o Design Generativo, com o intuito desta coleção ser produzida pela Almas Design.

Este tema surgiu pois o Estudioama pretendia explorar e trabalhar com técnicas de Design Generativo, uma vez que este é um tema emergente e com cada vez mais importância no mundo do design. Assim, e tendo reconhecido neste método múltiplas mais valias, esta foi a decisão selecionada.

Neste sentido, foi possível observar que sendo o Design Generativo um método ainda pouco explorado, nomeadamente no que respeita a criação de produto, seria interessante incorporá-lo numa coleção de vasos tirando partido de algumas das capacidades que o Design Generativo consegue oferecer. Para além disso, estes serão produzidos num material que permite a produção de peças com geometrias bastante orgânicas e complexas, a cerâmica.

Deste modo, para atingir este objetivo foi necessário estabelecer conhecimentos no programa (Capítulo 3), que aconteceu de forma auto-didata, tendo a aprendizagem ocorrido através da leitura e pesquisa em livros e do recurso a vídeos disponíveis *online*. Apenas após adquirir estas bases foi possível desenvolver um projeto assente em técnicas de Design Generativo.

O projeto foi em todas as fases acompanhado pelos membros do estúdio que promoveram uma discussão constante sobre o mesmo, e que o encaminharam no caminho certo.

4.5 Brief do projeto

Construído numa fase anterior ao desenvolvimento do projeto, o brief é essencial para estabelecer aspetos importantes a ter em conta durante o decorrer do mesmo, tais como os objetivos, requisitos e o público-alvo.

Produto

Uma coleção de vasos concebidos com base em técnicas de Design Generativo, para apresentar como proposta à Almas Design.

Objetivos

O principal objetivo passa por implementar o Design Generativo na coleção de vasos, com o intuito de obter formas inovadoras que de uma perspetiva de modelação 3D “tradicional” seriam de difícil obtenção, acrescentando assim um fator de inovação à mesma. Com isto concretizado outro objetivo passa por perceber também quais as vantagens da integração do Design Generativo no fluxo-de-trabalho de um designer de produto.

Requisitos

A coleção deve corresponder aos padrões de qualidade impostos na Almas Design, assim como assegurar que a sua morfologia corresponde aos processos de produção utilizados na empresa.

Público

O projeto a desenvolver terá como potenciais clientes todos os indivíduos que procuram peças de decoração inovadoras, e cujo desenho seja diferenciado em relação aos demais.

4.6 Desenvolvimento conceptual

No sentido da criação do algoritmo a utilizar no desenvolvimento do projeto foram utilizados os resultados conseguidos por um dos membros do Estudioama, Pedro Bandeira Maia, na sua tese de doutoramento.

A sua tese - Para um design de interação de inspiração biológica - consistiu no estudo do comportamento dos animais, particularmente no que respeita aos seus rituais de sedução e como estes poderiam servir de inspiração na produção de design. Para isto foi criada uma taxonomia onde constam as características destes rituais, tais como os comportamentos por eles adotados durante o ato de cortejar o parceiro (figura 104). Estes comportamentos foram definidos em 5 categorias: intimidatório, gentil, enganador, materiais ou ritualizado. Na taxonomia constam ainda os tipos de bio agentes, aquáticos, terrestres ou voadores, quem toma a iniciativa no ritual, o macho, a fêmea ou ambos, a duração do ritual, quais os sentidos acionados, e finalmente as ações presentes no ritual, a cortesia, subserviência, gentileza, etc.

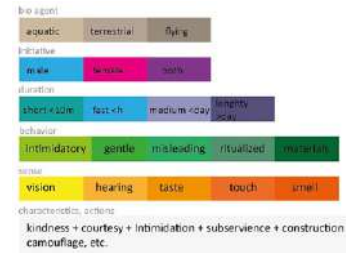


Figura 104 - Taxonomia

Fonte: <https://pedrobandeiramaia.wixsite.com/designbybiobehaviors/copia-bioexperiencesphd>

A taxonomia serviu para classificar os 20 animais (figura 105), sendo que com base nos resultados atingidos procedeu-se à transposição das características de cada um deles para o Grasshopper.



Figura 105 - Animais estudados

Para se conseguir isto os passos foram os seguintes: cada uma das características do animal na taxonomia iria corresponder a uma ação ou geometria no Grasshopper. Por exemplo, foi definido que nas 3 categorias dos bio agentes os animais aquáticos iriam assumir o formato de um triângulo, os terrestres um quadrado e os voadores um hexágono.

No que respeita à categoria da iniciativa foi definido que iria proceder-se à rotação da geometria. Caso esta fosse tomada pelo macho a rotação seria para a esquerda, no caso de a iniciativa ser adotada pela fêmea a rotação aconteceria para a direita. Por sua vez, caso esta fosse tomada por ambas as partes iria ocorrer uma rotação para ambos os lados.

Em relação à duração foram utilizados 4 valores: 9 (nove), 59 (cinquenta e nove), 1439 (mil quatrocentos e trinta e nove) e 1441 (mil quatrocentos e quarenta e um), que correspondem aos minutos para cada categoria. Para os diferentes comportamentos atribuíram-se alterações à geometria que fizessem sentido com a característica em causa, por exemplo, no caso de ser gentil aconteceria um arredondamento dos cantos por forma a suavizar a geometria.

Posto isto, cada característica teria uma ação correspondente, com a exceção dos sentidos utilizados, pois é impossível atribuir um valor ou ação geométrica a algo como o olfato, audição ou paladar. Na tabela seguinte constam as ações tomadas para cada uma das características.




Bio agente				
	Aquático	Terrestre	Voador	
Iniciativa				
	Macho	Fêmea	Ambos	
	Rotação p/ esquerda	Rotação p/ direita	Rotação p/ ambos	
Duração				
	Curto <10 min	Rápido <1h	Médio <1 dia	Longo >1 dia
	9	59	1439	1441
Comportamento				
	Intimidatório	Gentil	Enganador	Ritualizado
	Aumentar a escala	Arredondar os cantos	Remover geometria	Repetição
				Acrescentar geometria

Tabela 1 - Ações para cada característica

4.7 Desenvolvimento projetual

Tendo por base os fundamentos estabelecidos seguiu-se a implementação de cada um dos animais no Grasshopper, de acordo com a sua taxonomia e consequente classificação. Para atingir este objetivo foi criado um algoritmo que possibilitasse colocar as ações pertencentes a cada característica dos animais.

O primeiro passo foi introduzir o componente “Polygon” que permitiu estabelecer a geometria resultante do bio agente (figura 106). Seguidamente, com os componentes “Series” e “Move” foram criadas 60 cópias do polígono original no eixo Z, resultando numa espécie de torre. À geometria obtida aconteceria uma rotação, cuja direção seria dependente do género do animal iniciador do ritual de sedução. Esta rotação estaria diretamente relacionada com o tempo de duração do ritual, pois o valor correspondente à duração entraria no input “Step” do componente “Series”. Por sua vez, o output deste seria introduzido no componente “Rotate” responsável pela rotação.

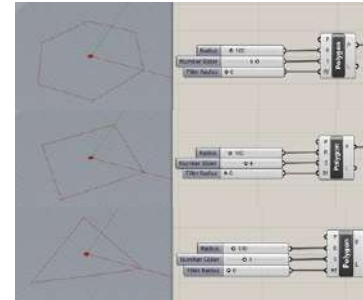


Figura 106 - Definição do bio agente

Segue-se um exemplo prático para uma melhor compreensão do que foi referido. O carangueijo-violinista é um animal aquático em que o macho toma a iniciativa e cuja duração do ritual é inferior a um dia. Pegando nestas 3 variáveis, a geometria resultante é a presente na figura 107.

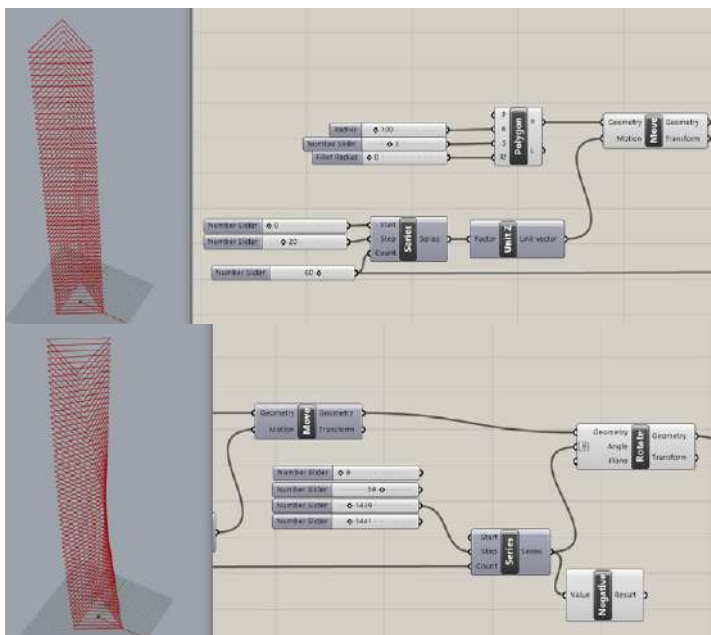


Figura 107 - Introdução das 3 primeiras variáveis

Por fim, no que concerne os comportamentos dos animais e consequentes variáveis o processo foi o seguinte:

Intimidatório - nesta variável recorreu-se a um ponto atrator para aumentar a escala no centro da geometria, algo semelhante ao que foi realizado no capítulo 3.5 (figura 108).

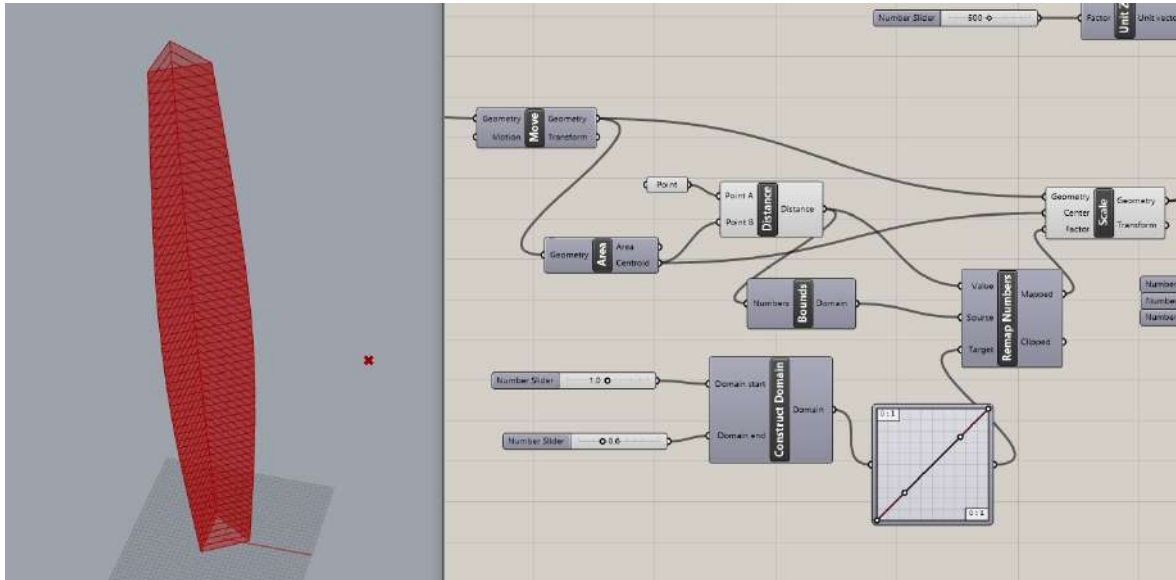


Figura 108 - Definição da variável "intimidatório"

Gentil - Acrescentou-se o valor de 25 no *input* "Fillet Radius" e no componente "Polygon" (figura 109).

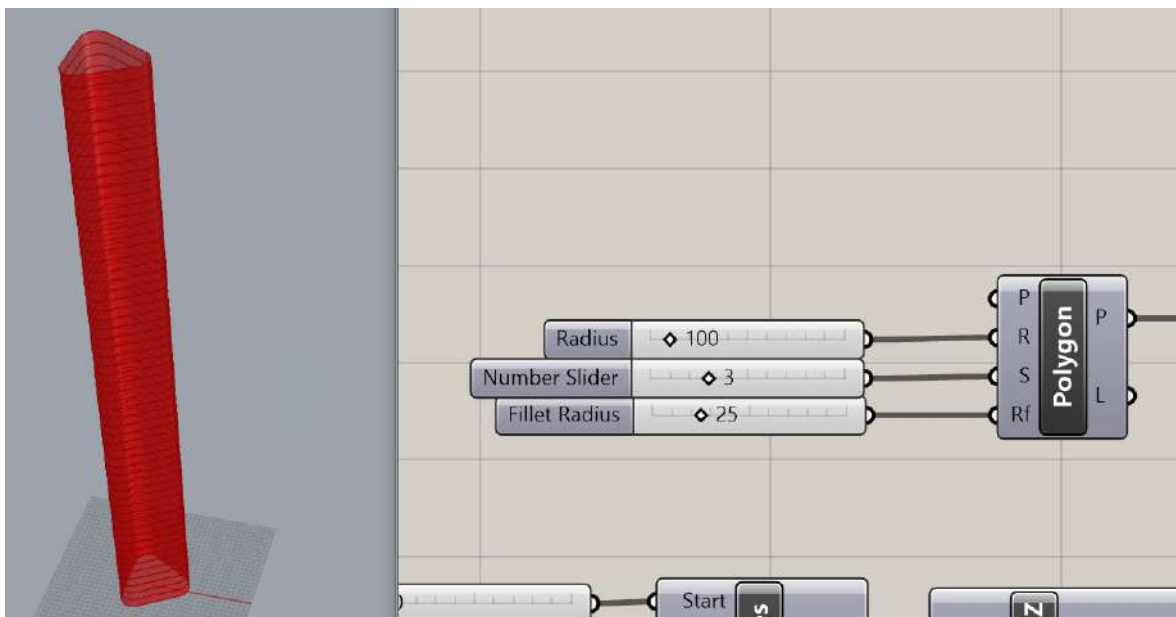


Figura 109 - Definição da variável "gentil"

Enganador - Através dos componentes “Populate 3D”, “Sphere” e “BooleanSplit”, removeu-se material sem comprometer a geometria geral (figura 110).

