1 2 9 0

UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Fábio Gouveia Silva

Shapeshifter
Combinação Computacional de Criaturas 3D

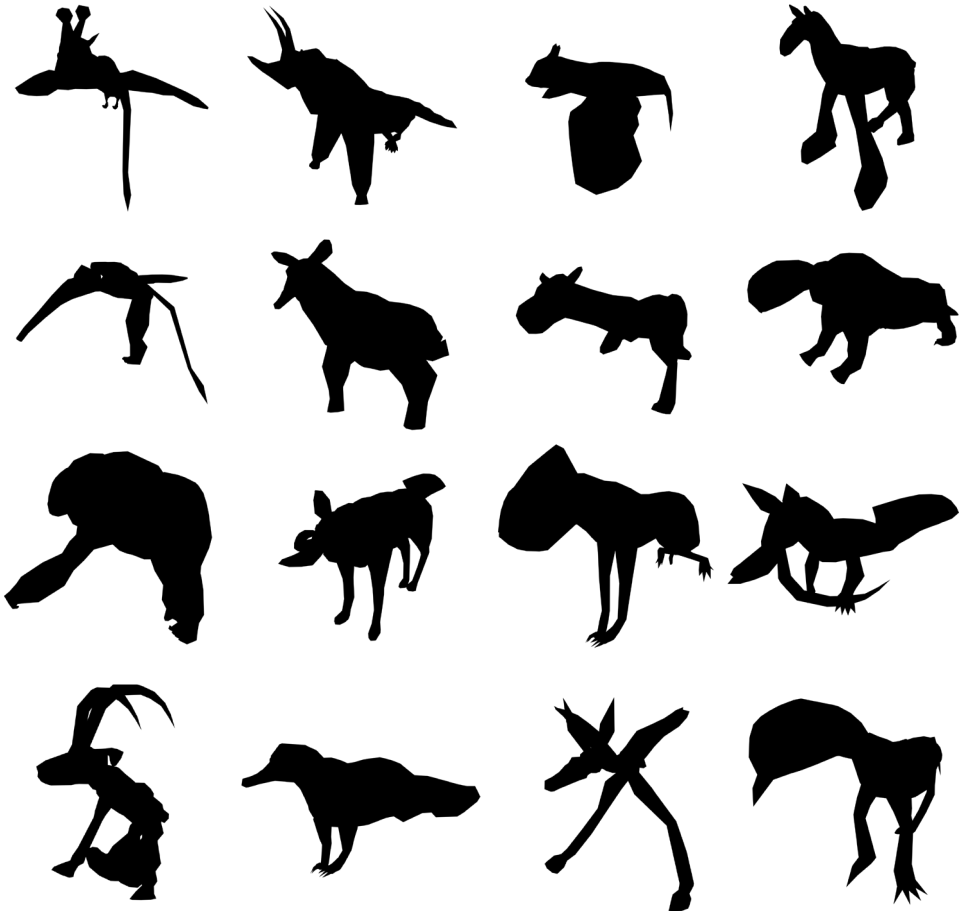
Dissertação no âmbito do Mestrado em Design e Multimédia orientada pelo Professor Doutor Pedro José Mendes Martins e pelo Professor Doutor Evgheni Polisciuc e apresentada ao Departamento de Engenharia Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Setembro de 2023

Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Mestrado em Design e Multimédia
Setembro de 2023

Shapeshifter

Combinação Computacional de Criaturas 3D



Fábio Gouveia Silva, nº2017231966
Orientador: Pedro José Mendes Martins
Co-orientador: Evgheni Polisciuc

Resumo

Ao longo da história da humanidade, devido à incrível criatividade humana, várias criaturas fantásticas surgiram como forma de explicar o até então inexplicável. Atualmente, devido ao crescente conhecimento do mundo, estas criaturas deixaram de ser uma realidade e passaram a ser ficção e, embora já não tenham a sua utilidade original, a sua necessidade mantém-se. A indústria do entretenimento continua a usar a imaginação humana como um meio de criar conteúdo inovador, dando origem a uma crescente demanda por criaturas fantásticas.

De forma a auxiliar os mais diversos artistas, pretende-se desenvolver um sistema que fomente a criatividade humana e, ainda assim, seja intuitivo e simples o suficiente para que alguém com relativo baixo conhecimento o consiga usar.

Propõe-se a implementação de *Shapeshifter*, uma ferramenta que auxilia no processo combinatório de múltiplos componentes dando origem a novas ideias e/ou modelos tridimensionais de criaturas usáveis. Pretende-se implementar o sistema proposto na ferramenta de modelação tridimensional *Blender*, de forma a estar presente num meio usado por modeladores acelerando assim o seu processo de trabalho criativo através do desbloqueio de ideias ou até mesmo oferecendo uma criatura 3D editável.

Palavras-chave:
Modelação 3D, Criatividade, Criaturas, Combinação Conceptual, Combinação Geométrica

Abstract

Throughout human history, due to incredible human creativity, various fantastic creatures have emerged as a way of explaining the previously inexplicable. Today, due to the growing knowledge of the world, these creatures are no longer reality but fiction and, although they no longer serve their original purpose, their need remains. The entertainment industry continues to use the human imagination as a means of creating innovative content, giving rise to a growing demand for fantastic creatures.

In order to help the most diverse artists, a system has been developed that fosters human creativity and is simple enough for someone with little knowledge of three-dimensional modeling to use.

We propose the implementation of *Shapeshifter*, a tool that assists in the process of combining multiple components to create new ideas and/or three-dimensional models of usable creatures. The proposed system has been implemented in the three-dimensional modeling tool *Blender*, in order to be present in a medium used by modelers, thus speeding up their creative work process by unlocking ideas or even offering an editable 3D creature.

Keywords:
3D Modeling, Creativity, Creatures, Conceptual Blending, Geometric Blending

Agradecimentos

A toda à minha família, agradeço pelo apoio incondicional, pela educação que me proporcionaram e por sempre se orgulharem das minhas conquistas.

À Laura, agradeço por todo o carinho, compreensão e pelo constante incentivo a dar o meu melhor.

A todos os meus amigos que partilharam este percurso comigo, e o tornaram mais divertido.

Aos meus orientadores, Pedro Martins e Evgheni Polisciuc, expresso a minha profunda gratidão pela orientação, disponibilidade e generosidade ao compartilharem o seu conhecimento.

A todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento. Sei que esta jornada não teria sido possível sem a ajuda e apoio de pessoas excecionais como vocês.

Índice

1. Introdução **1**
1.1. Motivação 4
1.2. Enquadramento 4
1.3. Âmbito e Objetivos 5
1.4. Estrutura 6

2. Plano de Trabalhos **9**
2.1. Metodologia 11
2.2. Identificação de Tarefas 12
2.3. Diagrama de Gantt 14

3. Estado da Arte **17**
3.1. Modelação geométrica 19
3.1.1. Combinação de componentes 3D 20
3.1.1.1. Modelação procedimental baseada em gramática 20
3.1.1.2. Modelação geométrica orientada por dados 25
3.1.1.3. Modelação baseada em esboço 29
3.1.2. Texturas e mapeamento 32
3.1.2.1. Geração de texturas 34
3.2. Credibilidade 35
3.2.1. Criaturas credíveis 36
3.3. Estudos de caso 38
3.3.1. Spore 38
3.3.1.1. Geometria 39
3.3.1.2. Texturas 39
3.3.1.3. Capacidade criativa 41
3.3.2. No Man's Sky 41
3.3.2.1. Geometria 42
3.3.2.2. Texturas 43
3.3.3. Where Beasts Were Born 44

3.3.3.1. Geometria 44
3.3.3.2. Texturas 45

4. O Sistema Shapeshifter 47

4.1. Integração com o Blender 51
4.1.1. Addons 52
4.1.2. Library Assets 52
4.1.3. UV Maps e Shaders 52
4.1.4. Vertices Group 53
4.2. Módulos e Interfaces 53
4.2.1. Interface 54
4.2.2. Criação de Componentes 55
4.2.3. Módulo de Avaliação 56
4.2.4. Módulo Generativo 57
4.2.5. Módulo Combinatório 58
4.2.6. Módulo de Texturização 60
4.3. Avaliação 62
4.3.1. Caracterização Demográfica 64
4.3.2. Avaliação do Sistema 65
4.3.3. Avaliação das Criaturas 71
4.3.4. Comentários e Sugestões 81

5. Conclusão 85

Referências 91

Apêndices 97

A. Manual de Utilização 99

Lista de Figuras

Figura 1. Four Stage Design Process por Nigel Cross.

Figura 2. Diagrama de Gantt do plano de trabalho proposto.

Figura 3. Representação *wireframe* ambígua (Agoston, 2005).

Figura 4. Primitivas representadas por parâmetros (Agoston, 2005).

Figura 5. Exemplo de derivação do *D0L-System* (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 1990).

Figura 6. Estruturas de ramificação usando um *L-System* (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 1990).

Figura 7. Cidade gerada pelo sistema *Procedural Modeling of Cities* (Parish & Müller, 2001).

Figura 8. Cidade de Pompeia gerada procedimentalmente (Müller et al., 2006).

Figura 9. Árvores geradas procedimentalmente delimitadas por tipografia (Talton et al., 2011).

Figura 10. Especificações generativas (Stiny & Gips, 1972).

Figura 11. Estruturas gerada usando as especificações da Figura 10 (Stiny & Gips, 1972).

Figura 12. Iterações do sistema *Instant Architecture* (Wonka et al., 2003).

Figura 13. Reconstrução de fachada usando o sistema *CityFit* (Hohmann et al., 2009).

Figura 14. Construção de uma cadeira usando partes de outras (Funkhouser et al., 2004).

Figura 15. Substituição de elementos da mesma classe (Kreavoy et al., 2007).

Figura 16. Objetos 3D procurados usando esboços (Lee & Funkhouser, 2008).

Figura 17. Modelos criados por artistas usando a ferramenta *InspireMe* (Chaudhuri & Koltun, 2010).

Figura 18. Modelos criados usando o modelo probabilístico (Chaudhuri et al., 2011).

Figura 19. Edifício criado e otimizado dada uma métrica (Merrell et al., 2010).

Figura 20. Criatura com formato de centauro (Guo et al., 2014).

Figura 21. Esboço de um urso (Igarashi et al., 1999).

Figura 22. Modelos enchidos tendo por base um esboço (Igarashi et al., 1999).

Figura 23. Criação de modelo 3D usando esboço do utilizador e contornos escondidos assumidos pelo sistema (Karpenko & Hughes, 2006).

Figura 24. Modelação de roupa 3D usando apenas esboços 2D (Turquin et al., 2007).

Figura 25. Modelo 3D criado a partir de simetrias definidas pelo utilizador no esboço 2D (Entem et al., 2015).

Figura 26. Linhas sólidas que definem a silhueta visível e linhas tracejadas a silhueta oculta. (Bobenrieth et al., 2020).

Figura 27. Modelos calculados usando dois pontos de vista ortogonais (Lun et al., 2017).

Figura 28. Modelos criados pela rede neuronal (Gao et al., 2022).

Figura 29. Cor do ponto P do triângulo △ABC determinado pelo mapeamento da textura (Hughes et al., 2013, p. 215).

Figura 30. *Mesh Loops* (CoDEmanX, 2012).

Figura 31. Imagem gerada segundo o método de síntese de imagem, à esquerda está a imagem base e à direita o resultado obtido (Ashikhmin, 2001).

Figura 32. Imagem gerada segundo o método de síntese de imagem controlada, à esquerda está a imagem base, no centro o formato sugerido pelo utilizador e à direita o resultado obtido (Ashikhmin, 2001).

Figura 33. Texturas geradas usando objetos tridimensionais segundo o método *Texturify* (Siddiqui et al., 2022).

Figura 34. Lista de animais híbridos criados por Arne Olaf e usados no inquérito de credibilidade do artigo *The Good, the Bad, and the AHA! Blends* (Martins et al., 2015).

Figura 35. *Spore, Creature Creator* (EA Games, 2008).

Figura 36. *Metaballs* (Hecker, 2009).

Figura 37. *Spore*, algoritmo de *Texture Atlas* (Hecker, 2009).

Figura 38. *Battle for Middle Earth, Texture Atlas* (Hecker, 2009).

Figura 39. *Spore*, pintura com sistema de partículas (Hecker, 2009).

Figura 40. No Man's Sky (Hello Games, 2016).

Figura 41. Modelo do tricerátopo (gregkwaste, 2016).

Figura 42. Criaturas geradas usando o modelo do tricerátopo (gregkwaste, 2016).

Figura 43. Criatura e ambiente de *Were Beast Were Born* (Germanunkol, 2022).

Figura 44. Geração de novas criaturas através da combinação das duas primeiras (Germanunkol, 2022).

Figura 45. Mapeamento de texturas usando atributos no *Blender* (Germanunkol, 2022).

Figura 46. Pipeline de execução do nosso sistema Shapeshifter.

Figura 47. Criaturas geradas pela ferramenta *Shapeshifter*.

Figura 48. Interface do *Shapeshifter*.

Figura 49. *Generation Settings* (Interface).

Figura 50. *Mark Assets* (Interface).

Figura 51. Separate Assets (Interface).

Figura 52. Processo de separação e identificação das várias componentes.

Figura 53. Identificação das assets usando a funcionalidade *tags* presentes na *Asset Library*.

Figura 54. Interpolação de uma textura de ouro com ferro.

Figura 55. Máscara das texturas na zona de ligação.

Figura 56. Máscara das texturas sem mapeamento das texturas.

Figura 57. Máscara das texturas com o mapeamento das texturas.

Figura 58. Resultados: Proficiência com ferramentas 3D.

Figura 59. Avaliação: Criatura nº1.

Figura 60. Avaliação: Criatura nº2.

Figura 61. Avaliação: Criatura nº3.

Figura 62. Avaliação: Criatura nº4.

Figura 63. Avaliação: Criatura nº5.

Figura 64. Avaliação: Criatura nº6.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Resultados: Proficiência com ferramentas 3D.

Tabela 2. Análise: Informação demográfica dos inquiridos.

Tabela 3. Criaturas geradas e a sua avaliação: Inquiridos Avançados.

Tabela 4. Criaturas geradas e a sua avaliação: Inquiridos Iniciantes.

Tabela 5. Análise: Avaliação das criaturas geradas pelos inquiridos.

Tabela 6. Análise: Potencialidade da Ferramenta no Mercado Criativo.

Tabela 7. Análise: Criatura nº1.

Tabela 8. Análise: Criatura nº2.

Tabela 9. Análise: Criatura nº3.

Tabela 10. Análise: Criatura nº4.

Tabela 11. Análise: Criatura nº5.

Tabela 12. Análise: Criatura nº6.

Tabela 13. Análise geral de todas as criaturas.

Tabela 14. Questão 1: Comentários da Interface.

Tabela 15. Questão 2: Sugestões de Melhoria.

1.

Introdução

A criatividade humana é uma característica fundamental que tem definido a humanidade ao longo da sua história de mais de 10.000 anos. Através dessa criatividade, inúmeras ideias inspiradoras e fascinantes surgiram em diversos cantos do mundo. Essas ideias deram origem a uma vasta variedade de criaturas fantásticas, incluindo unicórnios, esfinges, faunos, sereias, dragões e muitas outras, que são verdadeiras manifestações da imaginação humana.

Esta habilidade de produzir novas ideias é um processo que, segundo Turner (2014), surge da combinação de ideias já existentes e, curiosamente, todas as criaturas do nosso imaginário são compostas por combinação de diversos animais tal como, o grifo que é parte águia e parte leão ou o fauno que é um ser humano com patas posteriores de cavalo ou cabra.

No passado, grande parte destas criaturas surgiam como forma de explicar o até então inexplicável. A mente humana busca incessantemente por conhecimento e o incompreensível é preenchido pela imaginação. O conhecimento rudimentar da natureza e a forte imaginação humana trouxe à vida estes criptídeos que eram difundidos através de histórias, contos de fadas, lendas e, na Idade Média, através de bestiários, populares livros ilustrados que procuravam descrever vários animais onde a realidade e a ficção eram misturadas (Yanes, 2019).

A evolução humana levou-nos a desvendar o até então inexplicável, e com isto, grande parte dos mistérios que envolvia tais criaturas; no entanto, o nosso pensamento mitológico persiste e estas criaturas, embora sejam consensualmente aceites como parte da imaginação, continuam a apaixonar, entreter, assustar e inspirar o ser humano. A mitologia e folclore é uma rica fonte de criatividade para os artistas e continua a ser usada de forma a criar as mais diversas obras de expressão e entretenimento.

Esta dissertação contempla o desenvolvimento de uma ferramenta que vai ao encontro das necessidades dos profissões na área das indústrias criativas: a necessidade de criar algo inovador e ainda assim credível no universo do nosso imaginário. Tanto a criatividade como a credibilidade são essenciais para o potencial sucesso de qualquer obra dentro das indústrias criativas, desde livros a jogos, criaturas criativas continuam a ser usadas e criadas. Pretende-se que *Shapeshifter* seja uma ferramenta 3D que auxilie o processo criativo humano na construção de uma criatura através da múltipla combinação de elementos de outras criaturas, resultando assim num potencial modelo que pode ser usado em outros meios ou servir apenas como uma fonte de inspiração.

Todo o conteúdo desenvolvido, juntamente com a ferramenta *Shapeshifter*, está disponível no *GitHub*, acessível através do seguinte link: https://github.com/gouveiafabio98/Shapeshifter.

1.1. Motivação

Criaturas originais e credíveis são uma demanda frequente nos mais diversos conteúdos criativos, tais como jogos, filmes ou livros, e, embora exista um vasto portfólio de criaturas fantásticas, a indústria atual procura a sua modernização e inovação.