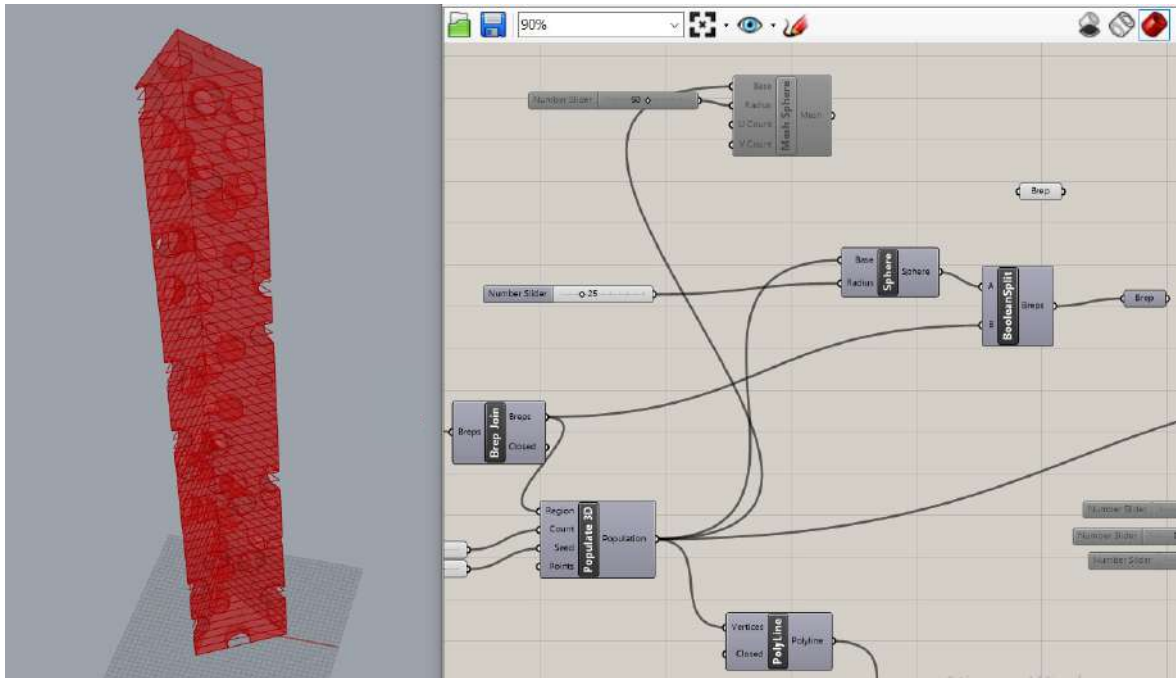


Figura 110 - Definição da variável "enganador"

Ritualizado - Repetiu-se a geometria 3 vezes por via dos componentes “Series”, “Unit X” e “Move” (figura 111).

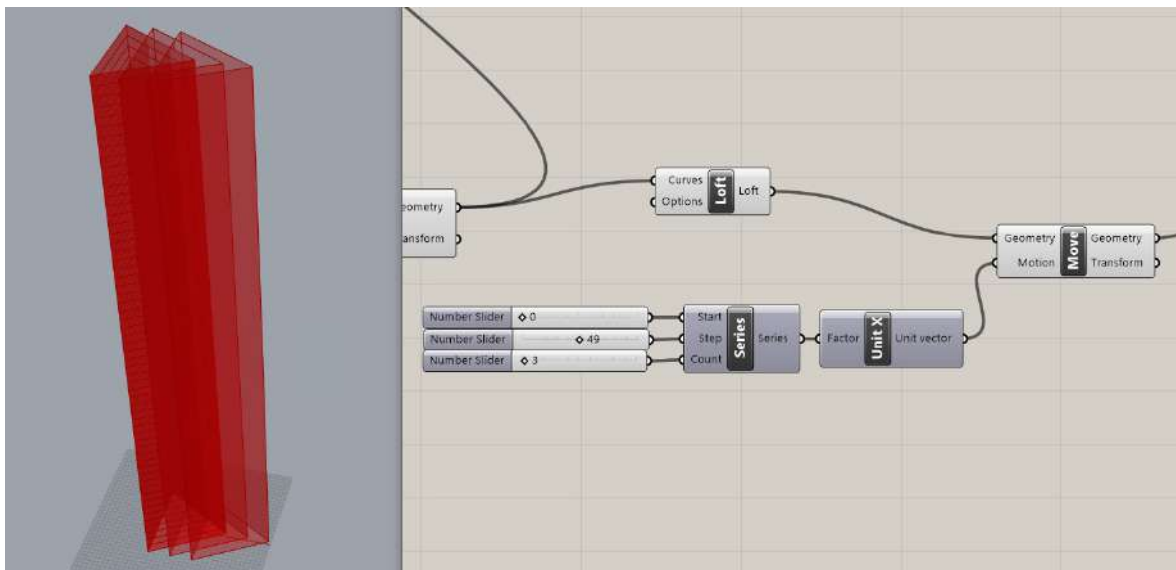


Figura 111 - Definição da variável "ritualizado"

Materiais - Acrescentou-se material com a utilização dos componentes “Populate 3D”, “Polyline” e “Pipe” (fig 112).

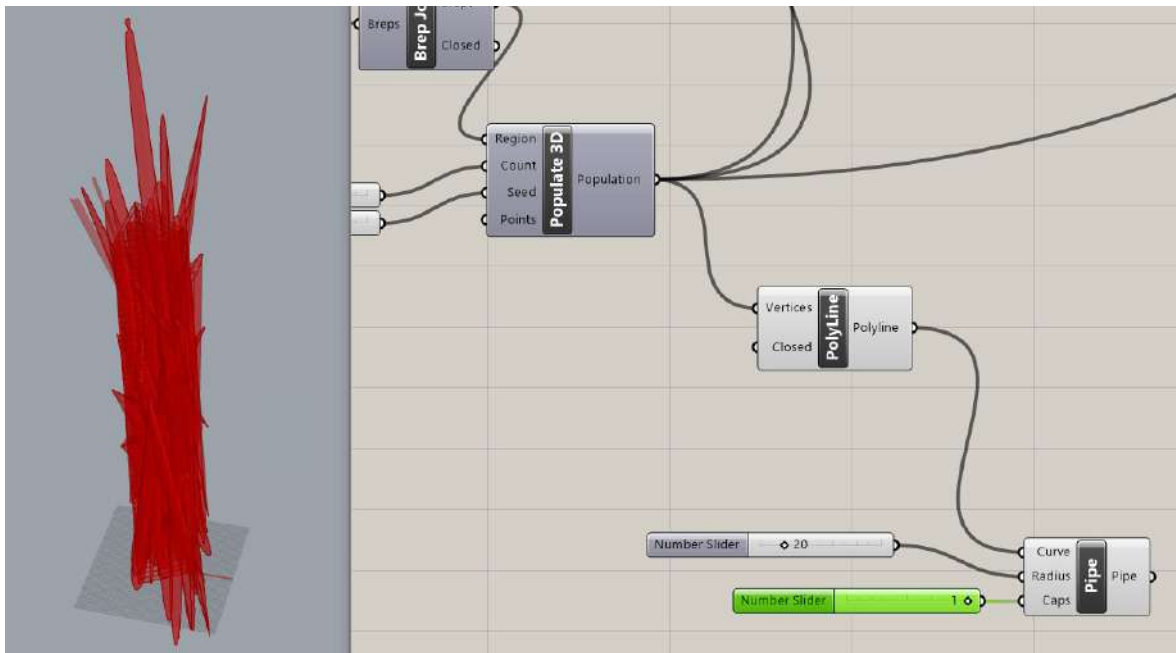


Figura 112 - Definição da variável "materiais"

As figuras 113, 114 e 115 apresentam a definição completa do algoritmo que vai possibilitar a representação dos animais.

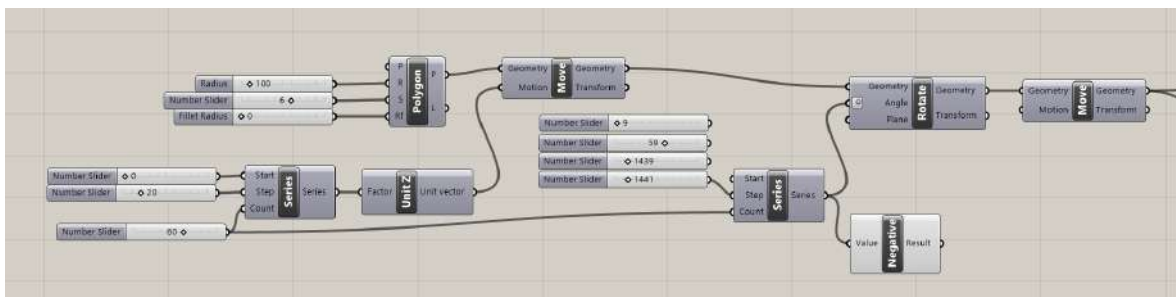


Figura 113 - Parte 1 do algoritmo

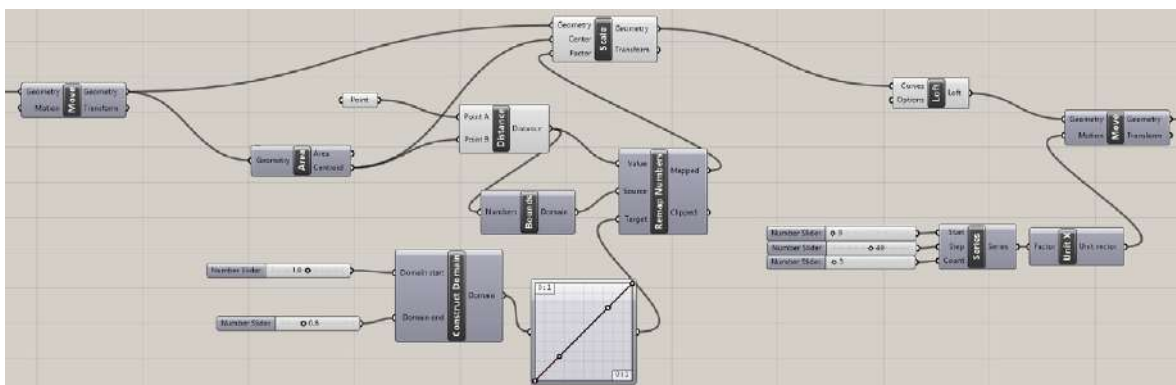


Figura 114 - Parte 2 do algoritmo

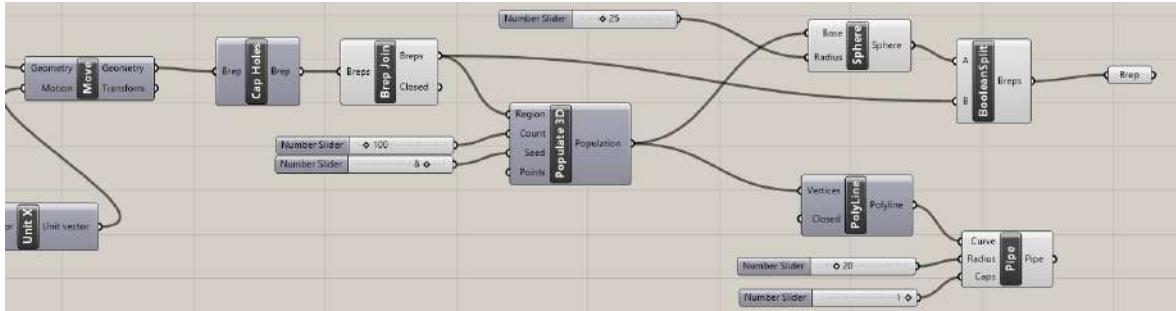


Figura 115 - Parte 3 do algoritmo

As figuras seguintes representam as diferentes geometrias obtidas para cada um dos animais que foram estudados. É possível observar que deste processo originaram resultados bastante diversificados, salvo a rara exceção do camaleão e da aranha-pavão que, por possuírem comportamentos idênticos, resultam em geometrias iguais. Os resultados deste processo seriam utilizados na fase seguinte do projeto, servindo como ponto de partida para a criação dos vasos.

Carangueijo-violinista (*Uca lactea*)

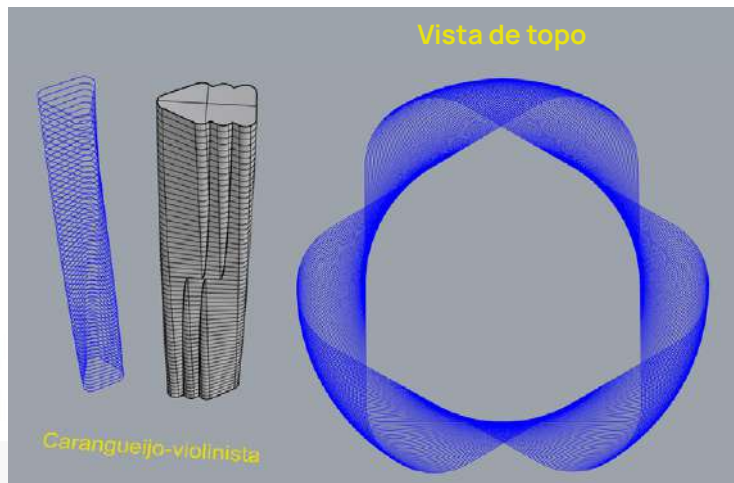


Figura 116 - Resultado obtido da taxonomia do Carangueijo-Violinista

Cavalo-marinho (*Hippocampus zosterae*)

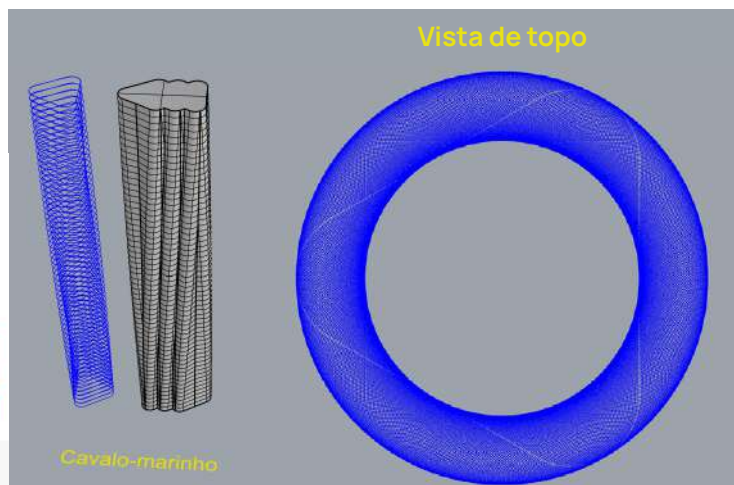
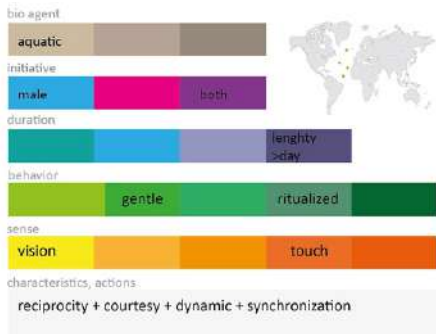


Figura 117 - Resultado obtido da taxonomia do Cavalo-marinho

Peixe-balão
(*Torquigener albomaculosus*)

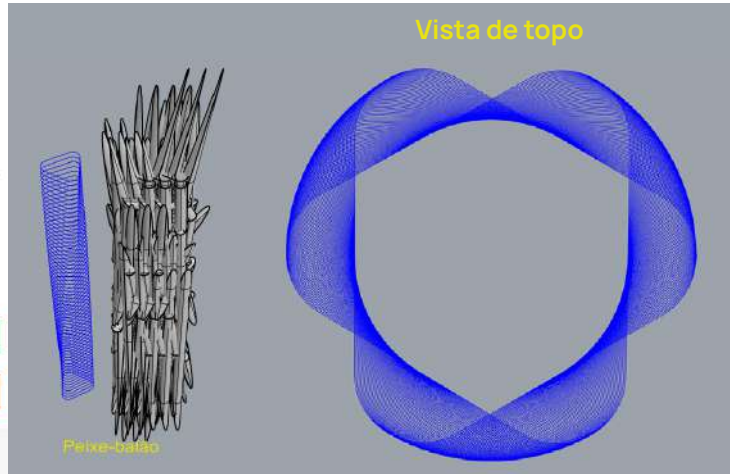
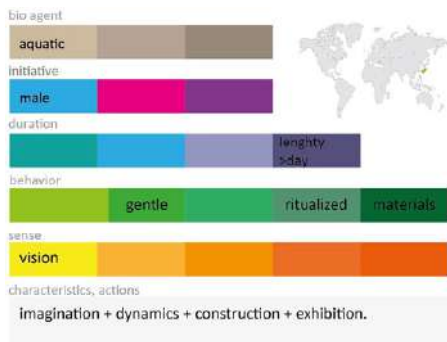


Figura 118 - Resultado obtido da taxonomia do Peixe-balão

Choco
(*Sepia plangon*)

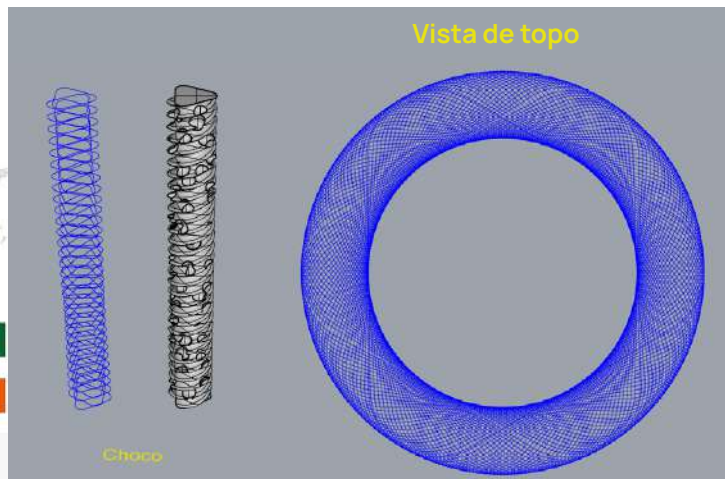


Figura 119 - Resultado obtido da taxonomia do Choco

Tartaruga-verde
(*Chelonia mydas*)

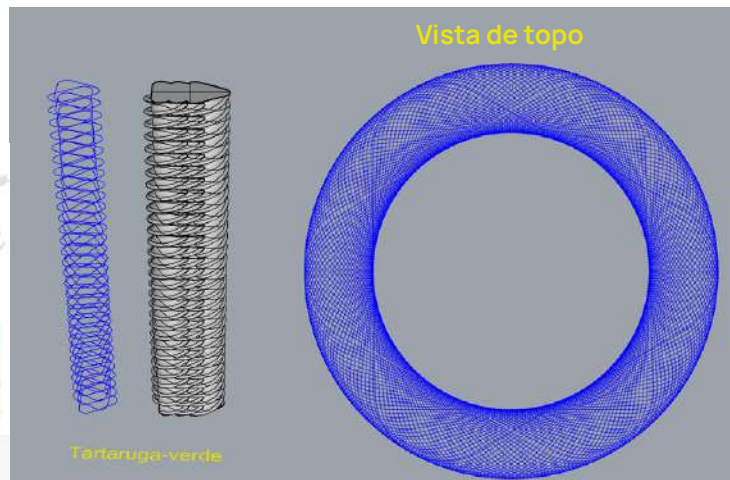
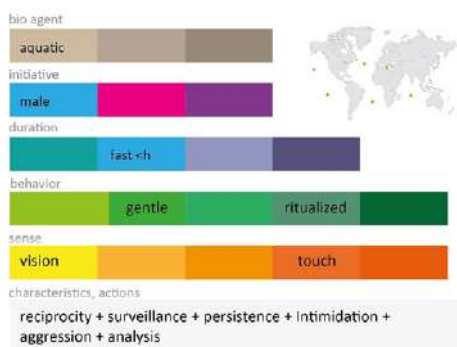


Figura 120 - Resultado obtido da taxonomia da Tartaruga-verde

Aranha-pavão (*Maratus volans*)

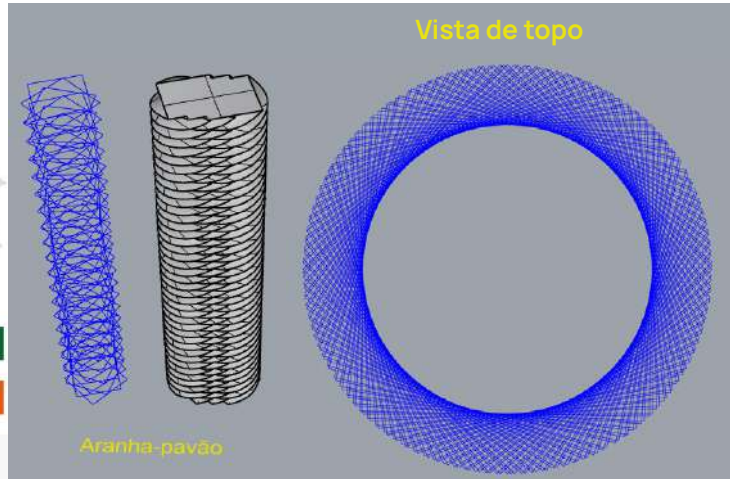
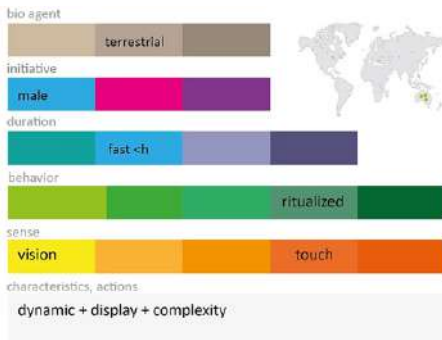


Figura 121 - Resultado obtido da taxonomia da Aranha-pavão

Camaleão (*Chamaeleo chamaeleon*)

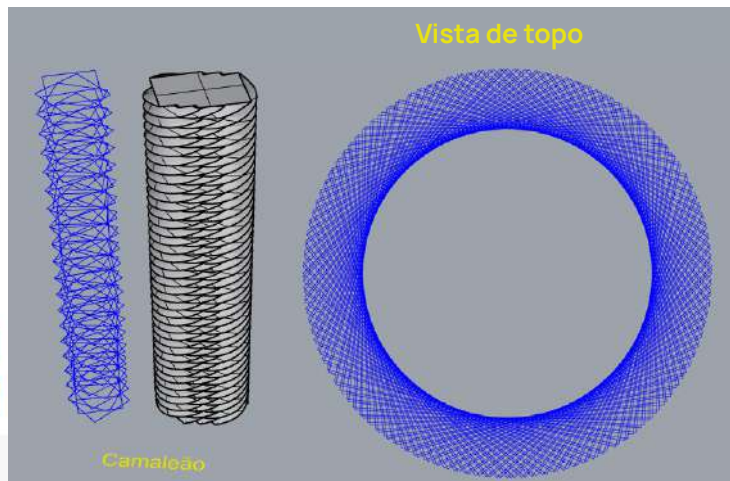
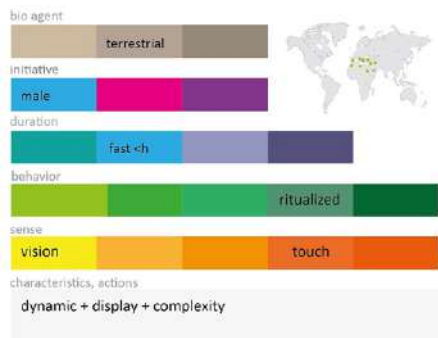


Figura 122 - Resultado obtido da taxonomia do Camaleão

Caracol (*Helix aspersa*)

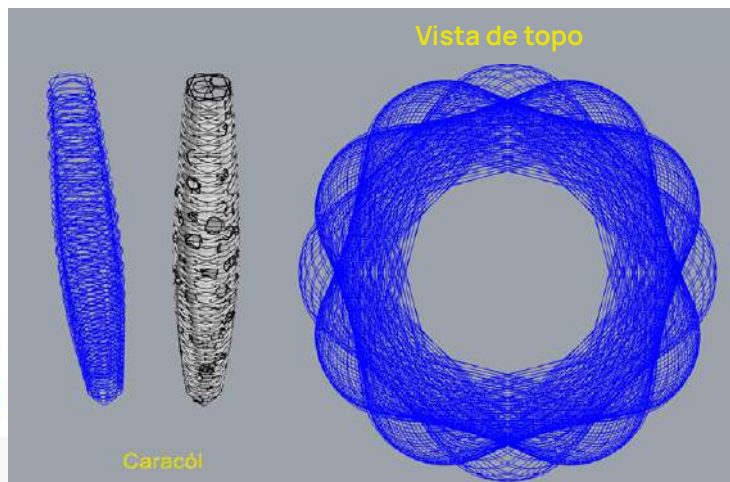
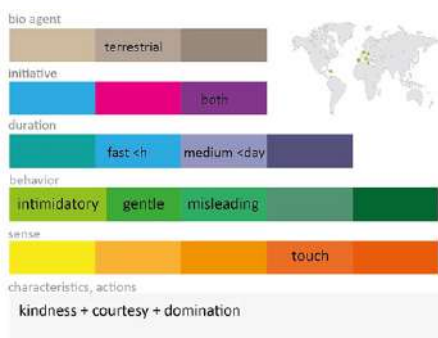