A tarefa de criar algo suficientemente inovador e ainda assim credível pode ser um árduo processo até para os mais criativos e, se este processo passar pela sua reconstrução tridimensional, tanto para uso posterior como para referência, é acrescida a dificuldade da modelação tridimensional.

Por forma a auxiliar os mais diversos artistas, pretende-se desenvolver uma ferramenta criativa que acelere o processo de criação além de fomentar a criatividade destes e, ainda assim, seja fácil o suficiente para que alguém com relativo baixo conhecimento a consiga usar. *Shapeshifter*, através da recombinação de várias peças tridimensionais, semelhante ao processo criativo descrito por Turner (2014), procura produzir criaturas que poderiam existir no folclore da humanidade para uso nas mais diversas obras criativas da atualidade e dos quais outros artefactos podem tirar partido.

1.2. Enquadramento

A mais recente introdução de ferramentas criativas e de apoio à criatividade que procuram acelerar o processo de criação tem substancialmente transformado o processo criativo de profissionais das indústrias criativas, agora impulsionado e aprimorado por essas ferramentas. Este processo busca cada vez mais rapidez e eficiência por meio do uso da tecnologia, que rapidamente se torna uma norma na evolução artística.

Esta necessidade iminente da evolução dos meios de produção artística está a tornar-se um requisito essencial para a indústria que procura incorporar tais metodologias e ferramentas no seu processo de trabalho de forma a agilizar a sua produção com o objetivo de responder à crescente

demanda desta.

Mais concretamente, os métodos convencionais associados à modelação 3D, além de requererem mão de obra especializada, são um processo demorado que se pretende acelerar. Além disso, muitas das indústrias criativas procuram constantemente apresentar conteúdo inovador e interessante ao seu público que mais do que nunca tem acesso a todo o tipo de conteúdo e procura uma forma de entretenimento diferente das demais.

Como tal, o projeto prático desta dissertação procura explorar estas novas abordagens no domínio da criatividade e agilizar a produção de elementos tridimensionais cada vez mais requeridos pela indústria e meio digital.

1.3. Âmbito e Objetivos

A presente dissertação foi desenvolvida no contexto do Mestrado em Design e Multimédia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, tendo como principal área de estudo a criatividade computacional aplicada à modelação e criação de criaturas tridimensionais credíveis. O seu principal objetivo é o desenvolvimento de um sistema que tenha a capacidade de recombinar vários componentes tridimensionais de criaturas existentes de forma a criar uma nova que siga uma estrutura morfológica lógica e credível segundo os padrões humanos. A este sistema procura-se incorporar um meio de controlar os níveis de criatividade, permitindo assim ao utilizador balancear entre o nível de surpresa das suas criaturas. Pretende-se ainda conjugar neste sistema a adição de novos componentes por parte do seu utilizador através de um método acessível a todos os utilizadores.

Para isso, numa primeira fase, é apresentada uma breve investigação do estado atual da criação de elementos tridimensionais por computador, com enfoque especial na modelação 3D e nas técnicas de combinação e texturização. Em seguida, explora-se as características que determinam o que torna um elemento fictício criativo, bem como a variedade de abordagens adotadas por diversos artistas. Por fim, serão abordadas algumas das mais importantes produções artísticas que fazem uso de criaturas produzidas por computador nas suas obras de ficção.

Numa segunda fase, será feito o desenvolvimento do sistema idealizado previamente, compilando todos os conhecimentos recolhidos na fase anterior de forma a produzir uma

ferramenta capaz de desenvolver o conteúdo pretendido de forma simples e fácil. Esta fase de desenvolvimento passa pela implementação cuidada que procura ser testada frequentemente de forma a serem obtidos resultados relevantes para a área. Após a sua implementação, haverá um período de testes no qual será avaliado o processo de criação pelos artistas, a sua satisfação com os resultados e a facilidade na execução das tarefas.

Concluindo as fases anteriormente descritas, será obtida a ferramenta *Shapeshifter*, pronta para ser lançada aos vários utilizadores do meio criativo.

1.4. Estrutura

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos: (1) Introdução; (2) Plano de Trabalhos; (3) Estado da Arte; (4) Projeto prático e (5) Conclusão.

No primeiro capítulo é apresentado o tema da dissertação, as motivações que tornam este trabalho relevante, o contexto em que se insere e os objetivos a atingir. No segundo capítulo são identificadas as tarefas a realizar tal como a sua calendarização e a metodologia que foi seguida durante a realização destas. No terceiro capítulo é feito um estudo e análise do atual estado da arte e são apresentadas referências relevantes para a concessão do projeto prático desta dissertação. No quarto capítulo é definida e identificada a estrutura do projeto e as suas componentes, tal como algumas das experiências preliminares desenvolvidas. Por fim, no capítulo cinco são apresentadas as conclusões retiradas do desenvolvimento deste projeto e planos futuros.

2.

Plano de Trabalhos

Neste capítulo foram identificadas as tarefas a realizar tal como o seu plano de realização e metodologia a utilizar no desenvolvimento desta dissertação. Inicialmente serão identificadas e descritas as tarefas definidas para o primeiro e segundo semestre e o seu plano de execução através de um diagrama de Gantt. Por fim é apresentada a metodologia a ser aplicada ao desenvolvimento do projeto.

2.1. Metodologia

Tendo em consideração que o processo de desenvolvimento do presente projeto prático passa pela implementação e avaliação iterativa dos seus resultados, foi adotada a metodologia *Four Stage Design Process* (Figura 1), introduzida por Nigel Cross em 2000 (Dubberly, 2005).

Este modelo descreve de forma simplificada os passos essenciais que um designer deve realizar, dividindo-se nas quatro seguintes fases: (1) Exploração; (2) Geração; (3) Avaliação e (4) Comunicação. Na primeira fase deste modelo é iniciada a tarefa de exploração, que consiste no levantamento do problema e do atual estado da arte. De seguida a tarefa de Geração corresponde à fase de design onde são pesquisadas soluções para o problema identificado na fase anterior. A penúltima fase, Avaliação, é onde são avaliadas as soluções encontradas para o problema e, caso não correspondam ao esperado, voltar-se-à para a fase anterior. Por fim, a Comunicação corresponde à transmissão da solução desenvolvida.

No contexto desta dissertação, a fase Exploração corresponde ao levantamento e revisão bibliográfica do corrente estado da arte, trabalho relacionado e dos requisitos do sistema. A fase de geração consiste na implementação do sistema e da sua arquitetura, e no desenvolvimento do seu design e interação. Na fase de Avaliação, são avaliados os resultados obtidos na fase anterior e se há condições para finalizar a implementação do projeto ou se se deverá retornar à fase anterior. Por fim, a fase de Comunicação, esta corresponde à disseminação dos resultados obtidos através da escrita da dissertação e de um possível artigo científico.

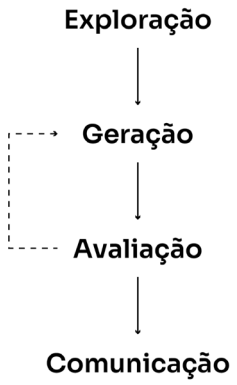


Figura 1. Four Stage Design Process por Nigel Cross.

2.2. Identificação de Tarefas

O desenvolvimento desta dissertação está assente no cumprimento de algumas tarefas e, como tal, a sua identificação e descrição é essencial de forma a prever a sua duração, prioridade, ordem de execução e dependências. Deste modo foram identificadas as seguintes tarefas:

Tarefa 1 **Revisão bibliográfica**
Esta tarefa consiste na recolha e análise do atual estado da arte, nomeadamente a modelação geométrica e os métodos existentes para a combinação e criação de elementos tridimensionais, técnicas de texturização e avaliação da criatividade e credibilidade de criaturas tridimensionais.
Ainda neste tópico é feita a recolha de trabalhos relevantes que utilizam algum tipo de tecnologia relacionada com a presente dissertação.

Tarefa 2 **Definição do projeto**
Esta é uma tarefa dependente da revisão bibliográfica e consiste na tomada de decisão da arquitetura do sistema bem como as suas funcionalidades e requisitos.
Dependência: Tarefa 1

Tarefa 3 **Protótipo do Sistema**
Esta é uma fase dependente da tarefa de decisão do projeto. Aqui serão avaliados os meios necessários para atingir os requisitos definidos previamente e aferir o melhor método de desenvolvimento tal como a interface do sistema que deverá proporcionar uma fácil interação.
Dependência: Tarefa 2

Tarefa 4 **Implementação**
Esta tarefa consiste na implementação do sistema proposto e, como tal, é uma tarefa dependente dos protótipos do sistema. Esta fase é dividida em sub-fases de desenvolvimento, cada um com um dos módulos do sistema.
Dependência: Tarefa 3

Tarefa 4.1 **Junção de elementos**
Nesta fase, temos como objetivo a implementação de uma função que permita combinar a geometria tridimensional de objetos tridimensionais, garantindo que essa combinação respeite os pontos de ligação, a orientação e evite sobreposições indesejadas entre os elementos.

Tarefa 4.2 **Modelo Anatómico**
Esta tarefa consiste na definição de regras de ligação anatómica que descrevem a relação entre as várias componentes de uma dada criatura.

Tarefa 4.3 **Preparação dos elementos**
Nesta fase de preparação dos elementos, serão identificados e separados diversos componentes anatómicos de várias criaturas selecionadas. Isto será feito de acordo com as regras definidas na tarefa do modelo anatómico, que também incluirá a especificação dos pontos de ligação entre esses elementos.
Dependência: Tarefa 4.2

Tarefa 4.4 **Módulo criativo**
A implementação deste módulo criativo consiste no desenvolvimento de uma função de tomada de decisão que, tendo por base o modelo anatómico e os elementos existentes na sua biblioteca, os junta de forma criativa.
Dependência: Tarefa 4.2 e 4.3

Tarefa 4.5 **Parametrização das criações**
Nesta fase serão definidos os parâmetros de criação do utilizador que terão como objetivo influenciar o módulo criativo e a sua tomada de decisão.
Dependência: Tarefa 4.4

Tarefa 4.6 **Combinação de texturas**
A combinação de texturas será a parte do sistema que posicionará as texturas de cada componente no seu respectivo lugar. Criando uma transição natural entre estas.
Dependência: Tarefa 4.1

Tarefa 5 **Exploração do sistema**
Esta é a fase de exploração e consiste em fazer testes ao sistema e procurar possíveis problemas e/ou melhorias na sua parametrização.
Dependência: Tarefa 4

Tarefa 6 **Avaliação do sistema**
Nesta tarefa é feita a avaliação do sistema e dos seus resultados por utilizadores com diferentes níveis de experiência com intuito de entender possíveis melhorias e/ou problemas.
Dependência: Tarefa 4

Tarefa 7 **Escrita da dissertação**
Esta tarefa consiste na escrita da dissertação e será realizada ao longo de todo o processo de trabalho.

2.3. Diagrama de Gantt

Nesta secção é apresentado um diagrama de Gantt (Figura 2) com o plano de distribuição das tarefas definidas na secção tópico anterior ao longo do primeiro e do segundo semestre.

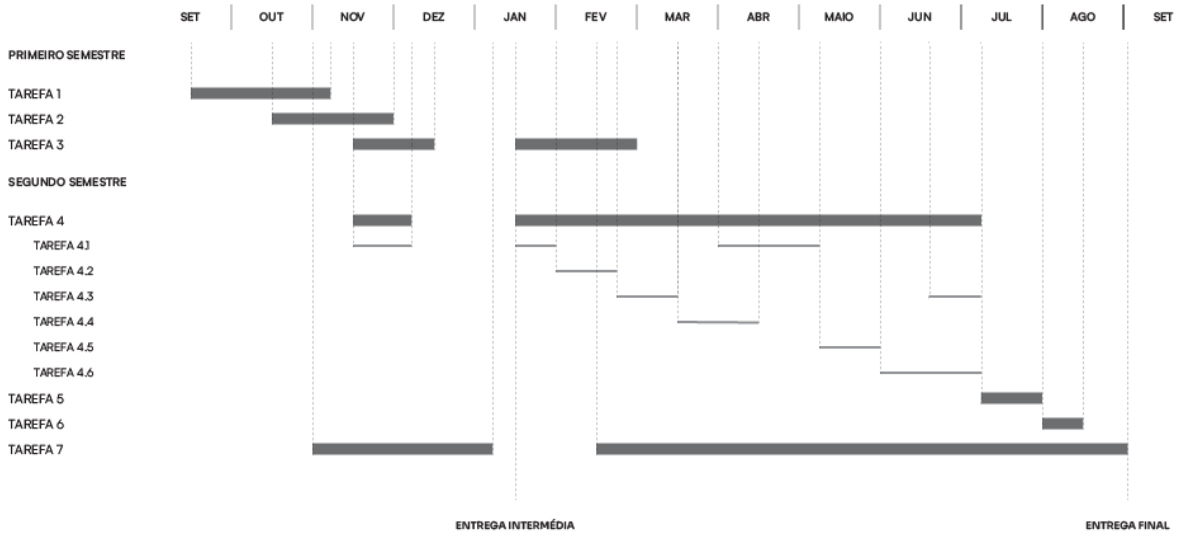


Figura 2. Diagrama de Gantt do plano de trabalho proposto.

Durante o primeiro semestre desta dissertação, conduzimos uma revisão bibliográfica (Tarefa 1) para reunir e analisar informações relacionadas à modelação geométrica, métodos de combinação e criação de elementos tridimensionais, técnicas de texturização, bem como a avaliação da criatividade e credibilidade de criaturas tridimensionais. Posteriormente, procedemos à definição do projeto (Tarefa 2) a ser desenvolvido. Além disso, como prova de conceito, implementamos um simples sistema de combinação de elementos tridimensionais (Tarefa 3).

No segundo semestre, realizamos a implementação completa do projeto (Tarefa 4) após uma atualização contínua e revisão bibliográfica. Durante a fase de exploração do sistema (Tarefa 5), realizamos testes para identificar possíveis problemas e áreas a melhorar na parametrização. Em seguida, conduzimos uma avaliação do sistema (Tarefa 6) envolvendo utilizadores com diferentes níveis de experiência, a fim de identificar áreas que requeriam melhorias ou correções.

Ao longo de todo o processo, dedicamos esforços à escrita da dissertação (Tarefa 7) para documentar detalhadamente todo o trabalho realizado.

3.

Estado da Arte

A geração procedimental não é algo novo na indústria e, embora existam conhecidos exemplos destes sistemas, como Spore ou No Man's Sky, não existe nenhuma norma pré estabelecida de como gerar criaturas tridimensionais. Além de ser um processo complexo a nível algorítmico, está associada a problemática da combinação de componentes tridimensionais e da credibilidade das criaturas.

Neste capítulo será apresentada uma síntese da investigação efetuada aos temas relevantes à conceptualização do projeto proposto para esta dissertação. Nomeadamente, a geração procedimental e combinação de componentes tridimensionais, a sua texturização, as características que definem credibilidade e trabalhos relevantes.

3.1. Modelação geométrica

Modelação geométrica é um ramo da matemática aplicada e da geometria computacional que estuda métodos e algoritmos para a descrição matemática de formas (Preparata & Shamos, 1985). Atualmente a modelação geométrica é feita usando sistemas CAD, *computer-aided design* ou em português desenho assistido por computador, sendo usado nas mais diversas áreas com o intuito de auxiliar a criação, aumentar a produtividade, qualidade de trabalho e comunicação.

No entanto, nas primeiras tentativas de modelação geométrica, o computador não esteve envolvido, os engenheiros representavam objetos tridimensionais através de múltiplas projeções bidimensionais usando lápis e papel, um método que, normalmente, origina muitos erros mas, através do senso comum, os humanos conseguiam chegar ao resultado certo. Esta era uma abordagem muito ambígua e, como tal, seria muito difícil determinar quantas projeções bidimensionais seriam necessárias para representar completamente um objeto tridimensional numa implementação computacional (Agoston, 2005).

Com a evolução dos meios computacionais, surgiu o *wireframe* (modelo de linhas), uma representação geométrica de poliedros onde são mostradas todas as arestas e nenhuma face. Infelizmente, esta representação pode ser muito ambígua, tal como é mostrada na Figura 3, onde não é possível identificar corretamente o buraco do cubo usando apenas as suas arestas (Agoston, 2005). Ainda que mais recentemente tenha sido introduzida a representação de fases que eliminou o

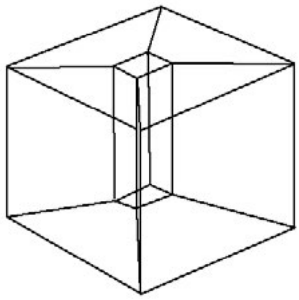


Figura 3. Representação *wireframe* ambígua (Agoston, 2005).

problema da ambiguidade do *wireframe*, este continua a estar presente nos mais recentes sistemas de modelação por ser mais rápido e adequado em alguns trabalhos.

Por fim, a representação de primitivas através parâmetros é um método que prevê um número finito de primitivas que são representadas de forma compacta por parâmetros reais e ou inteiros, tal como é mostrado na Figura 4, onde não é necessário definir todas as dimensões como parâmetros e apenas os valores variáveis (Agoston, 2005).

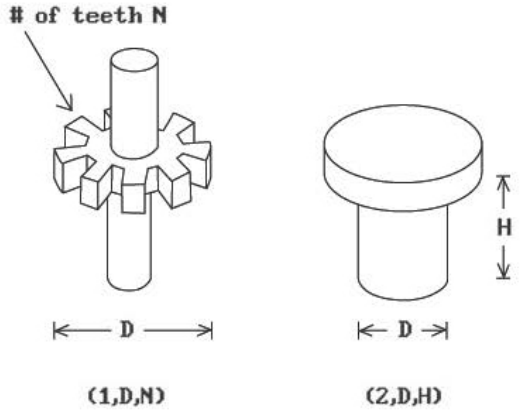


Figura 4. Primitivas representadas por parâmetros (Agoston, 2005).