Figura 123 - Resultado obtido da taxonomia do Caracol

Ouriço-terrestre
(*Erinaceus europaeus*)

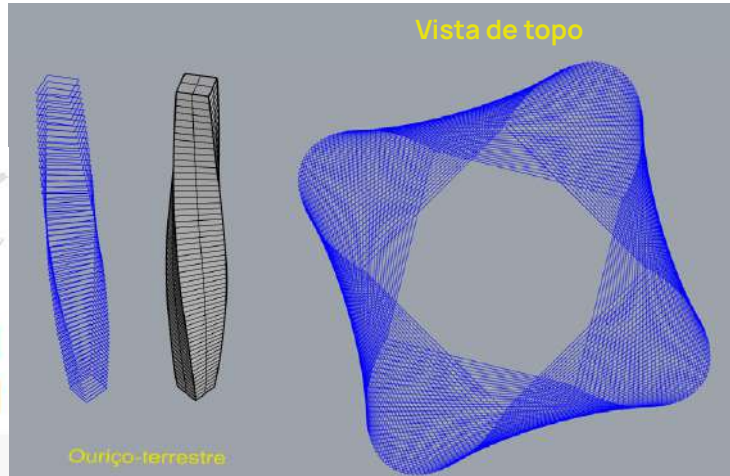
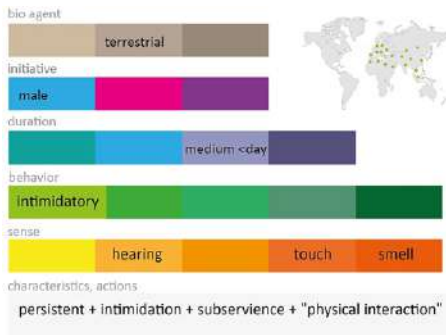


Figura 124 - Resultado obtido da taxonomia do Ouriço-terrestre

Pirilampo
(*Photinus pyralis*)

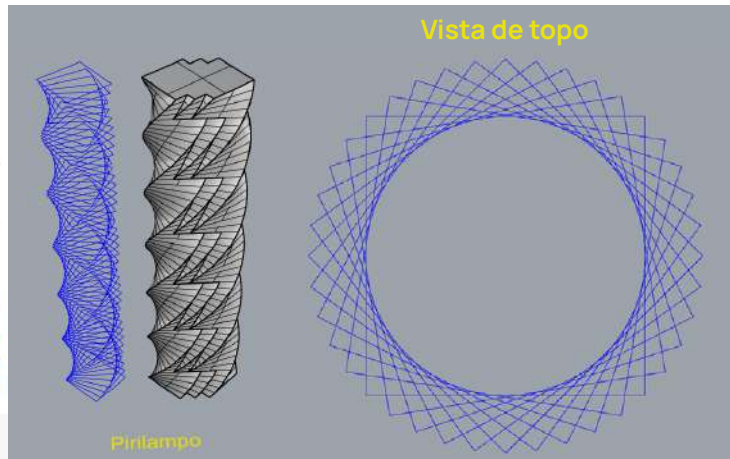
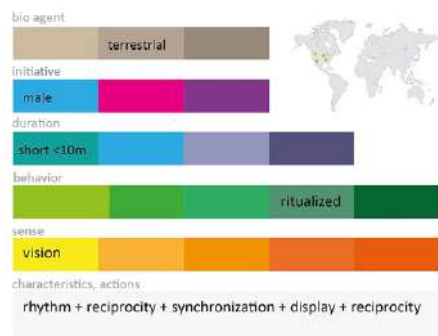


Figura 125 - Resultado obtido da taxonomia do Pirilampo

Ave-lira-soberba
(*Menura novaehollandiae*)

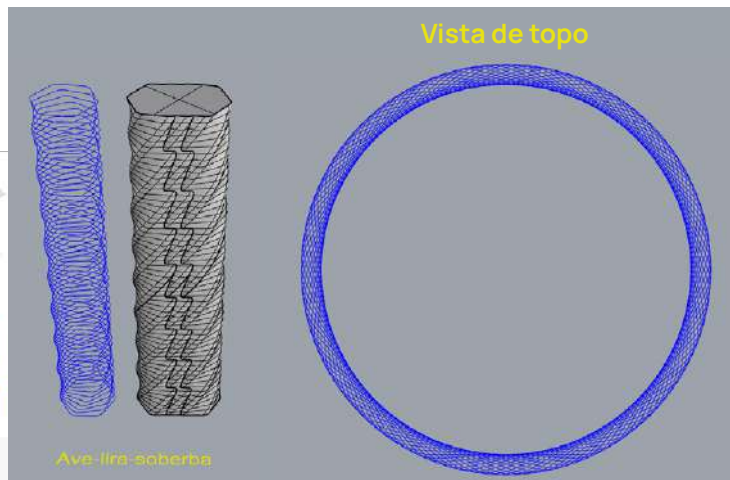
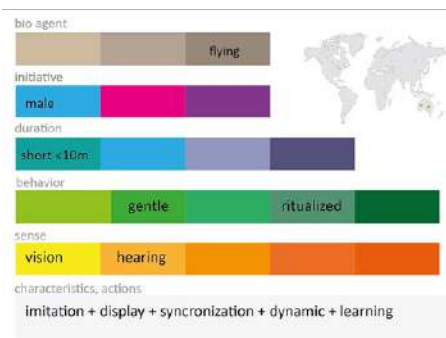


Figura 126 - Resultado obtido da taxonomia da Ave-lira-soberba

Parótia-de-lawes
(*Parotia lawesii*)

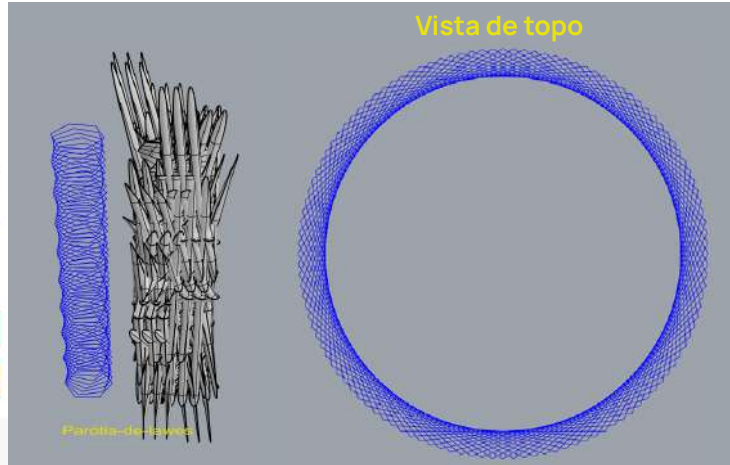
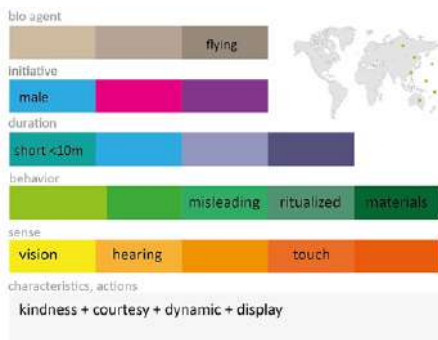


Figura 127 - Resultado obtido da taxonomia da Parótia-de-lawes

Pássaro-jardineiro
(*Ptilonorhynchus violaceus*)

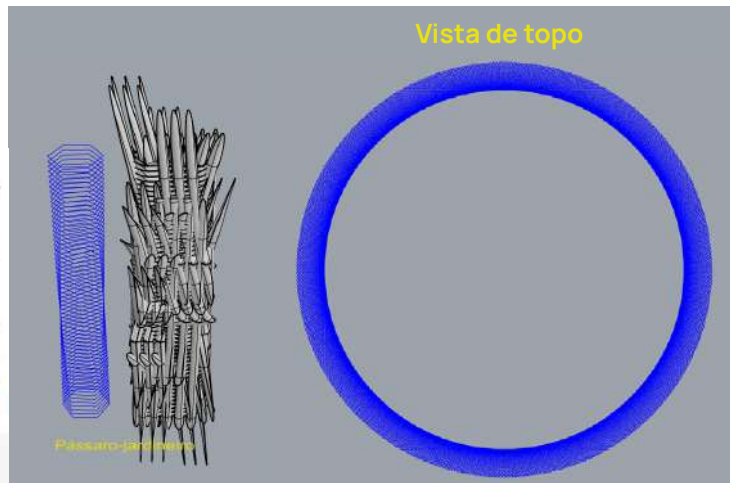
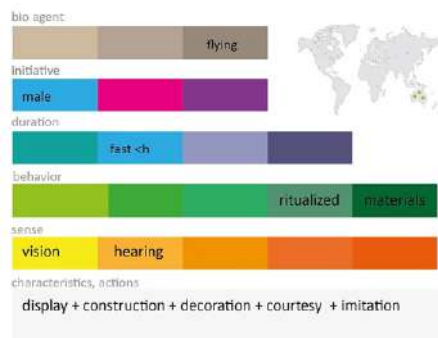


Figura 128 - Resultado obtido da taxonomia do Pássaro-jardineiro

Borboleta-rainha
(*Danaus glippus*)

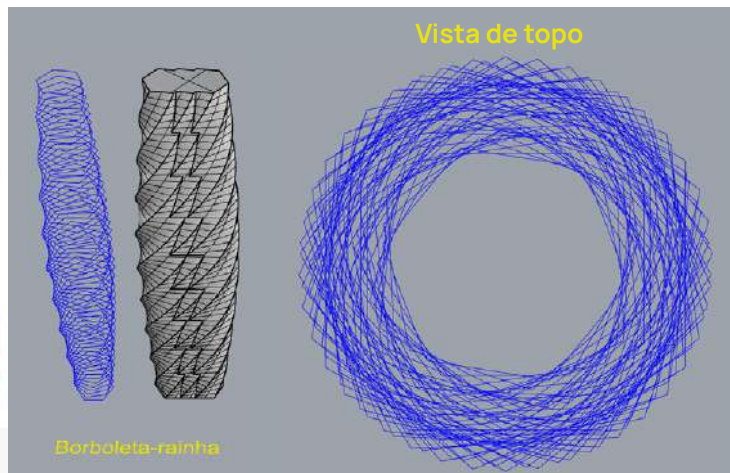
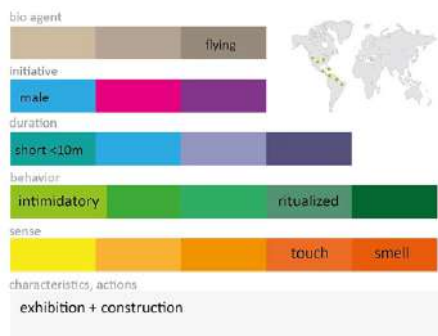


Figura 129 - Resultado obtido da taxonomia da Borboleta-rainha

Cisne-negro (*Cygnus atratus*)

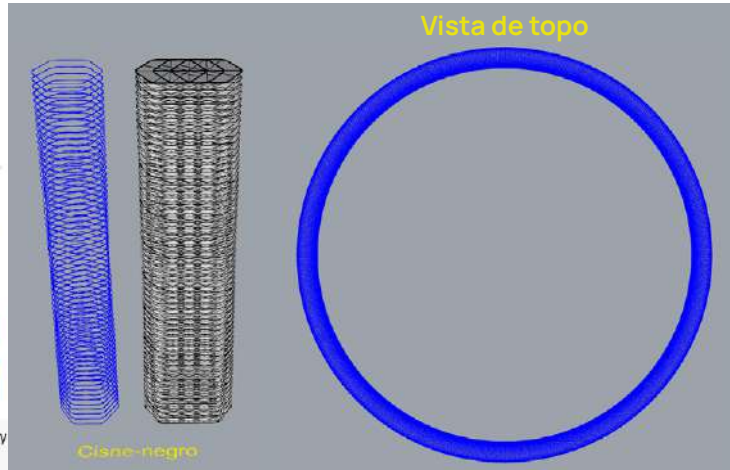
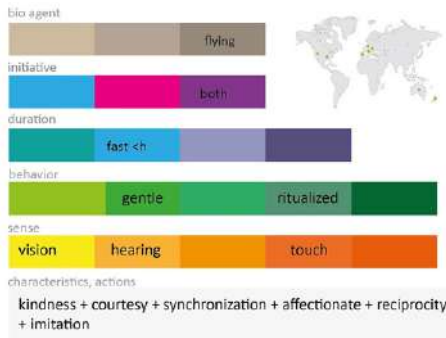


Figura 130 - Resultado obtido da taxonomia do Cisne-negro

Combatente (*Philomachus pugnax*)