3.1.1. Combinação de componentes 3D

A combinação e criação de componentes tridimensionais é um processo que já foi explorado em diversas áreas com destaque ao desenvolvimento arquitectónico, cinematográfico ou de videojogos. Como tal, pretende-se avaliar os principais métodos usados e a sua evolução ao longo dos anos de forma a comparar e reunir informações relevantes para a implementação do sistema proposto.

Nesta subsecção serão abordados os três principais tipos de modelação procedimental: modelação procedimental baseada em gramática, modelação geométrica orientada a dados e modelação baseada em esboço.

3.1.1.1. Modelação procedimental baseada em gramática

Modelação baseada em gramática é uma técnica de modelação explorada desde a sua introdução em 1968 pelo biólogo Lindemayer que propôs os *L-Systems*. Um *L-System* é um formalismo

matemático que define um objeto complexo pela sucessiva troca de partes simples usando um conjunto de regras de produção. Este tipo de sistema é representado por variáveis, uma raiz e um conjunto de regras que são aplicadas de forma iterativa começando pela raiz (Ochoa, 1998).

Um exemplo simples, desenvolvido pelo próprio Lindemayer, é o *D0L-Systems*, que representa o modelo de crescimento das algas. Este é definido por: duas variáveis {a, b}, sendo b a raiz e duas regras de produção/derivação {a → ab, b → a}, formando o esquema apresentado na Figura 5 e criando a estrutura presente na Figura 6 (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 1990).

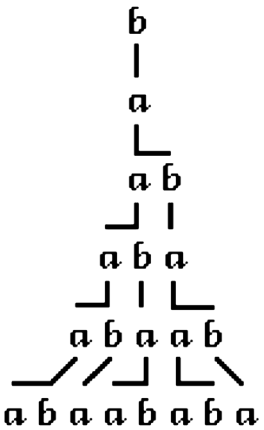


Figura 5. Exemplo de derivação do *D0L-System* (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 1990).

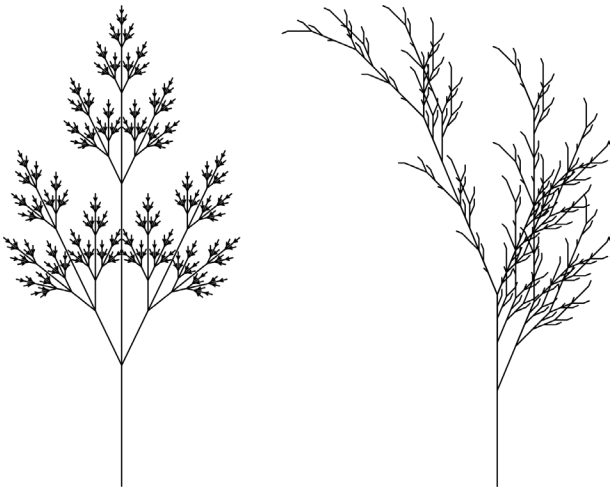


Figura 6. Estruturas de ramificação usando um *L-System* (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 1990).

Os *L-Systems* tiveram grande impacto em múltiplas áreas científicas, em especial na computação gráfica. A simulação repetitiva de regras que este sistema introduziu, permitiu diminuir significativamente as horas de trabalho especializado, como é o caso da modelação arquitetónica ou de elementos naturais onde são desenvolvidos trabalhos longos e complexos com grande precisão matemática.

Parish & Muller (2001) usaram um sistema fortemente inspirado nos *L-Systems* de forma a simplificar a complexa modelação de cidades. Estas, por norma, são definidas por um minucioso sistema de circulação que é influenciado diretamente pela população, topografia local e tipicamente por algum tipo de padrão. Além disso, a aparência dos edifícios deve cumprir um conjunto de regras históricas, estéticas e normas de construção.

O sistema procedimental proposto por Parish e Müller recebe imagens de mapas com a representação de corpos de água, limitações do terreno e a densidade populacional, que representam, tal como no *L-System*, as variáveis, constantes,

raízes e regras de produção, que permitem gerar cidades como a apresentada na Figura 7, com uma complexa rede de circulação com estradas principais e secundárias e dividindo o terreno em áreas de construção com a respectiva geometria dos edifícios.

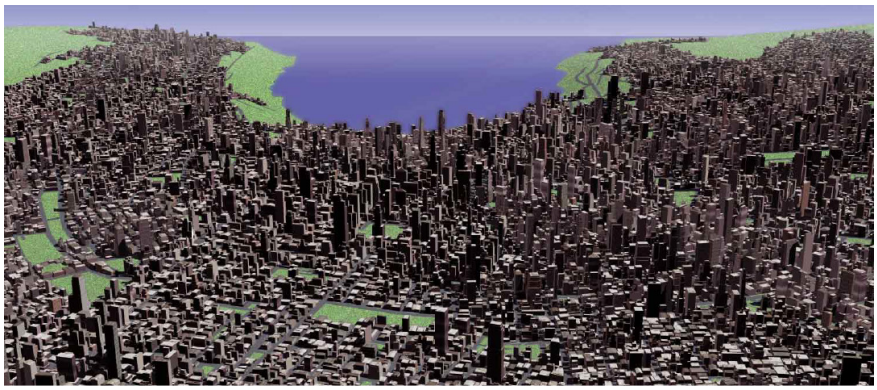


Figura 7. Cidade gerada pelo sistema *Procedural Modeling of Cities* (Parish & Müller, 2001).

Outro projeto semelhante é o *Procedural Modeling of Buildings* (Müller et al., 2006). Este, tal como o anterior, usa um sistema inspirado nos *L-Systems*. Este sistema, a partir de regras definidas pelo utilizador, produz uma extensa gama de modelos arquitetónicos com grande qualidade visual e detalhes geométricos a baixo custo para jogos eletrónicos e filmes. A Figura 8 apresenta uma réplica da cidade de Pompeia gerada procedimentalmente usando um total de 190 regras e 36 componentes 3D diferentes.

Figura 8. Cidade de Pompeia gerada procedimentalmente (Müller et al., 2006).

Uma das falhas presentes nos *L-Systems* é o controlo da função de crescimento que, para desenvolver algo complexo, necessita de um enorme nível de especificação. *Metropolis Procedural Modeling* (Talton et al., 2011) é um sistema que resolve este problema ao dar ao modelador a possibilidade

de definir um espaço de crescimento através de um esboço ou um espaço geométrico para este crescimento, tal como é mostrado na Figura 9 onde o crescimento procedimental das árvores foi delimitado por tipografia.

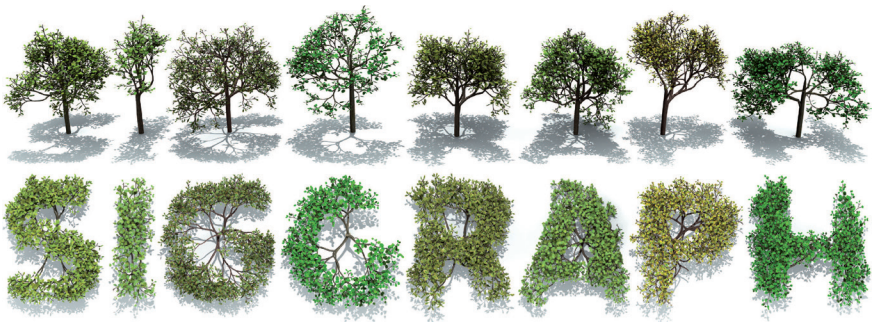


Figura 9. Árvores geradas procedimentalmente delimitadas por tipografia (Talton et al., 2011).

Outra técnica de modelação explorada mais tarde foram as *Shape Grammars* (Stiny & Gips, 1972). *Shape Grammars*, à semelhança dos *L-Systems*, é uma técnica que permite definir algoritmos generativos à custa de gramáticas. Esta técnica de produção gera formas geométricas, tipicamente 2D ou 3D, através da definição de regras de substituição, Figura 10, e da sua aplicação, Figura 11. Estas gramáticas codificam o conhecimento do desenho dentro de uma estrutura computacional como regras. A aplicação da gramática é suportada pelas regras de transformação e cada uma substitui uma forma por outra através de um conjunto de operações geométricas (Gu & Amini, 2021).

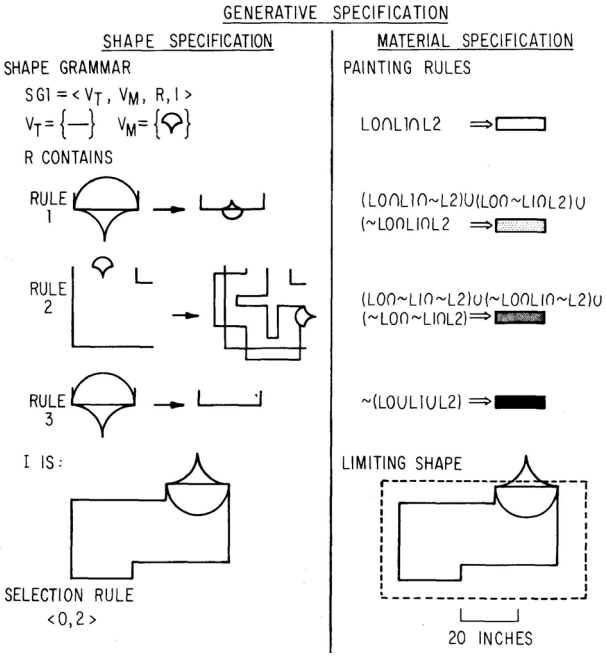


Figura 10. Especificações generativas (Stiny & Gips, 1972).

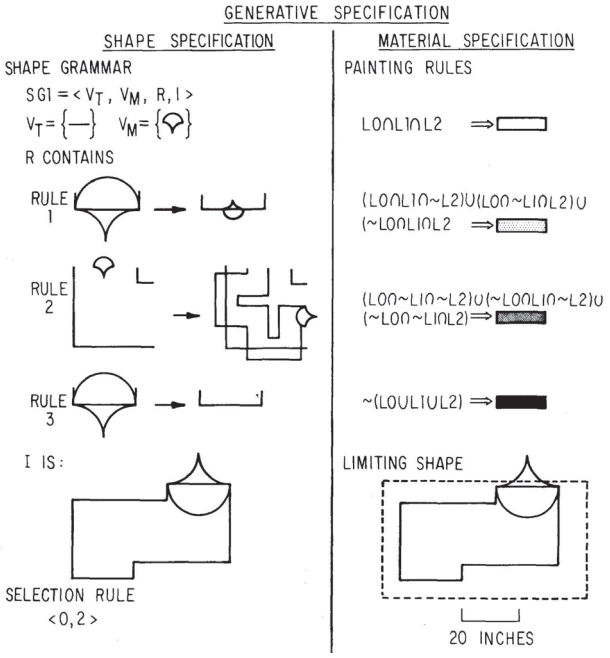
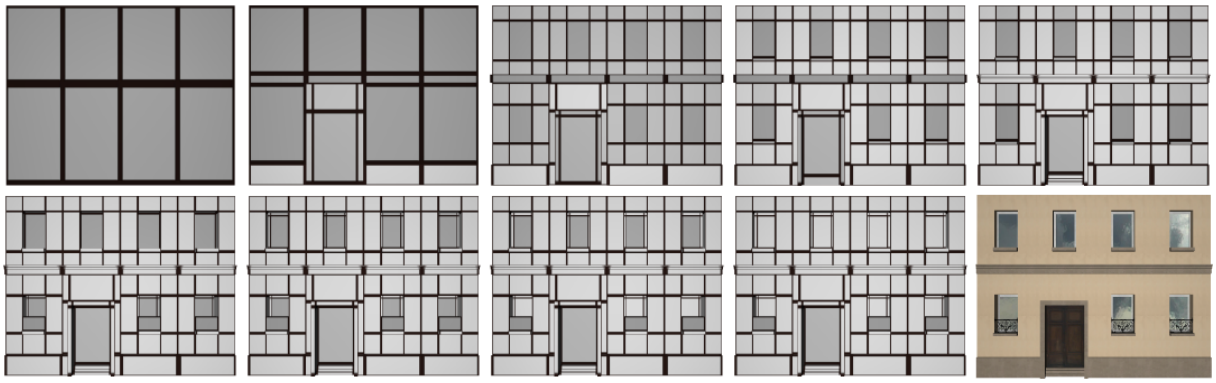


Figura 11. Estruturas gerada usando as especificações da Figura 10 (Stiny & Gips, 1972).

Originalmente, *Shape Grammars* eram usados para pintura e escultura, mas foram amplamente explorados na computação gráfica, principalmente na área da arquitetura onde foi expandida, dando origem às *Split Grammar* para a modelação urbanística.

Wonka et al. (2003) apresenta *Instant architecture*, um sistema de construção de edifícios usando *Split Grammar* através da repetição de um conjunto de regras, Figura 12. Até então, os *L-Systems* não conseguiam replicar este resultado porque, ao contrário das *Split Grammars*, simulam o crescimento em espaço aberto. Por outro lado, edifícios apresentam limitações espaciais e as suas estruturas não se refletem num processo de crescimento.

Figura 12. Iterações do sistema *Instant Architecture* (Wonka et al., 2003).



Hohmann et al. (2009) apresentaram *CityFit*, um projeto que expande a utilização de *Split Grammars* para a reconstrução urbanística baseada em imagens. Este sistema, tal como é mostrado na Figura 13, recebe uma imagem e, através do conjunto de regras definidas, constrói o seu modelo tridimensional.

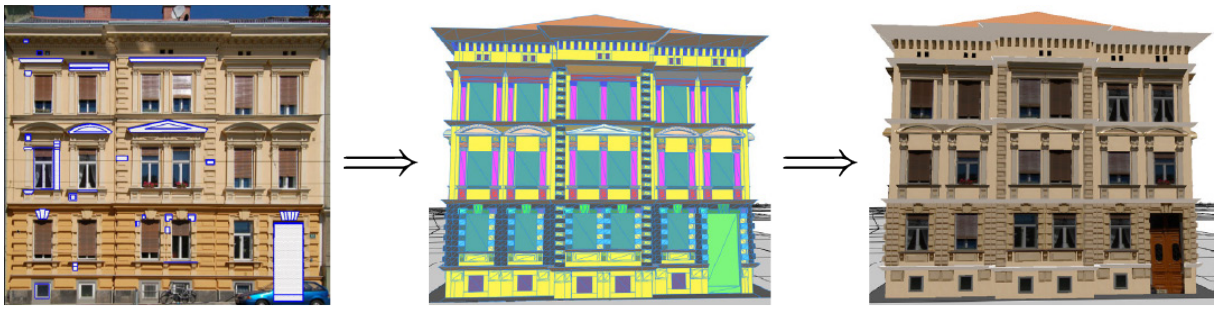


Figura 13. Reconstrução de fachada usando o sistema *CityFit* (Hohmann et al., 2009).

3.1.1.2. Modelação geométrica orientada por dados

A modelação geométrica orientada por dados é uma forma simples de criação de objetos 3D que se tornou popular com a técnica de montagem introduzida pelo trabalho *Modeling by Example* (Funkhouser et al., 2004). Esta técnica tem como base disponibilizar ao utilizador um método de pesquisa numa extensa base de dados de modelos 3D, onde é possível cortar as partes desejáveis e recombinar estas, criando assim novos modelos. A Figura 14 demonstra as qualidades deste processo combinatório ao criar uma cadeira original usando elementos pré-feitos de outras.

Figura 14. Construção de uma cadeira usando partes de outras (Funkhouser et al., 2004).

Outros trabalhos continuaram a fazer esforços no sentido de melhorar e automatizar o processo de modelação geométrica orientada por dados, como é o caso do *Model Composition from Interchangeable Components* (Kreavoy et al., 2007), que teve um enorme contributo na garantia de compatibilidade entre diferentes peças. Este projeto aponta que a troca de componentes de diferentes modelos se foca principalmente em classes de objetos, tais como pessoas, criaturas e casas. Por exemplo, ao observarmos criaturas quadrúpedes, é possível identificar semelhanças na sua estrutura: ambos têm quatro pernas, um torso, uma cabeça, e, tipicamente, uma cauda. O método apresentado passa pelo processo manual de classificação, segmentação e identificação das partes relevantes dos modelos. Após isto, o utilizador, através de uma única interação, faz a substituição dos elementos identificados por

equivalentes da mesma classe de objetos, formando modelos semelhantes aos apresentados na Figura 15.

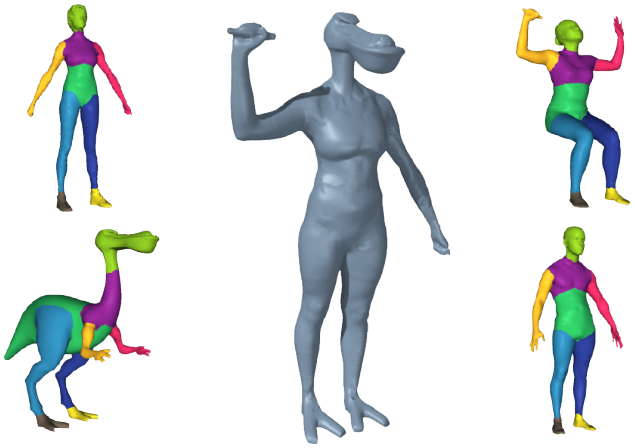


Figura 15. Substituição de elementos da mesma classe (Kreavoy et al., 2007).

Lee & Funkhouser (2008) introduziram uma nova abordagem de procura de elementos 3D usando esboços 2D. O algoritmo procura semelhanças entre a estrutura esboçada e as silhuetas de uma extensa biblioteca de elementos 3D. O elemento que mais se assemelhe será selecionado e posicionado na cena, tal como demonstrado na Figura 16, tendo em conta a orientação, posição e escala do esboço.

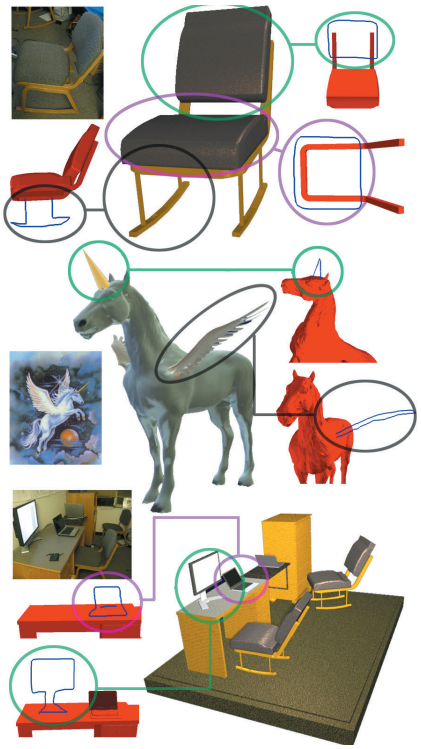


Figura 16. Objetos 3D procurados usando esboços (Lee & Funkhouser, 2008).

Chaudhuri & Koltun (2010) criaram *InspireMe*, um programa que simula o processo de criação através de um complexo sistema de sugestões de componentes. A solução permite ao modelador 3D solicitar sugestões de componentes considerados relevantes pelo sistema ao longo do processo de modelação. A relevância destas sugestões é calculada ao ser comparado automaticamente o formato do modelo 3D atual com outros existentes numa extensa biblioteca, atribuindo pontuações baseadas na sua probabilidade de serem usados. A Figura 17 apresenta o processo de criação de modelos 3D: na primeira linha encontram-se as formas criadas inicialmente pelo artista, na segunda os componentes sugeridos pela ferramenta e na terceira os modelos aperfeiçoados.

Figura 17. Modelos criados por artistas usando a ferramenta *InspireMe* (Chaudhuri & Koltun, 2010).

Na continuação do trabalho anterior, Chaudhuri et al. (2011) introduziram um modelo probabilístico que sugere um elemento 3D, tendo em consideração a sua compatibilidade semântica e/ou estética, permitindo assim ao utilizador ter sugestões mais relevantes no processo de modelação. A Figura 18 apresenta alguns dos modelos criados usando as sugestões dadas pelo modelo probabilístico.

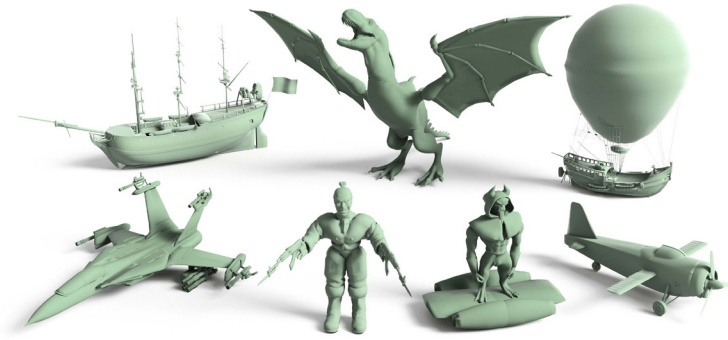


Figura 18. Modelos criados usando o modelo probabilístico (Chaudhuri et al., 2011).

Outro trabalho relevante no âmbito da modelação geométrica orientada por dados é o *Computer-Generated Residential Building Layouts* (Merrell et al., 2010). Por norma, planos arquitetónicos são desenvolvidos com múltiplas restrições e, tendo estas em consideração, o método proposto constrói modelos tridimensionais, tal como apresentado na Figura 19, através de uma rede bayesiana treinada usando dados do mundo real, combinando assim aprendizagem automática e técnicas de otimização arquitetónica, na geração de edifícios otimizados por métricas definidas pelo utilizador como, total de espaço, espaços existentes, adjacência entre estes, entre outras (Merrell et al., 2010).

Figura 19. Edifício criado e otimizado dada uma métrica (Merrell et al., 2010).

Por fim, Guo et al. (2014) desenvolveu um sistema muito relevante para o presente projeto *Creature Grammar for Creative Modeling of 3D Monsters*. Este sistema dispõe de uma base de dados de modelos manualmente segmentados e etiquetados nas diferentes categorias, e a sua simetria e relação entre partes pré-analisadas e armazenadas. O resultado deste sistema são modelos de criaturas, como a Figura 20, gerados pela consequente seleção de preferências do utilizador, selecionando partes indesejáveis que são substituídas, processo que é repetido até o utilizador se encontrar satisfeito.

Figura 20. Criatura com formato de centauro (Guo et al., 2014).

3.1.1.3. Modelação baseada em esboço

A modelação baseada em esboços é uma área que foi fortemente investigada e que apresentou resultados muito interessantes. O trabalho pioneiro de Igarashi et al. (1999), introduziu uma interface de desenho livre de linhas 2D que especificam a silhueta de um objeto (Figura 21) e, tendo em consideração estas, o sistema constrói automaticamente o modelo 3D (Figura 22).

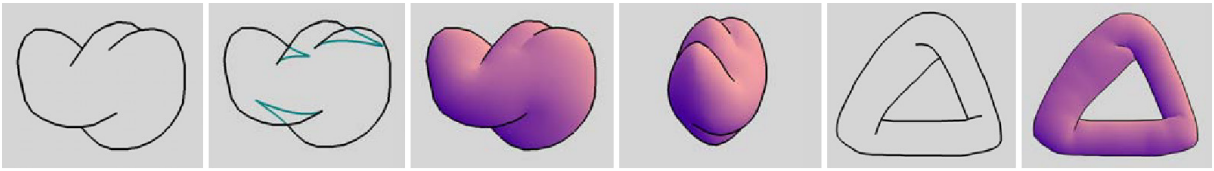
Partes individuais da silhueta são desenhadas no espaço 3D com ajuda de diferentes pontos de vista, sendo posteriormente misturadas. Este processo intuitivo permite a criação de complexos modelos 3D usando uma pequena quantidade de traços (Igarashi et al., 1999).

Figura 21. Esboço de um urso (Igarashi et al., 1999).

Figura 22. Modelos enchidos tendo por base um esboço (Igarashi et al., 1999).

Os trabalhos que se seguiram trouxeram várias formas de criar elementos através de enchimento, manipulação e junção. Com especial relevância ao *SmoothSketch* de Karpenko e Hughes (2006) que introduziu uma nova técnica que prescinde de qualquer tipo de manipulação 3D, ao ser feita uma estimativa da conexão dos componentes 2D no espaço 3D, tal como é mostrado na Figura 23 onde, usando um simples esboços, o sistema assume a profundidade dos objetos, demonstrando que é possível automatizar estas tarefas com apenas interações 2D.

Figura 23. Criação de modelo 3D usando esboço do utilizador e contornos escondidos assumidos pelo sistema (Karpenko & Hughes, 2006).



Com a lógica introduzida por Karpenko & Hughes (2006), Turquin et al. (2007) propôs um sistema de modelação de roupa 3D que usa apenas algumas linhas 2D, como é mostrado na Figura 24, que consegue definir cortes e dobras do tecido.

Figura 24. Modelação de roupa 3D usando apenas esboços 2D (Turquin et al., 2007).

Vários trabalhos mais recentes introduziram métodos de definir simetrias, estimativas de profundidade e superfícies implícitas na produção de modelos 3D. Trabalho relevantes como o de Entem et al. (2015) na criação de animais através da definição de simetrias (Figura 25) ou o de Bobenrieth et al. (2020) que usa linhas tracejadas para definir profundidade (Figura 26).

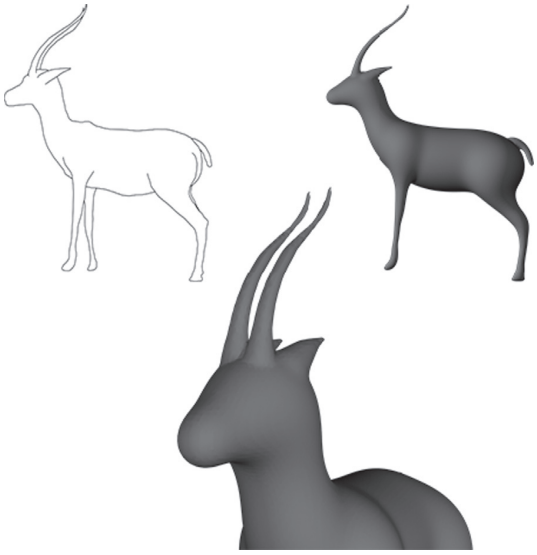


Figura 25. Modelo 3D criado a partir de simetrias definidas pelo utilizador no esboço 2D (Entem et al., 2015).

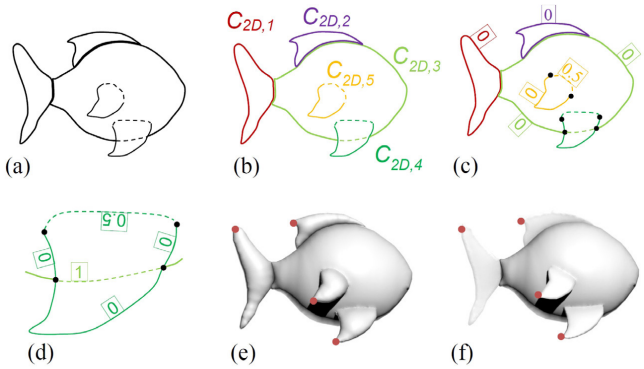


Figura 26. Linhas sólidas que definem a silhueta visível e linhas tracejadas a silhueta oculta. (Bobenrieth et al., 2020).

Apesar destas técnicas serem capazes de produzir formas 3D complexas usando apenas um esboço que representa um único ponto de vista, novos métodos que usam múltiplos pontos de vista surgiram com os recentes progressos em aprendizagem automática, como é o caso do trabalho de Lun et al. (2017), Figura 27, que, usando apenas duas imagens, prevê a profundidade e mapas da normal dos esboços, calculando uma nuvem de pontos usada posteriormente na construção do modelo 3D.

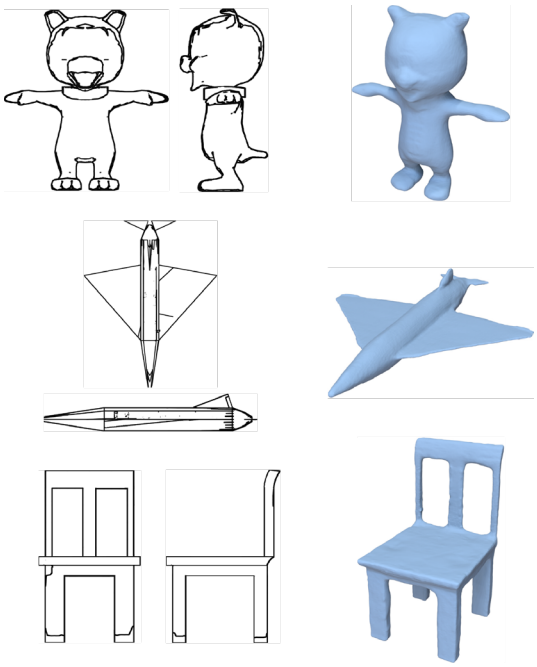


Figura 27. Modelos calculados usando dois pontos de vista ortogonais (Lun et al., 2017).

Por fim, um dos mais recentes métodos, o trabalho de Gao et al. (2022), usa uma lógica semelhante à citada anteriormente, só que neste caso, com uma rede neuronal treinada por uma extensa biblioteca de imagens. Esta permite produzir uma enorme variedade de modelos 3D texturizados a pedido, tais como os apresentados na Figura 28, e interpolar estes em

resultados intermédios lógicos, por exemplo entre um cão e uma raposa. Além disso, este compreende a diferença entre geometria e texturas, ou seja, a geometria ao ser alterada, as suas texturas são posicionadas corretamente (Gao et al., 2022).

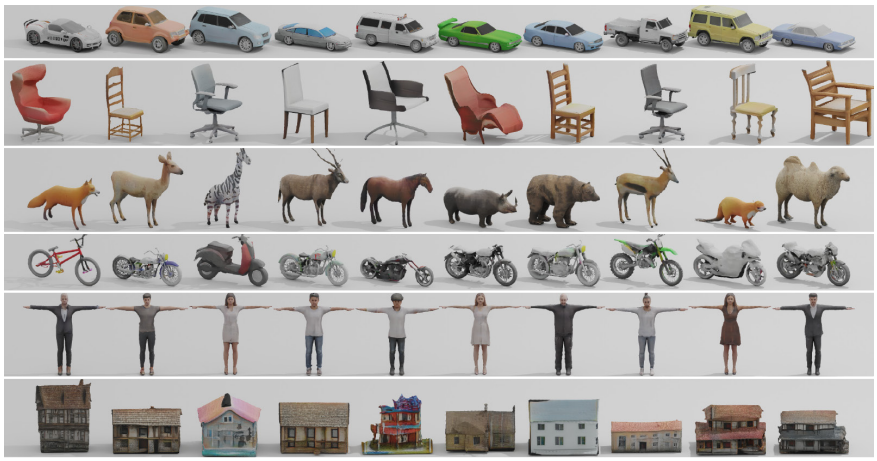


Figura 28. Modelos criados pela rede neuronal (Gao et al., 2022).

3.1.2. Texturas e mapeamento

Texturas podem ser usadas para adicionar detalhes à aparência de um objeto ao associar propriedades a cada um dos seus vértices, como a cor da superfície, brilho ou rugosidade, permitindo assim criar renderizações mais realistas. A cor de um um pixel numa renderização é determinada, normalmente, em cálculos da informação do objeto subjacente que aparece naquele pixel. Se for um triângulo de uma malha, por exemplo, é usada a sua orientação para determinar quão brilhante é o ponto sob a iluminação presente na cena. Em alguns casos pode ser atribuída uma única cor a esse triângulo, mas noutros casos pode haver uma cor associada a cada um dos vértices, sendo feita uma interpolação para obter a cor do ponto de interesse. No entanto, normalmente os vértices do triângulo são mapeados numa textura sendo determinada a cor do ponto de interesse pela sua localização na textura mapeada, como é mostrado na Figura 29 (Hughes et al., 2013, p. 215).

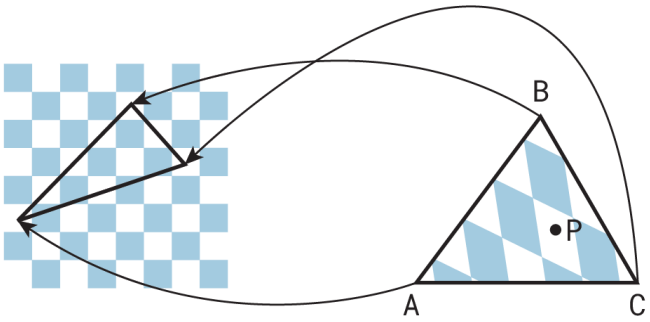


Figura 29. Cor do ponto P do triângulo △ABC determinado pelo mapeamento da textura (Hughes et al., 2013, p. 215).

No mapeamento de mapas *UV* cada um dos polígonos da malha corresponde a um polígono no mapa *UV*. No entanto, essa correspondência não se aplica da mesma forma a arestas e vértices. Quando uma aresta da malha possui uma costura, ela se divide em duas arestas separadas no mapa *UV*. Da mesma forma, um vértice da malha se divide em tantos pontos no mapa *UV* quantas costuras o cruzam. Para estabelecer uma relação entre o mapa *UV* e o ponto da malha, é introduzido o conceito de *Mesh Loop*.

Um *Mesh Loop* é a combinação lógica de uma aresta e um vértice. Duas faces poligonais adjacentes possuem uma aresta comum e dois vértices comuns, porém cada face possui suas próprias *Mesh Loop* separadas localizadas no local da aresta comum. Portanto, um polígono quadrangular separado possui 4 vértices, 4 arestas e 4 *Mesh Loop*. Por outro lado, como é possível observar na Figura 30, o cubo padrão possui 8 vértices, 12 arestas e 24 *Mesh Loops* - sendo 6 polígonos com 4 *Mesh Loop* em cada um.

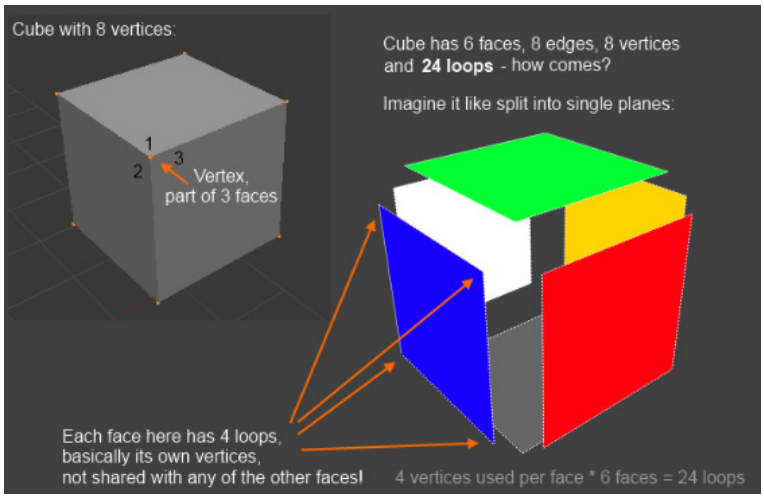


Figura 30. *Mesh Loops* (CoDEmanX, 2012).

3.1.2.1. Geração de texturas

Por norma as texturas usadas nos modelos tridimensionais são imagens fotografadas ou criadas diretamente por um designer, no entanto, um objeto de estudo da computação gráfica é o método 'síntese de imagem' que permite construir grandes imagens digitais usando uma pequena fração de uma imagem (Figura 31).