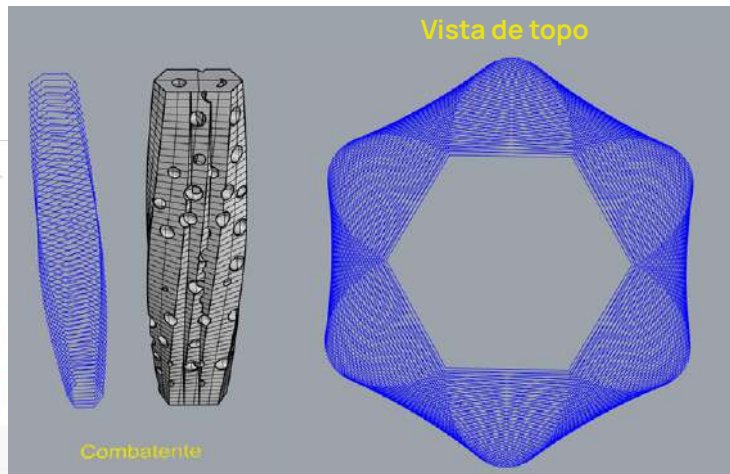
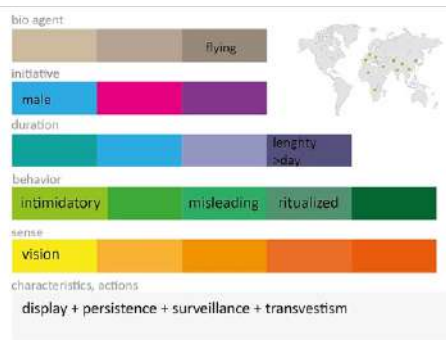


Figura 131 - Resultado obtido da taxonomia do Combatente

Fragata-majestosa (*Fregata magnificens*)

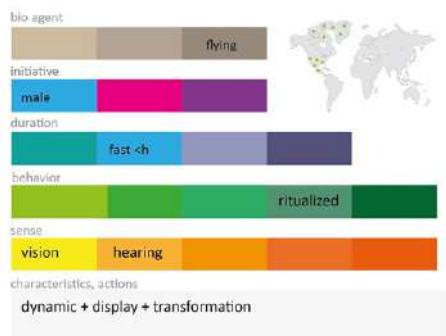


Figura 132 - Resultado obtido da taxonomia da Fragata-majestosa

Grou-japonês (*Grus japonensis*)

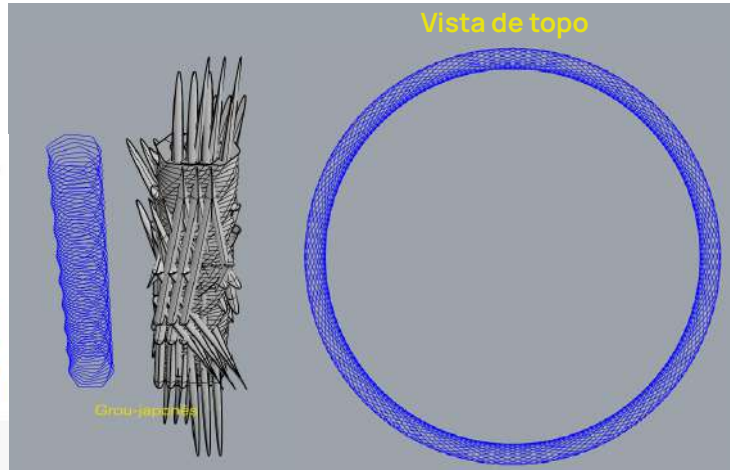
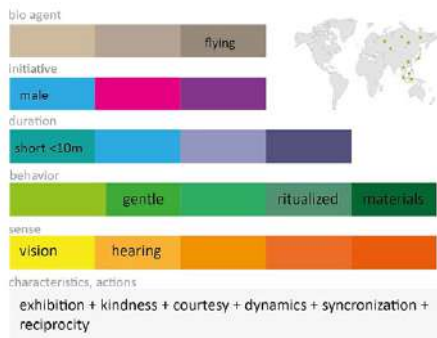


Figura 133 - Resultado obtido da taxonomia do Grou-japonês

Patola-de-pés-azuis (*Sula nebouxii*)

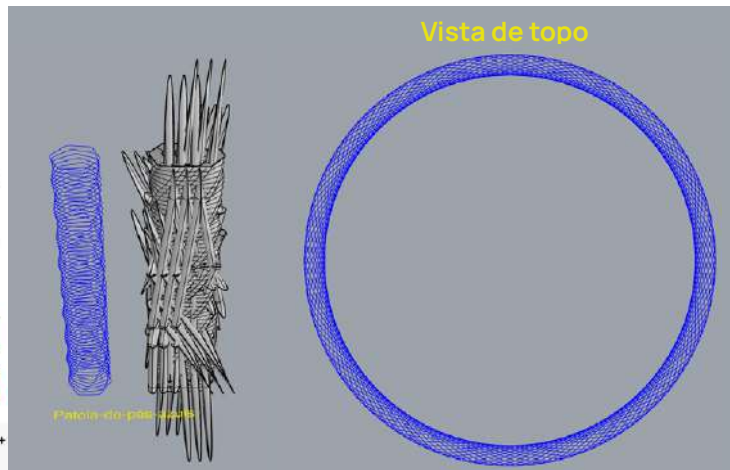
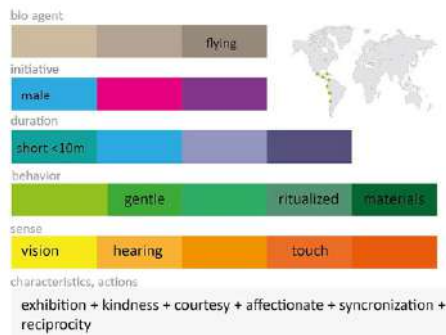


Figura 134 - Resultado obtido da taxonomia da Patola-de-pés-azuis

Pavão-azul (*Pavo cristatus*)

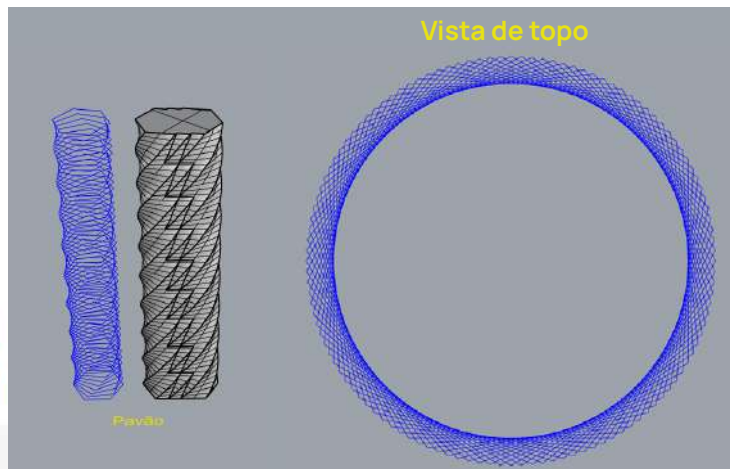


Figura 135 - Resultado obtido da taxonomia do Pavão-azul

4.8 Proposta final

Segundo Fischer & Herr (2001) numa metodologia de Design Generativo o designer não interage diretamente com a forma, mas sim por via de um sistema generativo. Um sistema generativo está assente num conjunto de definições abstratas capazes de produzir objetos ou elementos de objetos.

O sistema utilizado para representar graficamente os diferentes animais gerou resultados imprevisíveis, isto apesar das variáveis terem sido previamente definidas, o que é próprio de um sistema generativo. Por exemplo, no caso da otimização de topologia referida no capítulo 2.4, o designer impõe os parâmetros que determinado objeto deve obedecer e o programa gera resultados inesperados visualmente mas que cumprem os parâmetros estabelecidos, havendo assim similitudes entre esse processo e o utilizado neste projeto.

O resultado obtido da representação do caracol foi o primeiro a ser utilizado. Como é possível observar na figura seguinte existiu uma constante evolução e transformação do modelo que havia sido gerado. Inicialmente ocorreu uma simplificação da geometria, e de seguida um ajuste às suas proporções por forma a obter uma geometria mais adequada. O próximo passo prendeu-se com a remoção de parte da geometria, obtendo uma abertura e, neste sentido, algo que mais se assemelha a um vaso (figura 136).

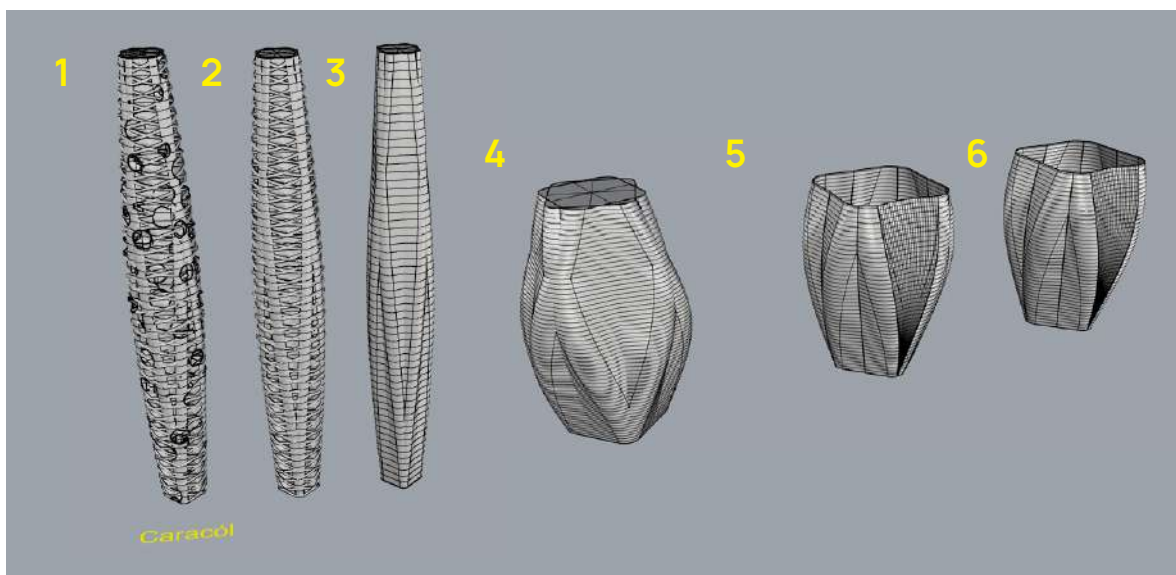


Figura 136 - Processo inicial da construção do vaso

A partir da referida fase o processo foi mais iterativo, tendo sido geradas diversas alterações e evoluções do modelo onde se obtiveram resultados cada vez mais adequados ao objetivo. Experimentaram-se diferentes tipos de superfícies, e foram conseguidas algumas soluções com ligeiras diferenças entre si. Contudo, é perceptível a evolução que foi sendo efetuada (figura 137), e mais importante é possível perceber de forma objetiva que a geometria com a qual se tinha iniciado teve impacto nos resultados obtidos.

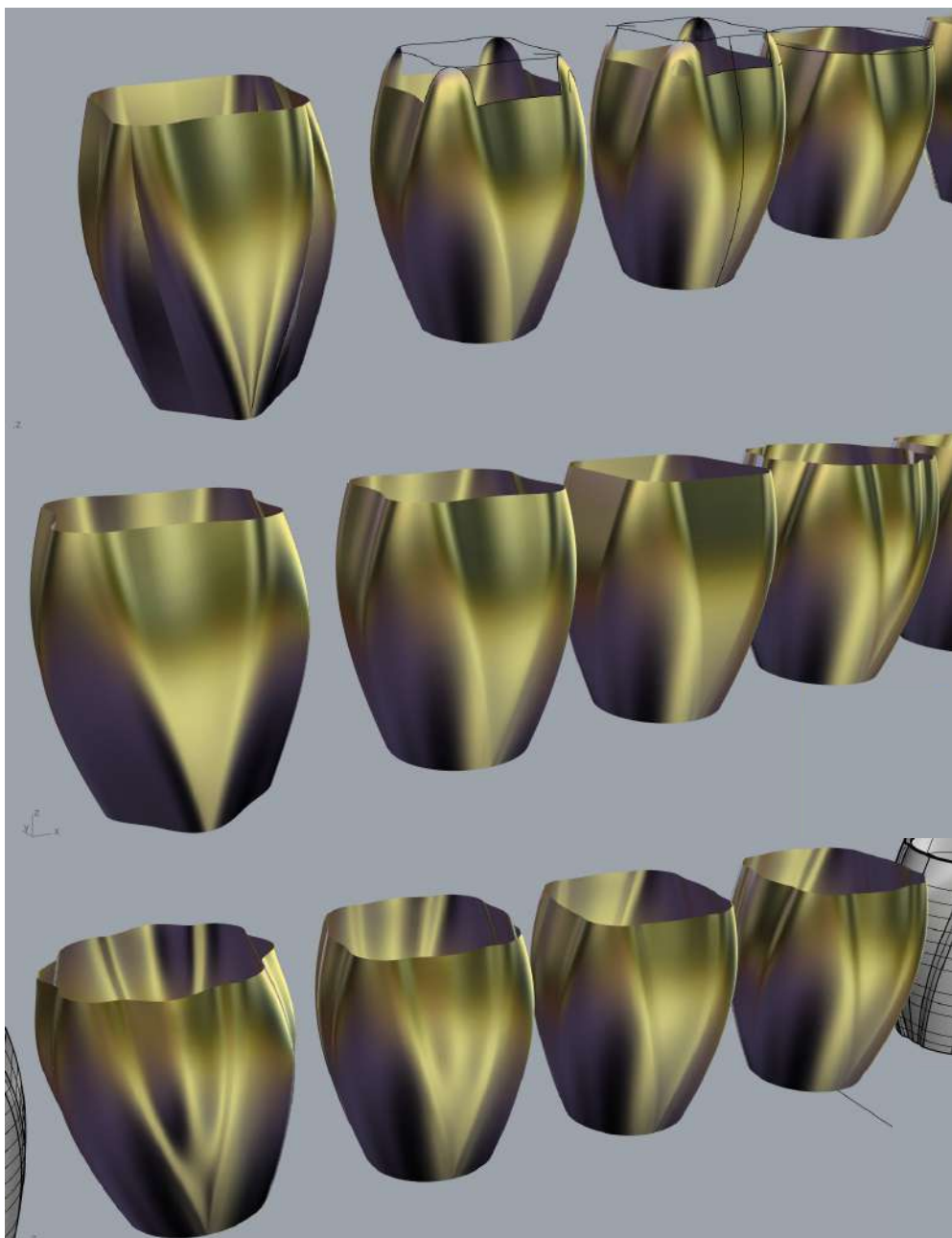


Figura 137 - Evolução da forma

Após esta exploração atribuiu-se uma espessura às formas mais interessantes, e continuou-se a explorar e a melhorar as mesmas - figura 138.

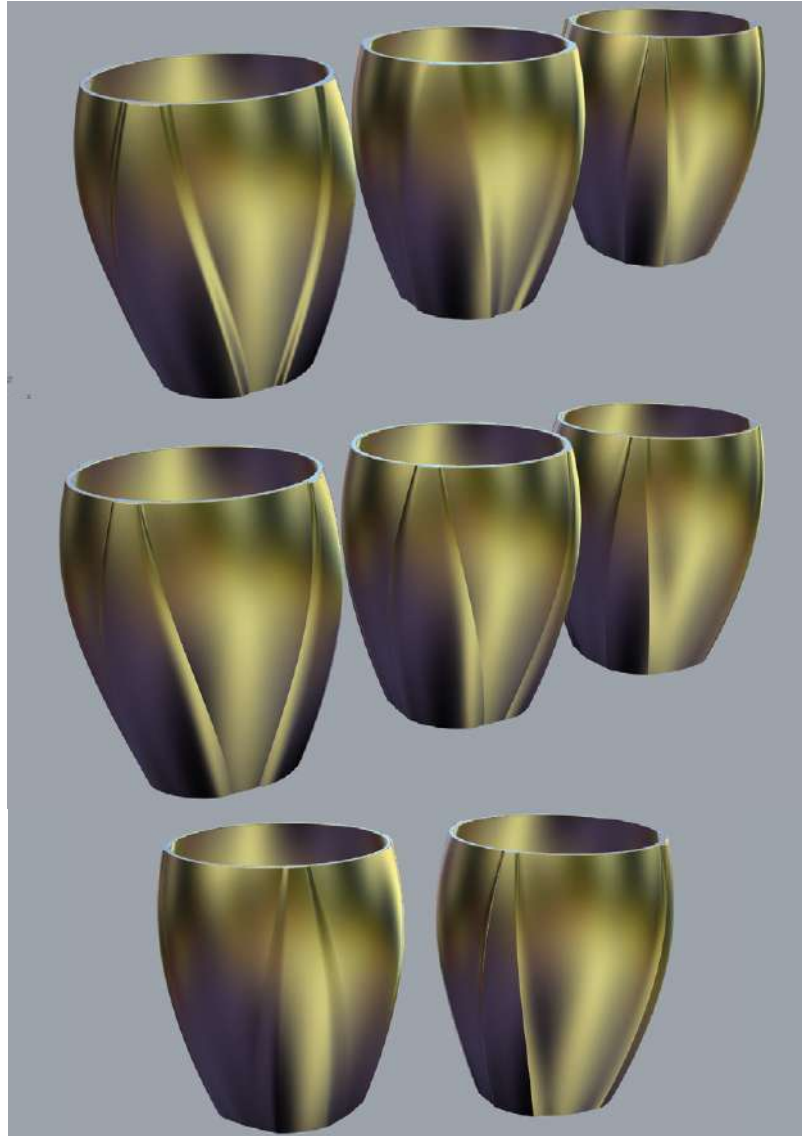


Figura 138 - Evolução da forma

Dos vasos obtidos foi efetuada uma seleção dos 3 vasos mais interessantes para figurar na coleção final. Foram depois realizados *renders* destes 3 vasos, em contexto e em estúdio, para uma melhor visualização (figura 139 a 144). Tentou-se aproximar ao máximo com o tipo de acabamento utilizado na Almas Design, por forma a maximizar o seu realismo.



Figura 139 - *Render* do vaso Caracol I



Figura 140 - *Render* em contexto do vaso



Figura 141 - Render do vaso Caracol II



Figura 142 - Render em contexto do vaso

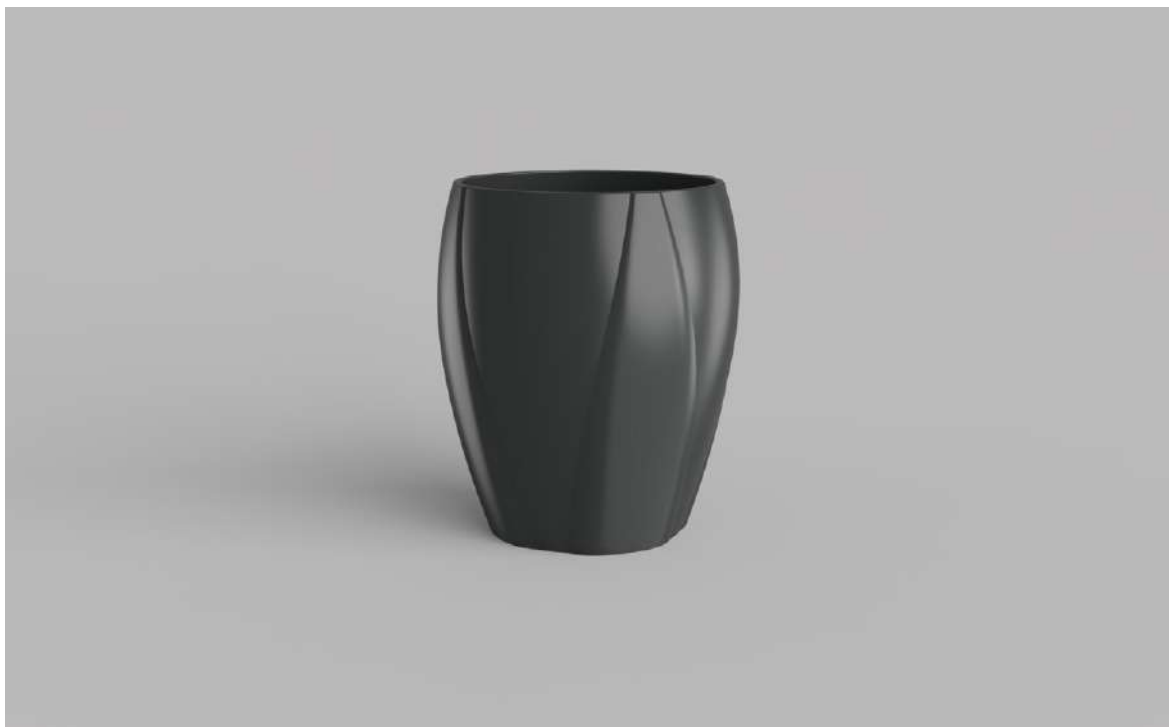


Figura 143 - *Render* do vaso Caracol III



Figura 144 - *Render* em contexto do vaso

Foi utilizado o mesmo processo na criação da seguinte coleção de vasos, tendo-se pegado na geometria obtida do processo anterior, neste caso a forma resultante do Carangueijo-violinista. Inicialmente, removeu-se a repetição da forma ficando apenas com uma "torre", e em seguida efetuou-se um ajuste à escala, mais uma vez para atingir dimensões mais indicadas para um vaso. Com isto feito executaram-se diversas cópias da forma obtida e efetuou-se uma rotação de 10 graus a cada uma delas, tendo em seguida sido removidas as superfícies intercecionantes, sobrando apenas as exteriores (figura 145).

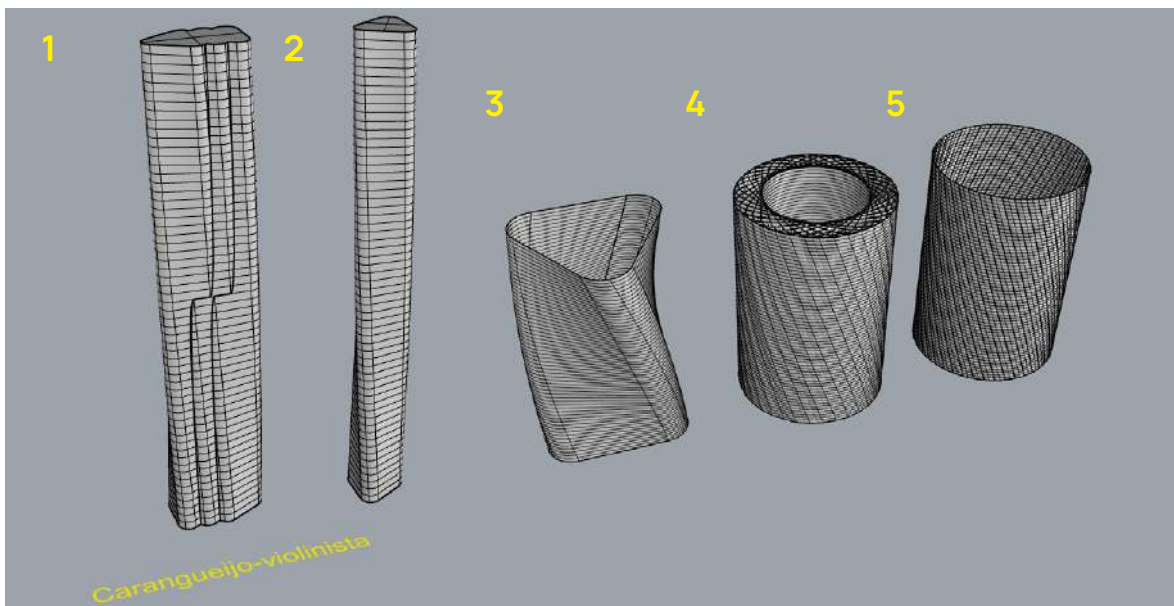


Figura 145 - Evolução do modelo gerado a partir da taxonomia do Carangueijo-violinista

Mais uma vez, seguiu-se um processo iterativo onde ocorreram experiências e evoluções na forma até obter os resultados desejados. Na figuras seguintes é possível perceber os vários estágios pelos quais a forma passou.

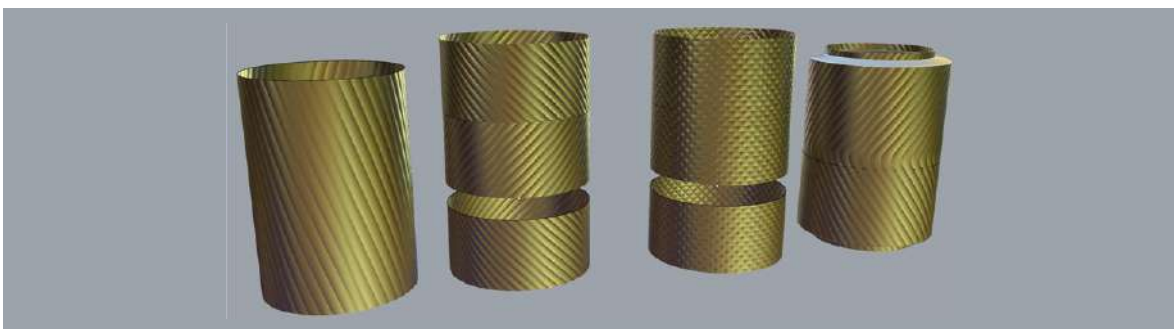


Figura 146 - Evolução do modelo gerado a partir da taxonomia do Carangueijo-violinista