Este método de criação de imagens é usado em muitas áreas da computação gráfica como a edição digital, computação gráfica e pós-produção de filmes. Este processo algorítmico consegue preencher buracos em imagens, criar uma imagem de fundo não repetitiva e expandir pequenas imagens. Um exemplo do uso desta tecnologia pode ser na criação de um grande edifício de tijolos sem a óbvia repetição de uma textura (Hughes et al., 2013, p. 609).

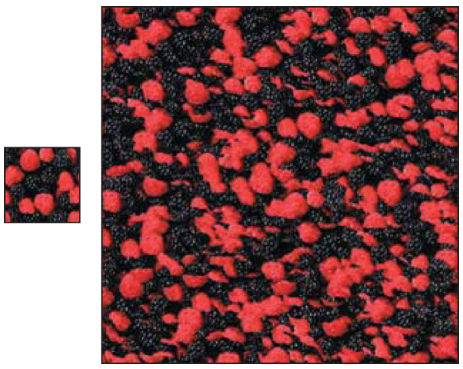


Figura 31. Imagem gerada segundo o método de síntese de imagem, à esquerda está a imagem base e à direita o resultado obtido (Ashikhmin, 2001).

A área da síntese de imagem está em constante investigação e em 2001, Michael Ashikhmin (2001), introduziu a síntese de imagem controlada, mostrada na Figura 32 onde é possível ver o resultado do processo de síntese de imagem segundo uma imagem alvo.

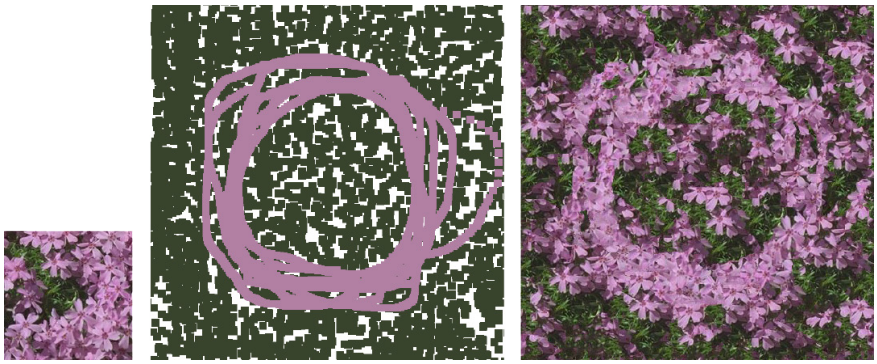


Figura 32. Imagem gerada segundo o método de síntese de imagem controlada, à esquerda está a imagem base, no centro o formato sugerido pelo utilizador e à direita o resultado obtido (Ashikhmin, 2001).

Siddiqui et al. (2022), introduziu um novo método de geração de texturas para objetos tridimensionais chamado *Texturify* (Figura 33). Este método permite obter diferentes estilos de textura para um dado objeto, decodificando a sua geometria e fornecendo esta informação a uma rede neural treinada, muito semelhante à *StyleGAN* introduzida em 2018 pela *Nvidia*, que gera uma textura com as cores das diversas faces da geometria sendo esta renderizada posteriormente em diversos ângulos para ser comparada com imagens reais de forma a obter uma textura o mais realista possível (Siddiqui et al., 2022).

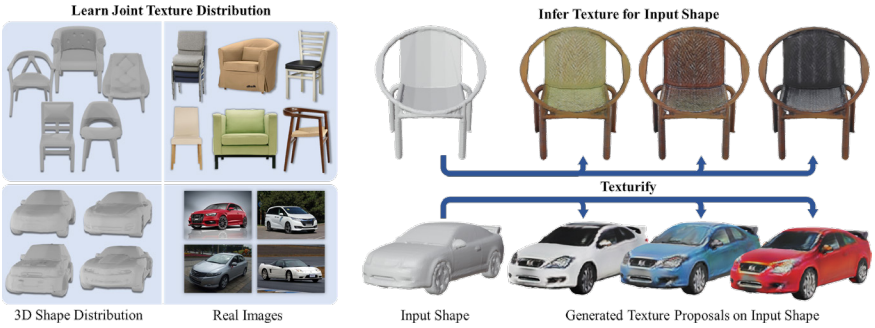


Figura 33. Texturas geradas usando objetos tridimensionais segundo o método *Texturify* (Siddiqui et al., 2022).

3.2. Credibilidade

Segundo Fogg e Tseng (1999), a credibilidade de um artefato mede-se pela percepção dos seus utilizadores, ou seja, um artefacto é credível se os seus utilizadores identificarem este como confiável, independentemente da sua veracidade. No entanto, a qualidade credível de um artefato multimédia está ligada com quanto o utilizador está disposto a suspender a sua descrença, isto é, evitar ter um pensamento crítico ou lógico ao apreciar algo irreal ou impossível, como por exemplo, com o intuito de desfrutar de uma obra de ficção por diversão.

O conceito de suspensão de descrença foi explorado pelas primeiras vezes por Aristóteles nos princípios do teatro quando a audiência ignorava a irrealidade da ficção de forma a experimentar a catarse (William Safire, 2007). Em 1817, este conceito foi introduzido pelo poeta e filósofo Samuel Taylor Coleridge, que sugeriu que se um escritor conseguir infundir um "interesse humano e uma aparência de verdade" num conto fantástico, o leitor suspenderá o julgamento sobre a implausibilidade da narrativa (Coleridge, 1817).

Nem todos os autores acreditam que a ‘suspensão da descrença’ seja adequada para descrever a relação entre as pessoas e a ficção. Tolkien, o autor das obras de ficção *Lord of*

the Rings e *The Hobbit*, em 1947 desafia este conceito no seu ensaio *On Fairy-Stories* onde afirma que na literatura existe um 'Mundo Secundário' onde apenas a mente consegue entrar. Este mundo é um modelo mental da narrativa onde as leis são ditadas pelo seu criador e estas são cumpridas e aceites pelo espetador enquanto este as vivencia (Tolkien, 1983). Tolkien argumenta que um 'Mundo Secundário' bem construído não necessita de qualquer tipo de 'Suspensão da descrença' e que argumentos como "não existe no nosso mundo primário, ou acredita-se não existir" estão relacionados com a ausência de uma estrutura que apoie a descrença além da sua mera descrição (Tolkien, 1983).

No seguimento do estudo dos conceitos referidos foi introduzido o conceito de 'presença', um fenómeno que descreve a interação do utilizador com um artefato multimédia que deixa de reconhecer, respondendo a este como se não existisse. Lombard e Ditton (1997) definem este fenómeno como uma "ilusão de que uma experiência mediada não é mediada".

Lombard e Ditton (1997) enumeram as seis abordagens usada para conceptualizar a 'presença': (1) o seu valor social, (2) o seu realismo, (3) a habilidade de transportar o utilizador para aquele mundo, (4) a imersão dos seus sentidos, (5) a sensação de influenciar o meio isto é, não ser um observador passivo, e (6) a sensação de que o meio é uma entidade social.

3.2.1. Criaturas credíveis

Um dos principais objetivos do projeto a desenvolver nesta dissertação passa pela capacidade de criar criaturas credíveis. Como tal, nesta subsecção serão abordadas algumas das características identificadas por outros autores que definem a credibilidade de uma criatura.

Martins et al. (2015) conduziram um inquérito online com o intuito de identificar as principais características que definem as qualidades de uma combinação de elementos entre várias criaturas. Neste inquérito foram avaliadas as 15 criaturas da Figura 34, criadas pelo artista Arne Olav, segundo o seguinte conjunto de critérios: (1) impressão geral, (2) novidade/surpresa, (3) interesse, (4) apelo estético, (6) comicidade/humor, (7) coerência/consistência, (8) se evoca sentimentos positivos, (9) se evoca sentimento negativos e (10) potencial criativo comercial.

Figura 34. Lista de animais híbridos criados por Arne Olaf e usados no inquérito de credibilidade do artigo *The Good, the Bad, and the AHA! Blends* (Martins et al., 2015).

Foi identificado, através dos resultados obtidos no inquérito, que os fatores mais importantes numa combinação são a surpresa/novidade e o apelo estético. A surpresa e novidade são necessárias mas não suficientes para garantir uma combinação de alta qualidade e, muita surpresa pode tornar-se num fator desfavorável se afetar a consistência da estrutura emergente. O apelo estético foi considerado um critério importante não só pela qualidade da renderização mas também por aspetos de composição como a simetria e proporções (Martins et al., 2015).

Barreto (2019) investiga os aspetos que definem a credibilidade de criaturas em videojogos atribuindo-lhe sete principais características: (1) é capaz de reagir ao seu ambiente, isto é, estar ciente e ser capaz de interagir com este; (2) consegue movimentar-se autonomamente e coordenação motora; (3) comportar-se de forma consistente dentro do seu contexto; (4) tem uma morfologia consistente com o seu habitat; (5) é capaz de se aprimorar e reproduzir-se; (6) produz objetos orgânicos (resíduos, ovos, filhotes, etc.) e (7) usa o seu corpo como meio para se comunicar, aprender ou sobreviver.

3.3. Estudos de caso

Criaturas criativas estão presentes nos mais diversos meios, tais como jogos, filmes e livros. Aqui serão identificados e aprofundados alguns dos principais e mais relevantes trabalhos desenvolvidos na área da geração de criaturas.

3.3.1. Spore

Spore, um jogo lançado em 2008, apresentou uma premissa inovadora, um mundo aberto cheio de criaturas alienígenas onde era dada a liberdade ao jogador de criar a sua própria criatura (Figura 35) ao recolher ADN espalhado pelo mundo (EA Games, 2008).

Este sistema de criação de criaturas ofereceu uma enorme capacidade criativa ao jogador que podia controlar a forma do tronco, o posicionamento dos membros, a cor e o tamanho.

Chris Hecker escreveu sobre o seu contributo para o jogo no seu website, dividindo o processo de criação em quatro etapas, a malha de polígonos, a texturização, a animação e o comportamento das criaturas (Hecker, 2009). Para o presente trabalho serão aprofundadas apenas as duas primeiras etapas, malha e textura.

Figura 35. *Spore, Creature Creator* (EA Games, 2008).

3.3.1.1. Geometria

Diferente dos típicos jogos onde existem personagens pré-definidos criados por artistas 3D profissionais, *Spore* apresenta um sistema criativo em tempo-real que regenera a pele das criaturas ao ser deformada pelo utilizador e ao serem anexados e desanexados membros.

Para a representação das criaturas foram usadas *metaballs* (Figura 36), formas com aspecto orgânico, que embora sejam robustas topologicamente falham no seu controlo local, algo que não acontece ao modelar diretamente superfícies triangulares devido ao seu nível de detalhe.

Esta decisão foi tomada pela necessidade de manter o sistema o mais simples possível para o utilizador e tornando a informação leve e fácil de processar.

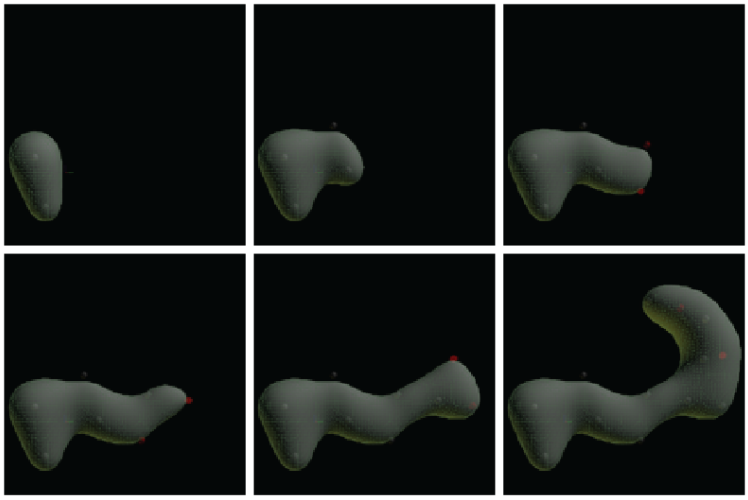


Figura 36. *Metaballs* (Hecker, 2009).

3.3.1.2. Texturas

Tal como a malha da criatura é gerada automaticamente em tempo-real, a texturização passa pelo mesmo. Uma textura necessita ter um mapa de coordenadas do modelo 3D em 2D chamado de texture atlas, normalmente esta conversão é feita por um artista profissional e pode levar múltiplas horas para ser concluída e aperfeiçoada. No entanto, em Spore, este processo é feito em tempo real, agarrando num triângulo aleatório não mapeado e agregando todos os triângulos vizinhos voltados na mesma direção, este processo é repetido múltiplas vezes até a criatura se encontrar totalmente mapeada.

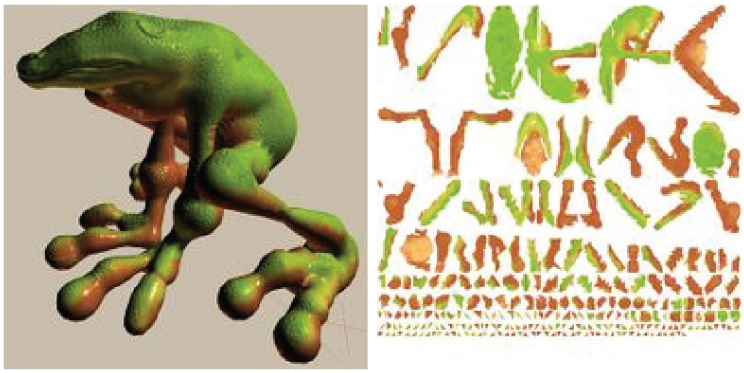


Figura 37. *Spore*, algoritmo de *Texture Atlas* (Hecker, 2009).

Figura 38. *Battle for Middle Earth, Texture Atlas* (Hecker, 2009).

Nas imagens acima é possível comparar o texture atlas feito pelo algoritmo de Spore (Figura 37) com o trabalho feito por um profissional em Battle for Middle Earth (Figura 38). Embora o algoritmo não tire proveito do espaço da textura tal como um profissional, este é feito em segundos.

Na segunda fase da texturização, foi usado um sistema de partículas (Figura 39) que gera partículas diretamente em cima da criatura e estas seguem instruções que indicam como se deve dissipar ao longo do modelo, tal como, por exemplo, seguir na direção da cabeça.

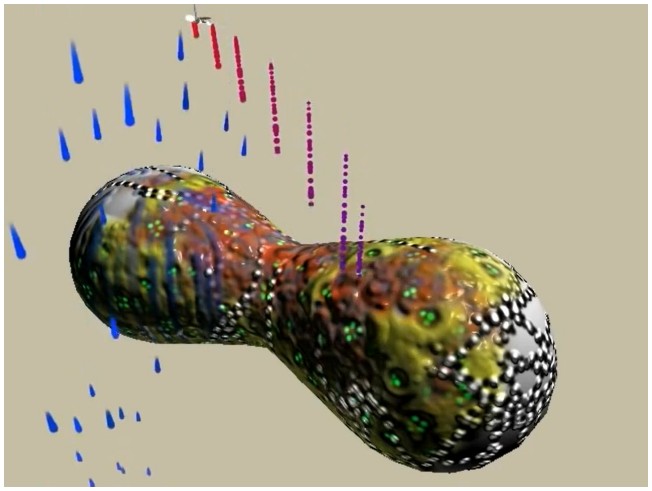


Figura 39. *Spore*, pintura com sistema de partículas (Hecker, 2009).

3.3.1.3. Capacidade criativa

A capacidade criativa do sistema desenvolvido em *Spore* dá uma liberdade criativa ao jogador; no entanto, segundo o estudo feito por Cockbain, Vertolli, e Davies, onde foi comparado o resultado criativo entre o uso desta ferramenta e o desenho feito à mão, foi verificado que a mudança de ferramentas não altera o output criativo (Cockbain et al., 2014).

Segundo a conclusão do estudo anterior, tecnologia diferente não altera a produção criativa, deve-se à procura por parte do utilizador de um equilíbrio entre o familiar e a incongruência, esta procura é verificada até mesmo em crianças no que é chamado de efeito de Goldilock — alcançar um equilíbrio que é "exatamente aquele" (Kidd et al., 2012).

Citando James Cameron a falar numa entrevista da raça alienígena *Na'vi* do seu filme *Avatar*: "As pessoas precisam sentir conexões com as coisas que reconhecem, até mesmo com o design do *Na'vi*. Não há justificação plausível - a menos que se vá para alguma explicação realmente misteriosa - para os *Na'vi* parecerem tão humanos. É só que a ficção científica não é feita para um público galáctico. É feito por seres humanos para seres humanos." (Moseman, 2010).

3.3.2. No Man's Sky

No Man's Sky (Figura 40) é um jogo de exploração espacial desenvolvido em 2016 onde grande parte do seu conteúdo é gerado procedimentalmente desde planetas, naves espaciais e criaturas (Hello Games, 2016).

Figura 40. *No Man's Sky (Hello Games, 2016).*

Segundo um estudo realizado em 2011, estima-se que existam cerca de 8.7 milhões de espécies na terra, das quais apenas 1.2 milhões foram descobertas (Mora et al., 2011). Enquanto isso, *No Man's Sky* atingiu 10 milhões de espécies encontradas por jogadores, tudo graças ao seu impressionante sistema generativo.

No âmbito do presente trabalho será apenas aprofundada a tecnologia usada na geração destas criaturas. Embora não haja informação oficial sobre o sistema usado, um blogger chamado gregkwaste através de engenharia inversa conseguiu obter algumas informações do sistema (gregkwaste, 2016).

3.3.2.1. Geometria

Na investigação feita por grekwaste (2016) os ficheiros são compostos por modelos complexos e confusos divididos em múltiplos componentes sobrepostos, tal como apresentado na Figura 41 onde várias partes do modelo do tricerátopo se sobrepõem.