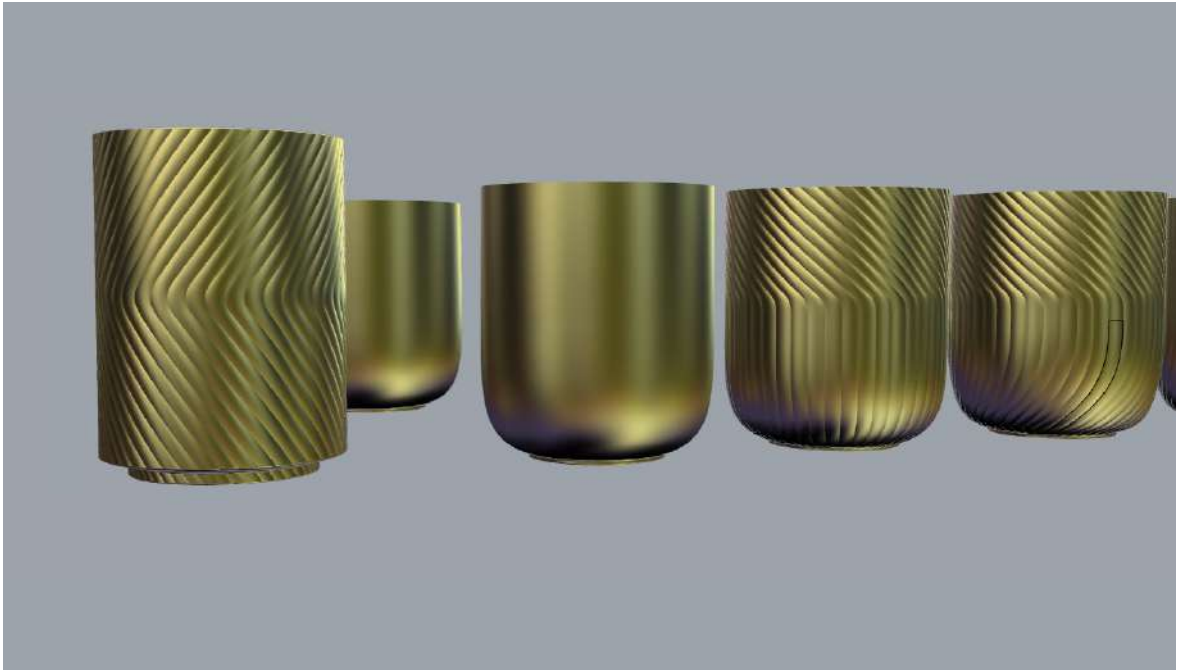


Figura 147 - Evolução do modelo gerado a partir da taxonomia do Carangueijo-violinista

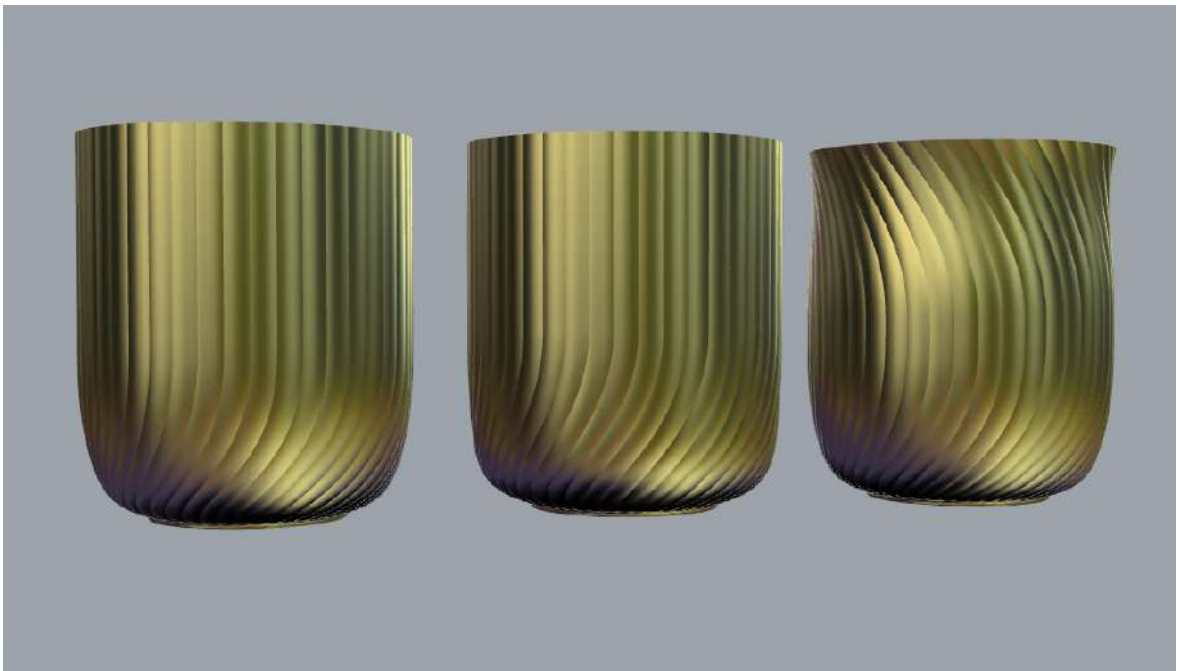


Figura 148 - Evolução do modelo gerado a partir da taxonomia do Carangueijo-violinista

Deste processo resultaram 2 vasos para integrarem a nova coleção, e a partir dos quais foram realizados *renders* (figura 149 a 152).



Figura 149 - *Render* do vaso Carangueijo-violinista I



Figura 150 - *Render* do vaso em contexto



Figura 151 - *Render* do vaso Carangueijo-violinista II



Figura 152 - *Render* do vaso em contexto

Por fim, tirou-se ainda partido da geometria proveniente do Ouriço-terrestre para a criação de um ou mais vasos para figurarem a última coleção. Também neste caso o processo adotado foi muito idêntico ao que já fora demonstrado anteriormente. Mais uma vez a forma foi sendo sucessivamente trabalhada até se terem atingido os resultados pretendidos. Primeiramente, copiou-se a forma e aplicou-se uma rotação de 45° a esta. Após este passo ocorreu também um ajuste à dimensão geral da forma uma vez que a Almas Design produz vasos com dimensões entre $7 \times 6,5\text{cm}$ até $24 \times 24,5\text{cm}$, pelo que havia a necessidade de cumprir este constrangimento. Em seguida, efetuou-se um arredondamento das arestas e o modelo foi evoluindo, mas no decorrer do processo a geometria que tinha sido obtida tomou outra direção. É possível observar este processo na figura seguinte.

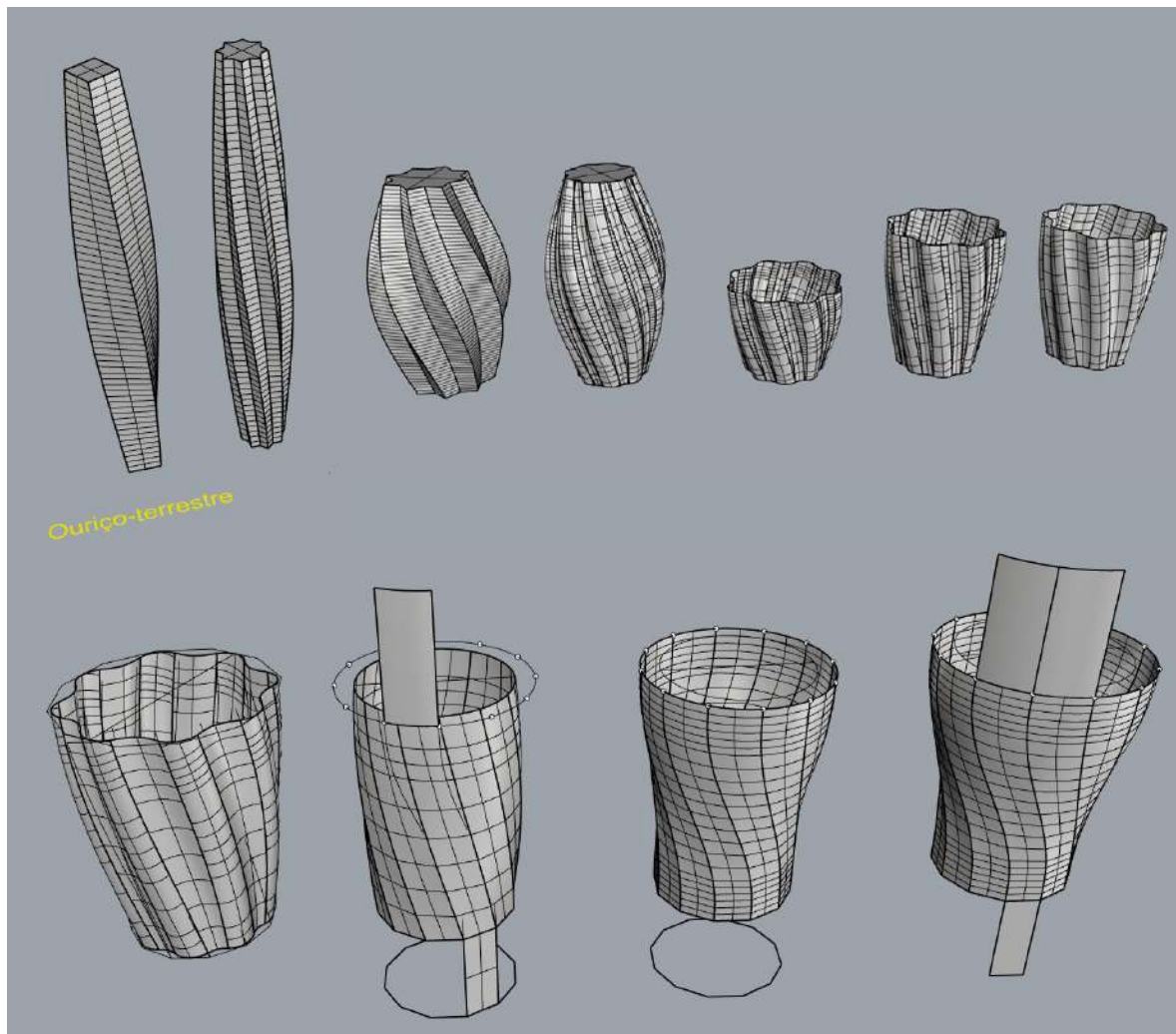


Figura 153 - Transformação do modelo gerado através da taxonomia do Ouriço-terrestre

Deste método foram gerados dois vasos (figura 154) com um princípio semelhante entre si, mas com uma aparência que se desviou bastante do ponto de partida. Ainda assim, importante referir que apesar desta evolução a geometria inicial foi fundamental para disparar o processo criativo. Isto prova que a metodologia adotada neste projeto foi adequada, uma vez que o objetivo passava por perceber as vantagens do Design Generativo no fluxo de trabalho de um designer de produto.

Destes vasos foram também realizados *renders*, em estúdio e em contexto (figuras 155 a 159).

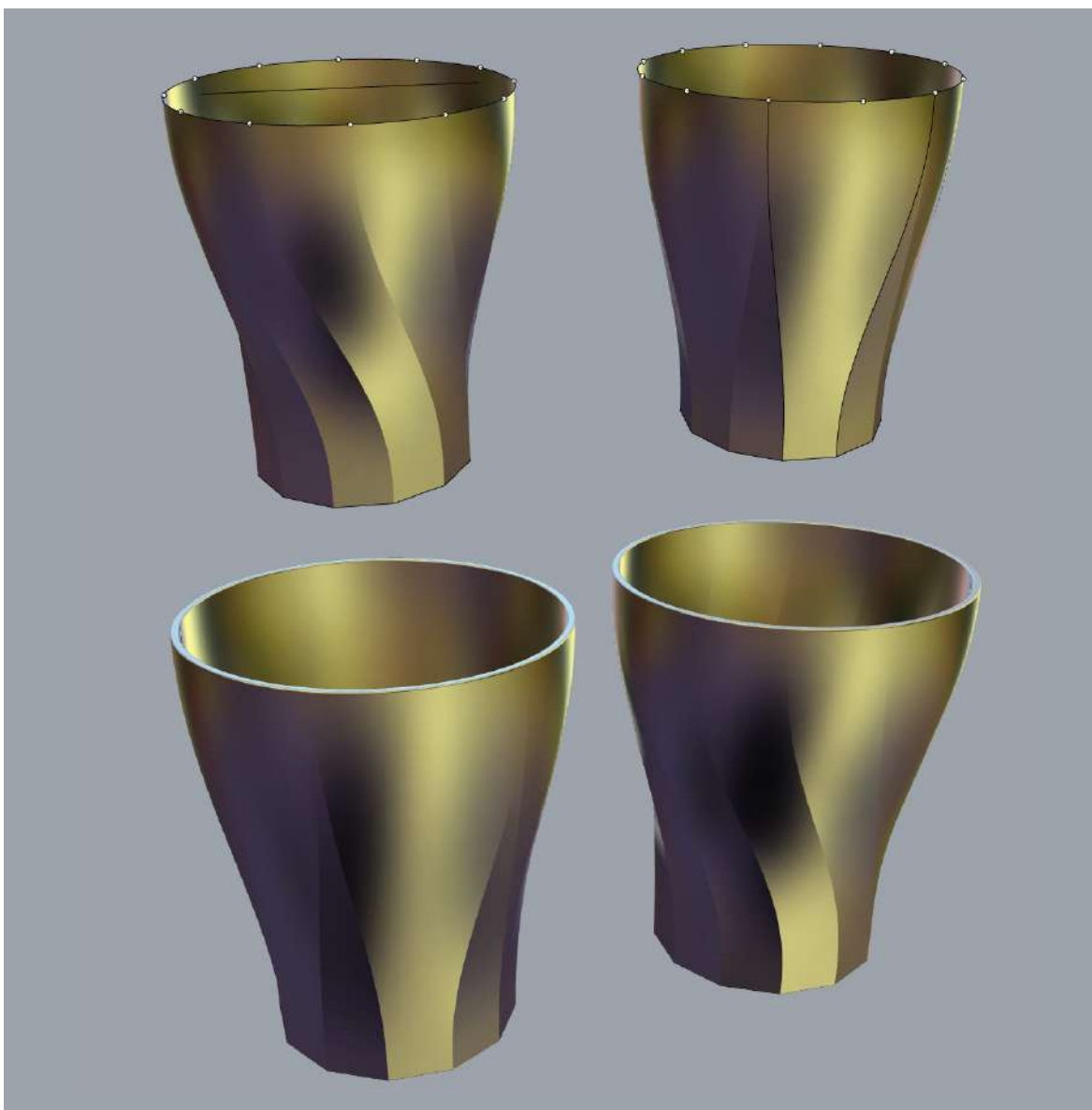


Figura 154 - Vasos Ouriço-terrestre I e II



Figura 155 - *Render* do vaso Ouriço-terrestre I



Figura 156 - *Render* em contexto do vaso



Figura 157 - *Render* do vaso Ouriço-terrestre II



Figura 158 - *Render* em contexto do vaso



Figura 159 - *Render* dos diversos vasos

4.9 Prototipagem

Segundo Warfel (2009) um protótipo permite experienciar o design e assim reduzir a possibilidade de uma má interpretação do objeto, o que por sua vez leva a uma poupança de tempo, recursos, esforço e dinheiro.