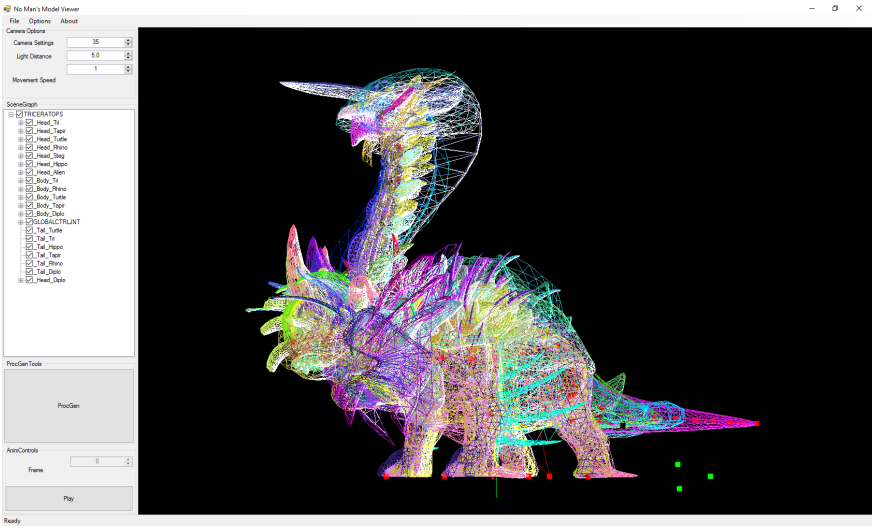


Figura 41. Modelo do tricerátopo (gregkwaste, 2016).

Estes modelos não representam a forma final de nenhuma das criaturas geradas pelo jogo, mas uma estrutura base desenvolvida por artistas 3D que posicionaram e renomearam múltiplos componentes de forma a serem interpretados pelo sistema de geração.

Estes modelos são acompanhados por mais um ficheiro, um documento textual que identifica coleções de componentes, por exemplo cabeça e torso, as suas possíveis ligações e a chance de aparecerem.

Utilizando estes dois ficheiros o processo de criação funciona da seguinte maneira, é escolhido um modelo e usando o documento associado e uma função probabilística é selecionado um componente para cada coleção.

Figura 42. Criaturas geradas usando o modelo do tricerátopo (gregkwaste, 2016).

3.3.2.2. Texturas

Todas as criaturas do jogo têm as suas texturas geradas procedimentalmente dando um maior nível de criatividade e unicidade a cada uma destas criaturas.

Segundo a investigação do gregkwaste (gregkwaste, 2016) todas as criaturas estão associadas com uma textura 'normal' fixa e uma textura 'difusa' gerada por um sistema semelhante ao da geometria.

O processo é o seguinte, um dos ficheiros do jogo, tal como o da geometria, define a forma de combinação de várias texturas fornecidas pelos artistas para cada um dos componentes de forma semi-aleatória.

Esta combinação é semelhante à do *Photoshop*, onde entre cinco a oito layers são misturados criando uma textura única para cada uma destas criaturas que, mesmo com geometria semelhante, têm cores completamente diferentes, marcas, formas, etc.

Para acrescentar a este complexo sistema, em cada um dos planetas gerados é gerada uma paleta de cores que é usada para definir a cor das criaturas, uniformizando estas.

3.3.3. Where Beasts Were Born

Where Beasts Were Born é um jogo que, embora ainda esteja em desenvolvimento e não tenha o reconhecimento dos citados anteriormente, apresenta um sistema complexo e bastante relevante para a realização e conceptualização deste projeto.

O objetivo do jogador em *Where Beasts Were Born* é a recolha de cogumelos que se encontram em cavernas subterrâneas (Figura 43). Estas grutas são habitadas por criaturas com tamanhos e formas muito variadas que protegerem este local e, a cada geração, aprendem com o jogador e ficam mais fortes e inteligentes (Germanunkol, 2022).

Figura 43. Criatura e ambiente de *Were Beast Were Born* (Germanunkol, 2022).

Este sistema que permite a geração, evolução e combinação de criaturas foi explicado pelo próprio desenvolvedor num dos seus diários de desenvolvimento, onde é mostrada a lógica usada na construção de tais criaturas e como tal será resumido e explicado nos subtópicos seguintes.

3.3.3.1. Geometria

Segundo Germanunkol (2022), o criador do jogo, a construção do seu sistema foi feita usando a linguagem *Python* no *Blender*, com o qual cria geometria usando um conjunto de dados. As criaturas geradas pelo sistema são constituídas por diversos elementos tridimensionais que são criados e armazenados usando um conjunto de genes que representam a aparência destes. Cada gene da criatura é representado por um valor hexadecimal contido entre 0000 e FFFF que é posteriormente mapeado de forma a representar um valor real. Estes valores além de serem usados como forma de representar a geometria da criatura, são também usados para delimitar outra geometria, por exemplo, o comprimento máximo da cauda pode ser

até duas vezes maior que o do seu torso (Germanunkol, 2022).

Este sistema traz consigo muitas vantagens na criação de novas criaturas que, embora esteja limitado a um modelo anatómico semelhante ao dos insetos, permite combinar e interpolar os seus elementos, tal como demonstrado na Figura 44, onde é feita a combinação de duas criaturas gerando filhos semelhantes a estes devido à herdabilidade.

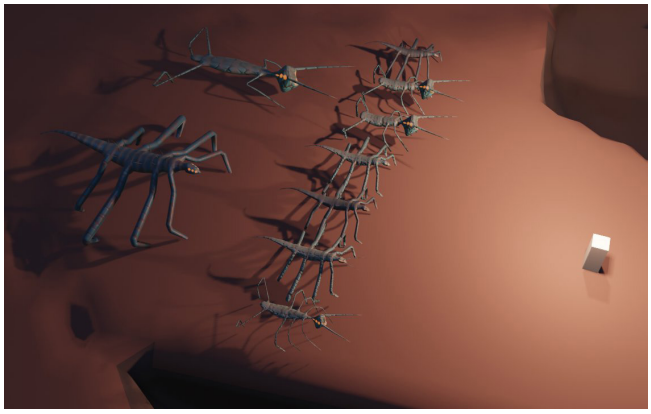


Figura 44. Geração de novas criaturas através da combinação das duas primeiras (Germanunkol, 2022).

3.3.3.2. Texturas

Outro ponto relevante também explicado por Germanunkol (2022) é a criação das texturas usadas pelas suas criaturas. Tal como explicado em 3.3.3.1, as texturas são também geradas através de um conjunto de genes que representam assim as cores da criatura permitindo uma evolução e herdabilidade coerente entre estas. No entanto este não é o único truque usado, durante o processo de criação são atribuídas variáveis à geometria permitindo assim identificar corretamente o posicionamento destas texturas distribuindo-as de forma harmoniosa e credível. Tal como é mostrado na Figura 44 onde é armazenada a informação relativa à posição dos vértices.

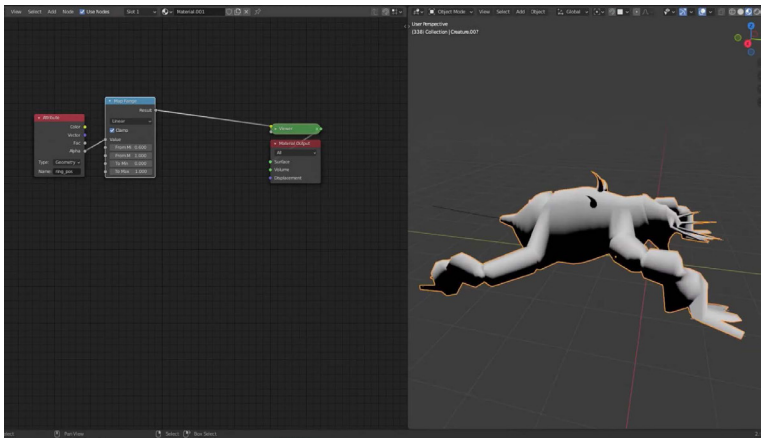


Figura 45. Mapeamento de texturas usando atributos no *Blender* (Germanunkol, 2022).

4.

O Sistema Shapeshifter

Após a recolha e estudo do atual estado da arte, foi possível compreender o papel que este sistema desempenhará no processo criativo dos modeladores, ou outras profissões na área das indústrias criativas, e como é que estes podem beneficiar deste. Pretende-se dar ao utilizador um método de controlo do processo combinatório das criaturas para que este possa obter os resultados de fácil integração no seu processo de trabalho.

A qualidade do sistema desenvolvido está diretamente relacionada com a qualidade visual dos resultados que produz e, como identificado na secção 3.2 e sub-sub-secção 3.3.1.3, a sua credibilidade. Consequentemente, as criaturas geradas devem seguir uma lógica de construção com base em modelos anatómicos reais, e uma cuidada texturização. Para alcançar esta combinação, será usado o método de modelação geométrica orientada por dados, descrito no capítulo 3, que segue um processo de construção inspirado na integração conceptual, um mecanismo cognitivo associado à criação de ideias e significado (Turner, 2014).

Seguindo a lógica de criação estabelecida, na Figura 45 foram identificados os módulos que definem a *pipeline* do sistema *Shapeshifter*. A fase inicial corresponde a um pré-processamento, onde modelos de criaturas são desconstruídos de modelos complexos em componentes menores, como braços e pernas, que são então identificados e catalogados para serem identificados pelo sistema. Os *inputs* do sistema são as componentes pré-processadas bem como os parâmetros de criação definidos pelos utilizadores. O processo de construção de uma nova criatura passa pelas seguintes etapas:

1. Fase de Avaliação: Nesta etapa, as várias componentes são avaliadas de acordo com os parâmetros definidos.
2. Fase de Geração: Aqui são selecionadas as componentes a serem utilizadas na criação da criatura. A escolha das peças é definida tendo por base a sua avaliação (componentes com uma melhor avaliação têm mais probabilidade de serem selecionadas) e nas regras de mutação estabelecidas (probabilidade de ser escolhida uma peça aleatória).
3. Fase de Combinação: As componentes selecionadas na etapa anterior são combinadas logicamente segundo instruções de posição, rotação e escala.
4. Fase de Texturização: As texturas das componentes selecionadas são misturadas na área de combinação.
5. Reinício do Processo: Caso ainda haja áreas de ligação não utilizadas, a fase um do processo de criação é reiniciada.

Após a conclusão do processo de construção, a criatura

gerada é apresentada, seguindo as instruções inseridas de forma criativa e, ao mesmo tempo, mantendo sua credibilidade. Proporcionando aos utilizadores uma ferramenta valiosa para a criação de criaturas únicas e autênticas (Figura 47).

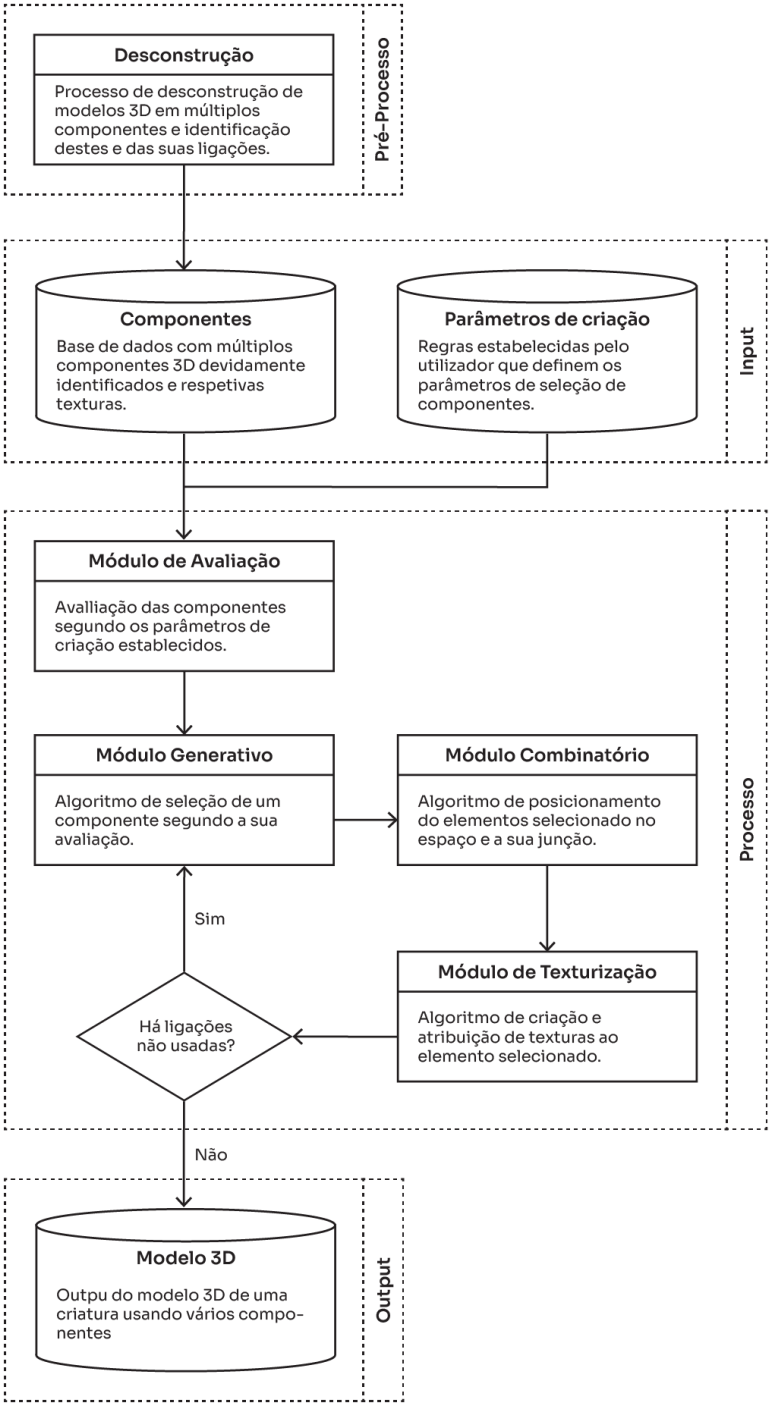


Figura 46. Pipeline de execução do nosso sistema Shapeshifter.

Figura 47. Criaturas geradas pela ferramenta *Shapeshifter*.

4.1. Integração com o Blender

Na tentativa de criar uma ferramenta artística que promova a criatividade e inspire a expressão individual, foi decidido que a utilização do *software Blender* seria uma escolha apropriada.

O ecossistema de criação proporcionado pelo *Blender* sobressai-se pela sua natureza de código aberto, a riqueza de recursos e a capacidade de integração de *addons*. Esta combinação oferece o suporte indispensável para a concepção de uma ferramenta que não só estimula a criatividade, mas também introduz perspectivas inovadoras e uma experiência de modelação e exploração criativa.

Além disso, o *Blender* é conhecido pela sua comunidade vasta e diversificada, que transcende os limites do mero *hobby*, estendendo-se para a esfera profissional das indústrias criativas. Esta comunidade atuante não somente contribui para o constante crescimento e aprimoramento do *software*, mas também forma um espaço propício para a troca de ideias, tutoriais e projetos colaborativos, enriquecendo ainda mais a experiência de todos os envolvidos.

4.1.1. Addons

A habilidade de desenvolver *addons* personalizados foi o fator preponderante que nos direcionou à escolha deste ambiente. Estes módulos adicionais ampliam as funcionalidades do software, permitindo aos utilizadores personalizar e otimizar a sua experiência criativa.

A decisão de adotar essa abordagem visa simplificar o processo criativo para os utilizadores, incorporando uma interface intuitiva que oferece acesso direto às capacidades avançadas subjacentes. Isso é particularmente benéfico para iniciantes que desejam explorar o mundo da modelação 3D sem enfrentar uma curva de aprendizagem íngreme.

Além disso, a capacidade de criar *addons* no *Blender* incentiva uma comunidade ativa de desenvolvedores e artistas, que contribuem para uma troca constante de ideias e recursos que enriquece o ambiente de criação para todos os utilizadores.

4.1.2. Library Assets

A funcionalidade *Library Assets* presente no *Blender* proporciona aos utilizadores a capacidade de armazenar e gerir diversos componentes e elementos 3D de maneira eficiente.

Esta funcionalidade demonstra uma notável flexibilidade e eficácia devido à facilidade com que os utilizadores podem adicionar, remover e editar componentes, bem como compartilhar e integrar várias bibliotecas. A versatilidade deste recurso é um elemento fundamental que incentiva a exploração de diferentes combinações, contribuindo para a geração de resultados únicos e inspiradores. Além disso, a capacidade de compartilhar bibliotecas entre diferentes projetos e até mesmo entre artistas cria um ambiente colaborativo rico em possibilidades.

4.1.3. UV Maps e Shaders

A qualidade das criaturas geradas é influenciada não apenas pela sua geometria, mas também pela qualidade das texturas aplicadas a estas.

O processo de combinação executado pela ferramenta envolve a fusão de elementos provenientes de diversas componentes, o que implica na combinação de diferentes texturas.

Para garantir uma mistura eficaz e coesa, o *Blender* oferece um ambiente dedicado à edição e criação de materiais para posterior renderização.

Os recursos de mapeamento *UV* e *shaders* dentro do *Blender* desempenham um papel fundamental na produção de texturas realistas e atrativas. A capacidade de criar mapas *UV* possibilita a aplicação precisa de texturas em objetos 3D, assegurando que a fusão e combinação de elementos de diferentes criaturas resultem em uma aparência visualmente consistente. Além disso, a interface de *shading* baseada em nós desempenha um papel crucial na programação da interação das texturas. Isso permite que os elementos combinados se integrem de forma harmoniosa, criando uma aparência unificada.

4.1.4. Vertices Group

Os *Vertices Groups* são uma das funcionalidades essenciais dentro do *Blender* que permite catalogar múltiplos grupos de vértices e assim identificar quais são as áreas de ligação entre componentes. Esta informação é essencial não só para determinar a sua localização como também a rotação e escala dos objetos. Este tipo de abordagem baseada em *Vertices Groups* simplifica o processo de cálculos complexos bem como a necessidade de armazenar informação complexa e confusa.

4.2. Módulos e Interfaces

Este capítulo mergulha profundamente na implementação do sistema, explorando as etapas cruciais que dão forma à ferramenta *Shapeshifter*. A partir deste ponto, conduziremos uma análise detalhada das diferentes seções e módulos que compõem a estrutura do *addon*. Cada um destes módulos desempenha um papel crucial no processo de criação, assegurando que as criaturas geradas atendam aos padrões de qualidade visual e credibilidade que pretendemos alcançar.

As seções seguintes descrevem como a interface foi projetada de forma a proporcionar uma experiência fluida aos utilizadores, permitindo-lhes navegar eficazmente pelas opções de configuração e personalização. Além disso, exploraremos o processo de criação de componentes, onde os utilizadores podem definir novas peças para serem incorporadas no processo generativo do sistema.

Dentro deste contexto, investigaremos os módulos específicos que compõem a jornada de criação. O módulo de avaliação desempenha um papel crucial ao atribuir avaliações aos diferentes componentes, permitindo uma seleção informada durante o processo de geração. O módulo generativo é o coração do sistema, orquestrando a seleção e disposição das componentes para criar a forma geral da criatura. O módulo combinatório entra em ação para fundir as diferentes partes em uma construção coesa e realista. Por fim, o módulo de texturização confere à criatura gerada a riqueza visual através da aplicação de texturas harmoniosas.

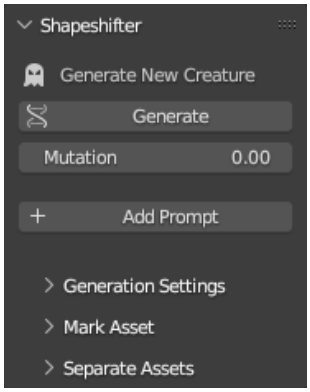


Figura 48. Interface do *Shapeshifter*.

4.2.1. Interface

A interface do addon, Figura 48, é projetada para oferecer aos utilizadores uma experiência intuitiva e funcional, localizando-se na aba lateral do ambiente 3D.

Esta interface divide-se numa área superior principal, totalmente dedicada à geração de criaturas, e em três subseções onde os utilizadores podem alterar as configurações de geração da ferramenta bem como adicionar novos componentes a esta.

Na área superior, como foco de principal interação, o botão *Generate* permite ao utilizador gerar criaturas usando as configurações estabelecidas, bem como a biblioteca de *assets* definida. Imediatamente abaixo, os utilizadores podem definir os parâmetros que influenciam a criação das criaturas. Um *slider* para ajustar a taxa de mutação que controla a probabilidade de peças aleatórias serem usadas. E um botão para adicionar *prompts* personalizadas. Cada *prompt* é composta por texto personalizado, a peça a ser influenciada e um *slider* que controla o peso dessa influência.

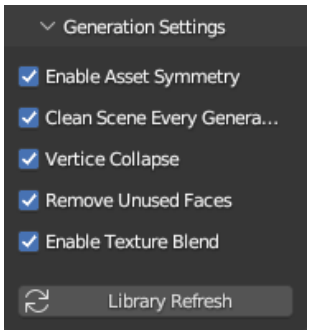


Figura 49. *Generation Settings* (Interface).

A primeira subseção, denominada *Generation Settings*, Figura 49, surge abaixo desta área principal. Nesta os utilizadores têm a oportunidade de refinar ainda mais as configurações de geração através de cinco opções: (1) "*Enable Asset Symmetry*", que determina se as criaturas geradas serão simétricas; (2) "*Clean Scene Every Generation*", que controla a remoção das criaturas pré-existentes a cada nova geração; (3) "*Vertice Collapse*", que determina a conexão das peças por meio de um método de colapso de vértices; (4) "*Remove Unused Faces*", permite ao utilizador decidir se quer remover faces de ligação obsoletas; (5) "*Enable Texture Blend*", define se as texturas das criaturas geradas são misturadas, gerando uma nova textura. Por fim, o botão "*Library Refresh*" é fornecido

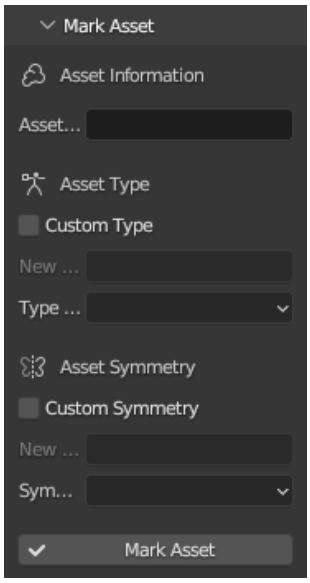


Figura 50. *Mark Assets* (Interface).

para atualizar a lista de componentes, garantindo que as escolhas disponíveis sejam precisas e atualizadas.

A subseção *Mark Asset*, Figura 50, é onde os utilizadores podem definir novos componentes como potenciais peças a serem usadas no processo de geração. O processo envolve o utilizador selecionar uma peça no espaço 3D e definir as informações desta, isto é, introduzir a informação da componente (que é usado pelas *prompts*), selecionar o tipo de peça e a sua simetria, já existentes ou definindo uma nova. Por fim o botão "*Mark Asset*" que clicando neste, o componente selecionado é adicionado com a informação definida.

Por fim, na subseção *Separate Assets*, Figura 51, os utilizadores têm a capacidade de dividir modelos 3D em múltiplos componentes. Este processo de separação é feito seguindo os passos seguintes: (1) Entrar no modo edição do respetivo objeto; (2) Selecionar o grupo de vértices a ser separado; (3) Definir o tipo de ligação entre as componentes a separar; (4) Premir o botão "*Selection Cut*" para separar o modelo em objetos distintos.

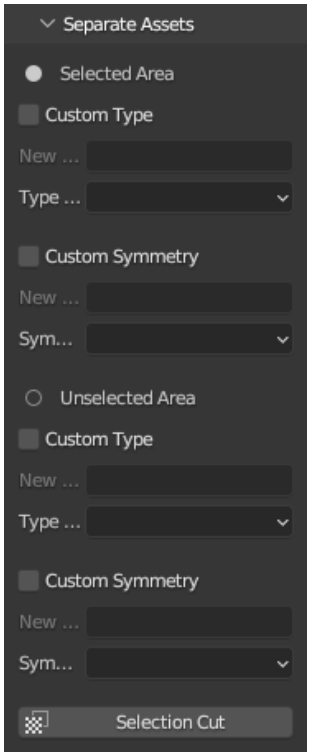


Figura 51. Separate Assets (Interface).

4.2.2. Criação de Componentes

Nesta subsecção, descrevemos os componentes essenciais usados pela ferramenta *Shapeshifter* na geração de criaturas 3D únicas. Exploraremos o processo de identificação, catalogação e fragmentação desses componentes. Este é um processo meticuloso e crucial para a diversidade e complexidade das criaturas geradas, permitindo que cada parte, seja ela uma cabeça, um tronco ou membros, seja cuidadosamente moldada e adaptada.

O processo começa pela fragmentação de modelos 3D complexos em peças individuais. Cada componente é uma parte destacada do modelo original, representando uma estrutura anatómica específica. Essa abordagem divide o modelo em partes significativas, permitindo uma ampla gama de combinações.

Cada corte realizado no modelo 3D requer identificação clara para o sistema entender onde e que tipo de peça estava ali presente. Para alcançar isso, os *vertice groups* foram utilizados para armazenar informações em grupos de vértices. Na Figura 52, é demonstrado como essa informação é registada no nome do *vertice group*, contendo detalhes sobre o tipo de peça e a sua simetria.

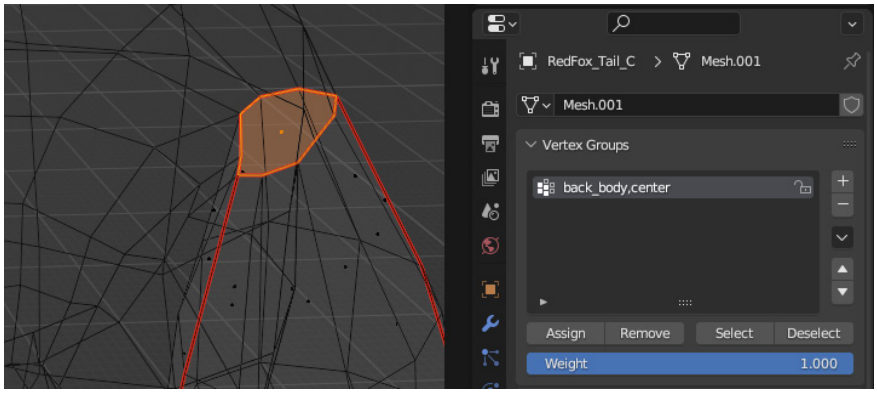


Figura 52. Processo de separação e identificação das várias componentes.

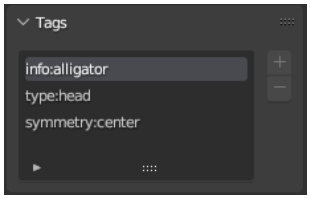


Figura 53. Identificação das assets usando a funcionalidade *tags* presentes na *Asset Library*.

Embora essencial, o processo de fragmentação e identificação é potencialmente demorado. Para otimizar essa tarefa, implementámos uma função que simplifica o corte e identificação. Os utilizadores, em modo de edição no *Blender*, selecionam um conjunto de vértices a serem separados e identificam o tipo de ligação entre as peças. E, ao clicar no botão de corte, o processo é iniciado. A função analisa as faces selecionadas e não selecionadas, identifica as arestas partilhadas e separa os objetos.

Após a fragmentação e identificação, cada componente deve ser marcado como um asset na *Asset Library*, como explicado em 4.1.2, de modo a permitir que estes sejam acedidos pelo módulo generativo. Os utilizadores definem informações gerais, o tipo de asset e a simetria da peça. Isso é alcançado usando tags na *Asset Library*, como representado na Figura 53.

Para tornar esse processo eficiente, implementámos uma função que agiliza a marcação. Os utilizadores podem selecionar tags existentes ou inserir novas. E, ao clicar no botão "*Mark Asset*", o componente é automaticamente adicionado à *Asset Library* com todas as informações corretamente formatadas.

4.2.3. Módulo de Avaliação

Nesta subsecção, apresentamos um módulo central em nosso sistema, dedicado à avaliação das componentes contidas na biblioteca. Esse processo de avaliação é conduzido por meio da biblioteca *spaCy*, que, como uma biblioteca de Processamento de Linguagem Natural (PLN), permite a análise comparativa de palavras de maneira objetiva e quantitativa. Este módulo desempenha um papel crucial ao classificar as peças da biblioteca de componentes com base nas *prompts* inseridas pelos utilizadores e nas informações associadas a cada peça.

A biblioteca *spaCy* utiliza representações vetoriais de palavras para calcular a semelhança entre elas. Essa abordagem envolve o cálculo do cosseno do ângulo entre os vetores de representação das palavras, o que determina a proximidade semântica e contextual entre elas. Essa técnica é aplicada em nosso módulo de avaliação para medir a afinidade entre as descrições das peças e as prompts fornecidas pelos utilizadores.

De forma mais detalhada, o código percorre cada componente na biblioteca e compara-o com cada prompt inserida. Quando um componente e uma prompt possuem o mesmo 'tipo' atribuído, as informações associadas a eles são semanticamente comparadas com o texto introduzido pelo utilizador. Isso resulta em um valor de similaridade que é normalizado e adicionado à pontuação global. Essa pontuação é então utilizada no módulo generativo para orientar o processo de combinação.

4.2.4. Módulo Generativo

O módulo generativo desempenha um papel essencial na construção das criaturas. Nesta etapa, as componentes avaliadas previamente são selecionadas tendo por base a sua pontuação e o tipo de componente necessário.

O processo começa pela escolha de um componente base, que servirá como ponto de partida para a construção. Por omissão, a parte central da criatura é selecionada como base. Usando a lista de componentes avaliadas, a seleção é feita seguindo a seguinte lógica:

Verificação da possibilidade de mutação. Se a mutação definida pelo utilizador for maior que um valor aleatório gerado pelo sistema, a função termina e uma componente aleatória é selecionada.

Verificação da simetria. Se a simetria estiver ativada pelo utilizador, as componentes já inseridas são verificadas e caso haja uma componente compatível com a simetria oposta, esta é selecionada; caso contrário, o algoritmo avança.

Se nenhuma das condições anteriores se verificar, o algoritmo seleciona os componentes que cumprem os requisitos do tipo e da simetria necessária e, seleciona um aleatoriamente segundo a sua pontuação (quanto maior a pontuação maior é a probabilidade de ser escolhido).

Após a inserção da primeira componente na cena, os seus pontos de ligação são preenchidos, um a um, com componentes que cumpram os requisitos identificados na ligação, tipo

e simetria. Este processo segue os mesmos passos descritos acima. Depois de selecionado, o novo componente é anexado à cena seguindo a lógica apresentada na subsecção seguinte, 4.2.5 Módulo Combinatório. Uma vez adicionado, o processo final de ligação é iniciado onde o módulo de texturização descrito na subsecção 4.2.6 é iniciado. Com estas etapas concluídas, os pontos de ligação dos componentes inseridos são verificados e o ciclo recomeça até não haver mais componentes a serem adicionados.

4.2.5. Módulo Combinatório

Neste capítulo, exploraremos em detalhes o módulo combinatorial do *addon*, que desempenha um papel essencial ao combinar as componentes recortadas.

Nesta etapa o módulo combinatório garante que as peças se encaixem de maneira apropriada e realista, evitando que a composição pareça forçada ou incoerente. Este processo envolve três aspectos essenciais: (1) a escala; (2) a rotação; e (3) a translação.

O primeiro passo efetuado pelo módulo é a escala. O componente adicionado é ajustado de forma à sua área da sua zona de ligação coincidir com a área de ligação do componente oposto. Uma área maior indica que a componente deve ser reduzida, enquanto uma área menor indica que a componente deve ser aumentada. De forma esta matriz de escala do componente dois (Ms_2) é feito o seguinte cálculo usando a àrea de ligação do componente um e dois (a_1 e a_2) e as suas escalas atuais (S_1 e S_2):

$$Ms_2 = Matrix.Scale\left(\sqrt{\left(\frac{a_1 \times S_1}{a_2 \times S_2}\right)}, 4\right)$$

1. A fase seguinte tem como objetivo rodar a componente dois deixando-a com a face de ligação paralela à face de ligação do componente um. Para calcular a matriz de rotação (Mr_2) a ser aplicada ao componente dois, é necessário calcular o eixo (axis) e o ângulo de rotação (angle) que indica onde e como a componente deve rodar e, para o fazer, é usada a normal (n_1 e n_2) de cada uma das faces de ligação seguidas dos seguintes cálculos:

$$dotproduct = n_1 \times n_2$$

$$angle = \arccos(dotproduct)$$

$$axis = n_1 \times n_2$$

$$Mr2 = Matrix.Rotation(PI - angle, 4, axis)$$

2. Por fim, o último passo, é calcular a matriz de translação (Mt_2) que nos dá a localização do componente dois. Para obter esta, é calculado o centróide (ponto central) da zona de ligação das duas componentes em coordenadas globais (v_1 e v_2) e, a diferença entre estas, dá-nos o vetor de movimento necessário para a sua intercessão.
De forma a complementar esta translação, as componentes são afastadas ligeiramente seguindo a normal da componente um (n_1), uma distância igual à raiz quadrada da área de ligação (a_1) da componente um.

$$Mt_2 = Matrix.Translation\left(v_1 - v_2 + n_1 \times \sqrt{(a_1)}\right)$$

Ainda presente no módulo combinatório encontram-se duas funções que podem ser ativadas pelo utilizador. Estas funções têm como objetivo dar um caráter mais credível às criaturas geradas através da continuidade das componentes a nível geométrico e textural.

A primeira função visa dar continuidade geométrica aos componentes após as três matrizes anteriores serem aplicadas. O intuito desta é colapsar os vértices presentes nas faces de ligação de cada uma das componentes de maneira a criar um modelo coeso e lógico sem sobreposições.

Inicialmente é criado um dicionário onde cada uma das chaves representa um vértice da face com maior número de vértices e, dentro de cada uma destas, encontra-se uma lista dos vértices disponíveis do outro componente. Após a sua criação, este é iterado consecutivamente até todas as suas chaves terem sido associadas a um único vértice. Quando um dos vértices é associado, as opções dos restantes são restringidas por este. A lógica do algoritmo é a seguinte:

Verifica-se a combinação mais próxima espacialmente da chave do componente um com os vértices a si associados. A chave escolhida é removida do dicionário e as coordenadas destes vértices igualadas.

As restantes chaves do dicionário são restringidas pela associação anterior. Este processo é feito pela comparação das chaves com os vértices a si associados para isso, é calculado o número de vértices que separam a chave a ser verificada da combinação mais próxima feita em ambos os sentidos. Após isso é feito o mesmo cálculo, mas para cada um dos vértices associados. Caso a distância das chaves seja maior ou igual, o vértice a si associado é mantido, caso contrário é removido.

Este processo é repetido consecutivamente até todos os vértices estarem ligados ou não existirem mais combinações possíveis.

A segunda função foca-se na continuidade textural, usando informações da função de colapso para criar mapas de textura que copiam as coordenadas *UV* das faces dos componentes vizinhos. Esta última função será detalhada no subsecção seguinte, 4.2.6 Módulo de Texturização.