Neste sentido, para realizar uma melhor avaliação e perceção das formas procedeu-se a uma maquetização física dos vasos desenvolvidos. Para este efeito foi eleito o processo de impressão 3D (FDM), sendo este capaz de produzir geometrias complexas com um elevado grau de fidelidade num curto espaço de tempo, o que torna este tipo de prototipagem rápida num dos mais utilizados em diversas indústrias.

Este processo consiste na extrusão de um material, normalmente um termoplástico derretido por via de uma extrusora, que deposita o material em camadas num caminho predefinido que ao arrefecer solidifica e assume a geometria pretendida (Redwood et al., 2017).

O processo inicia-se com a exportação do ficheiro 3D num formato STL, para de seguida ser feito o *slicing* num programa indicado para este efeito. Neste caso foi utilizado o QIDI print (figura 160), sendo este pertencente à marca da impressora QIDI utilizada na concretização dos protótipos. Dentro do QIDI print é possível uma multitude de ajustes no que respeita à otimização da impressão, seja a nível da espessura das camadas como a nível do preenchimento das mesmas. Como esta foi a primeira experiência a trabalhar com impressão 3D de forma independente, optou-se por não alterar os valores predefinidos, com o intuito de obter resultados consistentes entre as várias peças. Após o programa executar o *slice* à geometria foi exportado um ficheiro em formato gcode, a partir do qual a impressora executou a impressão.

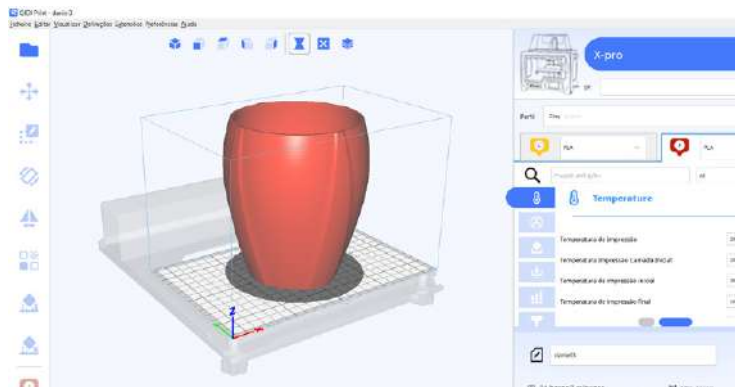


Figura 160 - Captura de ecrã do QIDI print

Os protótipos que foram realizados possuíam todos 112mm de altura, isto para de alguma forma uniformizar os resultados. Os protótipos obtidos foram na sua globalidade bem conseguidos tendo mantido as características do modelo CAD. Apenas nos vasos carangueijo-violinista I e II houve uma maior evidência das lacunas desta tecnologia, uma vez que, e possivelmente devido à curvatura acentuada presente nos vasos, existiu alguma dificuldade em conseguir uma geometria perfeita nas camadas iniciais, como se pode verificar na figura 161. Contudo, após estas camadas iniciais menos perfeitas, a impressora conseguiu reproduzir com boa qualidade a textura da superfície dos vasos. É importante também referir que no vaso carangueijo-violinista II a geometria teve de ser dividida em duas partes para que o programa conseguisse efetuar o *slice*.



Figura 161 - Irregularidade das camadas iniciais no vaso

Nas figuras seguintes encontram-se os resultados obtidos da prototipagem dos diferentes vasos, por coleção.



Figura 162 - Protótipos realizados

Considerações finais

Como referido na parte inicial deste documento, a escolha em realizar este estágio baseou-se no interesse em cimentar conhecimentos existentes, e adquirir novos métodos de trabalho com designers experientes já estabelecidos no campo do design.

Dito isto, foi proposta a possibilidade de explorar a temática do Design Generativo, o que permitia de forma concreta aprender uma nova metodologia para a produção de design.

Por via do estudo referente ao Design Computacional e as suas diferentes ramificações, foi possível perceber o que define cada uma delas e identificar exemplos da utilização de cada um dos tipos de Design Computacional na criação de produtos. Foi ainda possível analisar vários projetos em cerâmica, em que foram utilizados processos generativos por parte dos autores para a sua criação.

A aprendizagem do programa Grasshopper foi essencial para concretizar um projeto assente em técnicas de Design Generativo. O processo consistiu em aumentar, de forma gradual, a complexidade das formas e dos algoritmos gerados até obter um nível de conhecimento suficiente para a elaboração do projeto.

O projeto teve como ponto de partida os dados resultantes do estudo dos rituais de acasalamento de 20 animais. Estes dados serviram de constrangimentos para um processo generativo de criação de geometria.

A prototipagem por via da impressão 3D foi essencial para transpor o desenho CAD de uma forma fidedigna num formato físico. Isto foi importante uma vez que a prototipagem virtual, nomeadamente a renderização, é algo limitada no que respeita à perceção da escala real da geometria.

A proposta final originou das geometrias resultantes do processo generativo que serviu como um desbloqueador do processo criativo, particularmente na exploração de forma. Isto revelou-se como sendo um dos grandes benefícios da implementação do Design Generativo no fluxo-de-trabalho de um designer, uma vez que na concepção de um produto muitas vezes este se depara com um bloqueio criativo onde está sem inspiração. Desta forma, e como ficou claro através do presente trabalho, através de simples processos generativos é possível criar uma série de resultados que podem acender o processo criativo. Outro benefício do Design Generativo é a sua capacidade de lidar com muita informação e a possibilidade de facilmente a alterar de forma rápida. Um exemplo concreto disto foi que, aquando da criação das geometrias baseadas na taxonomia dos animais, foi criado apenas um algoritmo que possibilitou construir a geometria de todos eles com recurso a simples ajustes nos parâmetros.

Em sentido contrário, o ponto mais negativo passa pelo facto de este ser um método muito complexo, com uma curva de aprendizagem muito acentuada. Isto significa que mesmo um designer experiente na utilização de outros processos terá que dedicar uma maior quantidade de tempo ao Design Generativo, para atingir um nível de conhecimento semelhante ao que já possui noutros programas. Por esta razão, o sistema adotado neste projeto é relativamente simples uma vez que não existia um domínio da ferramenta.

A maior limitação da proposta apresentada passa pela impossibilidade de produzir os diferentes vasos com os processos e materiais devidos, o que seria importante para perceber se em algum dos vasos existiriam problemas na sua produção e, assim, assegurar a sua viabilidade.

Seria também relevante perceber se nos diversos tamanhos que a empresa Almas Design produz a essência do desenho se manteria, e não haveria uma dificuldade acrescida na produção de uma versão mais pequena.

Algo que poderia ter algum interesse no futuro seria perceber se o método adotado neste projeto teria utilidade para outros designers, e se estes beneficiariam da mesma forma de pensar utilizada neste processo.

Referências bibliográficas

- Abrishami, S., Ganah, A., Goulding, J. S., & Rahimian, F. P. (2014). Integration of BIM and generative design to exploit AEC conceptual design innovation. *Journal of Information Technology in Construction*, 19(September), 350–359.
- Agkathidis, A. (2015). *Generative design: Form-finding techniques in architecture*. Laurence King Publishing.
- Alcaide-Marzal, J., Diego-Mas, J. A., & Acosta-Zazueta, G. (2020). A 3D shape generative method for aesthetic product design. *Design Studies*, 66, 144–176. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.11.003>
- Alfaris, A. (2009). *Emergence Through Conflict The Multi-Disciplinary Design System (MDDS)*. PhD Thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- Bagassi, S., Lucchi, F., De Crescenzo, F., & Persiani, F. (2016). Generative design: Advanced design optimization processes for aeronautical applications. 30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2016, 1–7.
- Balakrishnan, P. V., & Jacob, V. S. (1996). Genetic algorithms for product design. *Management Science*, August 1996. <https://doi.org/10.1287/mnsc.42.8.1105>
- Boch, P., & Nièpce, J.-C. (2007). *Ceramics materials. Process, properties and applications*. ISTE.
- Caetano, I., Leitão, A., & Santos, L. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287–300. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>
- Chase, S. C. (2005). Generative design tools for novice designers: Issues for selection. *Automation in Construction*, 14(6), 689–698. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.12.004>
- Fischer, T., & Herr, C. (2001). Teaching generative design. ... of the 4th Conference on Generative Art, 1–14. http://generativedesign.eu/on/cic/ga2001_PDF/fischer.pdf

- Freitas, C. S. R., Pereira, Í. A. F. S., Pereira, M. L. G., Simões, T. C. R., & Ferreira, A. A. L. (2009). Influência de diferentes processos de conformação nas características finais de produtos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, 14(3), 15–18.
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the Digital Age*. In *Architecture in the Digital Age*. Taylor & Francis.
- Khan, S., & Awan, M.J. (2018). A generative design technique for exploring shape variations. *Advanced Engineering Informatics* 38: 712-724
- Krish, S. (2011). A practical generative design method. *Computer-Aided Design*, 43(1), 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.09.009>
- Lefteri, C. (2014). *Materials for design*. Laurence King Publishing.
- Li, H., & Lachmayer, R. (2018). Generative design approach for modeling creative designs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 408(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/408/1/012035>
- Lin, M., & Lee, L. (2013). An experimental study for applying generative design to electronic consumer products. 392–401.
- Lobos, A. (2018). *Finding Balance in Generative Product Design*. In: *Norddesign 2018*. Linköping University, Linköping, Sweden. 14-17 August, 2018.
- Lobos, A. (2019). *Applying generative systems to product design*. XXII Generative Art Conference, 9. www.rit.edu/artdesign/directory/aflfaa-alex-lobos
- Maia, P. (2019). *Para um design de interação de inspiração biológica*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.
- Redwood, B., Schöffner, F., & Garret, B. (2017). *The 3D printing handbook*. In *3D Hubs*. https://books.google.com/books/about/The_3D_Printing_Handbook.html?hl=pl&id=R3OvswEACAAJ

Renner, G., Ekart, A. (2003). Genetic algorithms in computer aided design. *Computer-aided design* 35 (8), 709-726.

Ribeiro, M. J. (2021). Conformação de louça por via plástica. *Técnica - Revista Técnica de Cerâmica e Vidro*, 8, 14-17.

Ribeiro, M. J., Ferreira, J. M., & Labrincha, J. A. (2005). Plastic behaviour of different ceramic pastes processed by extrusion. *Ceramics International*, 31(4), 515-519. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2004.06.016>

Shackelford, J. F., & Doremus, R. H. (2008). Ceramic and glass materials - Structure, properties and processing. In *Ceramic and Glass Materials*. Springer.

Sun, B., & Huang, S. (2019). Realizing product serialization by grasshopper parametric design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/573/1/012078>

Tang, M. X., & Cui, J. (2014). Supporting product innovation using 3D shape grammars in a generative design framework. *International Journal of Design Engineering*, January. <https://doi.org/10.1504/IJDE.2014.062376>

Tedeschi, A. (2014). AAD Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper. In *Le penseur publisher*. Le Penseur.

Terzidis, K. (2003). Expressive form: A conceptual approach to computational design. In *Expressive Form: A Conceptual Approach to Computational Design*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203586891>

Warfel, T. Z. (2009). *Prototyping a practitioner's guide*. Rosenfeld Media.

Webgrafia

CAE 23412-(2019) Fabricação de artigos de uso doméstico de faiança, porcelana e grés fino. <https://sgcie.pt/sistema-de-gestao-dos-consumos-intensivos-de-energia/informacao/cadernos-subsetoriais/>

Mântua, A. A., Melo, C., Pires, I., Monteiro, J. P., Esteves, L., Henriques, P., & Campos, T. (2007). Normas de inventário: Cerâmica. Instituto dos Museus e da Conservação. http://www.matriznet.dgpc.pt/MatrizNet/Download/Normas/AP_AD_Ceramica.pdf