4.2.6. Módulo de Texturização

Nesta subsecção, exploraremos em detalhes o processo generativo de interpolação de texturas entre diferentes componentes. Este processo desempenha um papel fundamental na criação de materiais únicos para cada componente, proporcionando a ilusão de continuidade entre texturas distintas. Tal como apresentado na Figura 54, pretende-se criar um material com uma interpolação coesa entre duas ou mais texturas.

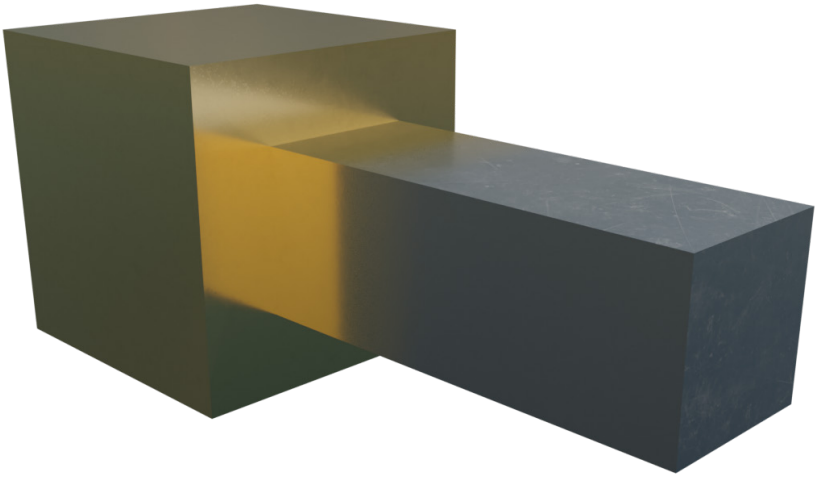
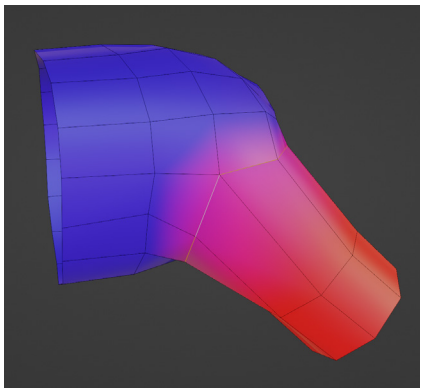


Figura 54. Interpolação de uma textura de ouro com ferro.

Para obter este tipo de resultado de forma generativa é essencial analisar toda a sua composição e informação, bem como diferentes alternativas de obter e ou armazenar esta.

O princípio da interpolação é criar uma zona de transição gradual entre as texturas de duas ou mais componentes diferentes. Esta transição deve ocorrer nas áreas adjacentes à zona de ligação das componentes. A fim de realizar essa tarefa, é crucial criar uma máscara que determine a intensidade de cada textura em cada vértice. O *Blender* permite o armazenamento de variáveis *float* em vértices de modelos 3D, o que possibilita a delimitação da intensidade da textura em cada vértice, criando assim uma máscara.

Os vértices que compõem a área de ligação são os pontos-chave para a aplicação da interpolação. Esses vértices têm a tarefa de conter exatamente 50% da textura de cada componente. Os demais vértices terão 100% da textura original e 0% da textura oposta. Isto é conseguido por meio da interpolação entre vértices, como ilustrado na Figura 55.



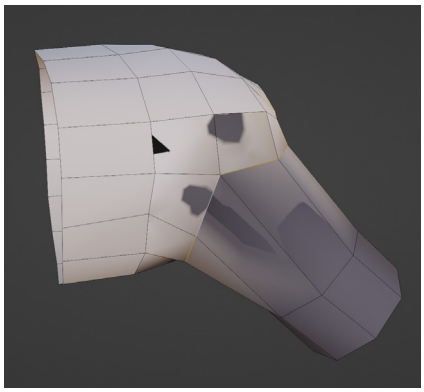


Figura 55. Máscara das texturas na zona de ligação.

Figura 56. Máscara das texturas sem mapeamento das texturas.

No entanto, há um desafio no mapeamento das texturas. Tal como explicado no estado da arte, 3.1.2. Texturas e mapeamento, para renderizar as texturas corretamente, é necessário mapear os vértices 3D no espaço 2D na imagem. No entanto, a máscara de texturas pode resultar em problemas de mapeamento, como mostra a Figura 56. Isto ocorre porque cada componente tem a sua textura e, por consequência, as suas coordenadas mapeadas de maneira diferente.

Para superar este problema, é necessário mapear as texturas procedimentalmente . O algoritmo envolve a criação de um novo *UVMap* para cada componente e, em seguida, projetar as coordenadas 2D do componente oposto em si. Este processo é complexo e baseia-se na associação de faces e vértices entre os componentes.

O processo de cópia de *UVs* envolve vários passos:

1. Reunir as faces que envolvem a área de ligação de ambos os componentes.
2. Associar as faces reunidas com base na associação de vértices do processo de colapso de vértices.
3. Associar os vértices restantes com base em sua proximidade espacial.
4. Criar *UVMaps* para cada componente e copiar as coordenadas *UV* dos vértices associados.

Esse processo garante uma texturização coerente e credível, melhorando a aparência das criaturas geradas por meio da interpolação de texturas. O processo é repetido para cada componente adicionado, resultando em materiais coesos, como demonstrado na Figura 57.

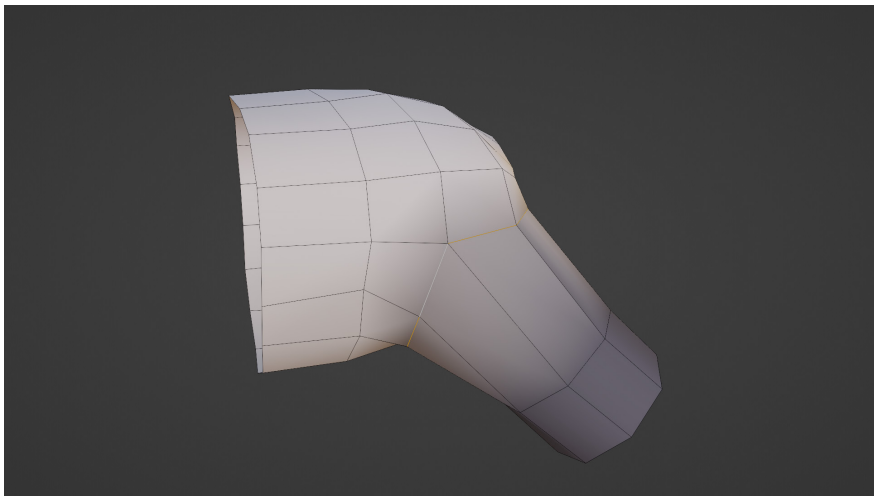


Figura 57. Máscara das texturas com o mapeamento das texturas.

4.3. Avaliação

Nesta secção, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio de um questionário e os testes realizados pelos utilizadores, com o intuito de identificar padrões de opinião e avaliar a qualidade da ferramenta desenvolvida. Nesta avaliação serão utilizados símbolos estatísticos e probabilísticos, como a letra n para o número de resultados, $\bar{x}$ para a média, $\tilde{x}$ para a mediana, Mo para a moda e s para o desvio padrão.

O questionário foi dividido em quatro secções principais, visando avaliar características específicas:

1. Caracterização demográfica dos utilizadores, para perfis de avaliação.

2. Avaliação do sistema criativo, onde os utilizadores geraram as suas próprias criaturas usando o sistema generativo.

3. Avaliação das criaturas geradas, permitindo aos utilizadores expressar opiniões sobre seis criaturas geradas pelo sistema.

4. Zona de comentários e opiniões, onde os utilizadores puderam fazer observações sobre o sistema, interface e sugerir melhorias.

Durante este questionário foram recolhidas 10 respostas e, de forma a obtermos resultados mais concretos, definiu-se como métrica de avaliação a sua proficiência, onde os utilizadores foram divididos em dois grupos, utilizadores iniciantes e utilizadores avançados.

Um total de 10 respostas foram recolhidas. Para uma análise mais precisa, a proficiência dos utilizadores foi usada como métrica de avaliação, dividindo-os em dois grupos: iniciantes e avançados. Os utilizadores foram classificados com base na resposta à questão "Proficiência: Como classifica a sua proficiência geral no uso de *software* 3D?", onde as respostas variavam de zero (iniciante) a cinco (profissional). Os resultados estão apresentados na Figura 58.

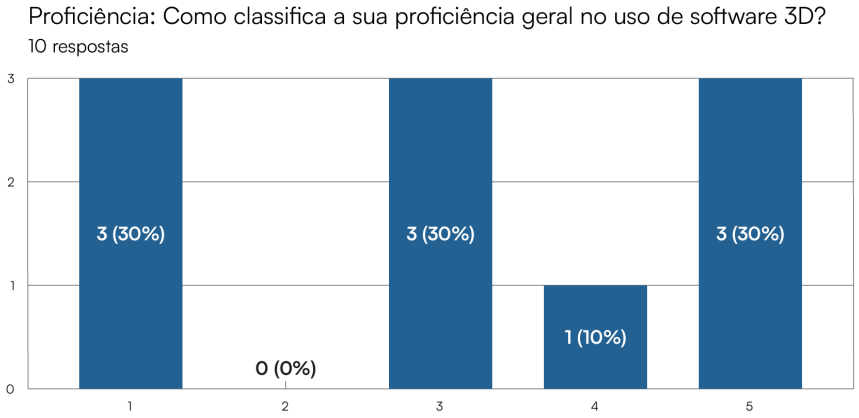


Figura 58. Resultados: Proficiência com ferramentas 3D.

Na análise, os utilizadores com uma proficiência igual ou inferior a três foram considerados iniciantes (6 respostas), enquanto aqueles com proficiência superior a três foram considerados avançados (4 respostas). Os resultados são apresentados na Tabela 1, que evidencia uma distribuição concentrada nos extremos opostos para ambos os grupos.

Tabela 1. Resultados: Proficiência com ferramentas 3D.

Proficiência com a Ferramentas 3D (0-5)		
Todos	Iniciantes (<=3)	Avançados (>3)
n = 10 $\bar{x}$ =3.1 $\tilde{x}$ =3 Mo =1.66 s =1.66	n = 6 $\bar{x}$ =2 $\tilde{x}$ =2 Mo =1 s =1.1	n = 4 $\bar{x}$ =4.75 $\tilde{x}$ =5 Mo =5 s =0.5

A próxima subsecção analisará os resultados com base nesta classificação, comparando opiniões e perspectivas entre os dois grupos de utilizadores.

4.3.1. Caracterização Demográfica

Nesta subsecção do questionário, foram incluídas questões demográficas com o objetivo de avaliar o perfil dos inquiridos. Para esta análise, serão utilizadas as informações da Tabela 2 que resume a análise demográfica dos inquiridos, fornecendo informações sobre as idades, género e formação académica dos participantes, divididos entre os grupos iniciantes e avançados. Estes dados são essenciais para compreender o contexto das avaliações realizadas e interpretar os resultados de forma mais abrangente.

Tabela 2. Análise: Informação demográfica dos inquiridos.

Todos	Iniciantes (<=3)	Avançados (>3)
	Idades	
$\bar{x}$ =24.6 $\tilde{x}$ =23 Mo =23 s =3.44	$\bar{x}$ =25.67 $\tilde{x}$ =23.5 Mo =31 s =4.18	$\bar{x}$ =23 $\tilde{x}$ =23 Mo =23 s =0.83
	Género	
Masculino n =7 Feminino n =3	Masculino n =3 Feminino n = 3	Masculino n =4 Feminino n =0

Formação Académica		
Ensino Secundário n =1 Licenciatura n =4 Mestrado n =5	Ensino Secundário n =1 Licenciatura n =4 Mestrado n =1	Ensino Secundário n =0 Licenciatura n =0 Mestrado n =4

4.3.2. Avaliação do Sistema

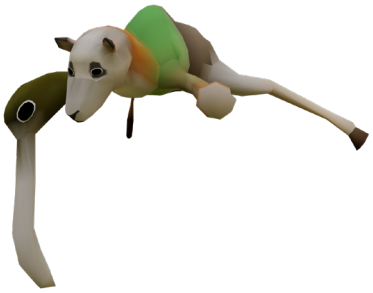
Nesta subsecção do questionário, os inquiridos foram orientados a instalar e usar a ferramenta desenvolvida, bem como realizar a tarefa de criar uma criatura usando o sistema generativo. Eles tiveram acesso não apenas ao *add-on* em si, mas também a uma biblioteca de dezenove animais únicos pré-processados em diferentes componentes. As criaturas eram:

1. Jacaré;
2. Alpaca;
3. Lebre;
4. Lobo;
5. Ovelha;
6. Camaleão;
7. Corvo;
8. Elefante;
9. Girafa;
10. Gorila;
11. Foca;
12. Hipopótamo;
13. Pato;
14. Panda
15. Raposa;
16. Antílope;
17. Preguiça;
18. Tigre;
19. Zebra.

Os resultados da avaliação das criaturas geradas pelos inquiridos avançados e iniciantes são apresentados na Tabela 3 e Tabela 4 respetivamente. Esses resultados incluem as avaliações atribuídas a diferentes parâmetros, conforme definido por Martins et al. (2015) na subsecção 3.2.1 Criaturas Credíveis.

Ao analisarmos as criaturas geradas pelos utilizadores mais experientes, percebemos uma maior coerência visual e lógica que indica que o conhecimento na área permitiu-lhes tomar uma escolha mais informada tirando partido das funcionalidades disponíveis.

Tabela 3. Criaturas geradas e a sua avaliação: Inquiridos Avançados.

Avaliação	Imagem
Impressão Geral: 5 Novidade/Surpresa: 5 Interesse: 5 Apelo Estético: 5 Comicidade/Humor: 5 Coerência/Consistência: 5 0 (Nada) — 5 (Muito)	
Impressão Geral: 4 Novidade/Surpresa: 5 Interesse: 4 Apelo Estético: 3 Comicidade/Humor: 5 Coerência/Consistência: 1 0 (Nada) — 5 (Muito)	
Impressão Geral: 4 Novidade/Surpresa: 5 Interesse: 4 Apelo Estético: 3 Comicidade/Humor: 5 Coerência/Consistência: 4 0 (Nada) — 5 (Muito)	
Impressão Geral: 4 Novidade/Surpresa: 5 Interesse: 5 Apelo Estético: 4 Comicidade/Humor: 4 Coerência/Consistência: 5 0 (Nada) — 5 (Muito)	

Por outro lado, na Tabela 4 é possível observar as criaturas geradas pelos utilizadores iniciantes bem como as suas avaliações que, embora com maiores dificuldades no uso de *software* 3D, conseguiram gerar criaturas de igual qualidade às geradas por um utilizador avançado. Este resultado é particularmente relevante visto que o intuito principal da ferramenta

passa por empoderar os utilizadores menos experientes com a habilidade criativa e generativa de conteúdos 3D.

Outra informação curiosamente observável é o maior uso da funcionalidade de mutação pelos utilizadores iniciantes.

Tabela 4. Criaturas geradas e a sua avaliação: Inquiridos Iniciantes.

Avaliação	Imagem
Impressão Geral: 5 Novidade/Surpresa: 5 Interesse: 5 Apelo Estético: 5 Comicidade/Humor: 5 Coerência/Consistência: 5 0 (Nada) — 5 (Muito)	
Impressão Geral: 5 Novidade/Surpresa: 5 Interesse: 4 Apelo Estético: 5 Comicidade/Humor: 5 Coerência/Consistência: 5 0 (Nada) — 5 (Muito)	
Impressão Geral: 5 Novidade/Surpresa: 5 Interesse: 5 Apelo Estético: 3 Comicidade/Humor: 5 Coerência/Consistência: 4 0 (Nada) — 5 (Muito)	
Impressão Geral: 4 Novidade/Surpresa: 5 Interesse: 4 Apelo Estético: 4 Comicidade/Humor: 5 Coerência/Consistência: 5 0 (Nada) — 5 (Muito)	

Impressão Geral: 4 Novidade/Surpresa: 5 Interesse: 5 Apelo Estético: 5 Comicidade/Humor: 5 Coerência/Consistência: 4 0 (Nada) — 5 (Muito)	
Impressão Geral: 4 Novidade/Surpresa: 4 Interesse: 4 Apelo Estético: 4 Comicidade/Humor: 5 Coerência/Consistência: 4 0 (Nada) — 5 (Muito)	

É possível observar na Tabela 5, os dados recolhidos e analisados de forma estatística. Estes dados têm como objetivo classificar não só as criaturas geradas pelo utilizador mas também identificar quais características criativas podem carecer na ferramenta.

Tabela 5. Análise: Avaliação das criaturas geradas pelos inquiridos.

Todos	Iniciantes	Avançados
	Impressão Geral 0 (Nada satisfeito) — 5 (Muito satisfeito)	
$\bar{x}$ = 4.4 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.52	$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 0.55	$\bar{x}$ = 4.25 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.5
	Novidade/Surpresa 0 (Nada surpreendente) — 5 (Muito surpreende)	
$\bar{x}$ =4.9 $\tilde{x}$ =5 Mo =5 s =0.32	$\bar{x}$ =4.83 $\tilde{x}$ =5 Mo =5 s =0.41	$\bar{x}$ =5 $\tilde{x}$ =5 Mo =5 s =0

Interesse 0 (Nada interessante) — 5 (Muito interessante)		
$\bar{x}$ = 4.5	$\bar{x}$ = 4.5	$\bar{x}$ = 4.5
$\tilde{x}$ = 4.5	$\tilde{x}$ = 4.5	$\tilde{x}$ = 4.5
Mo = 5	Mo = 5	Mo = 4
s = 0.53	s = 0.55	s = 1
Apelo estético 0 (Nada apelativo) — 5 (Muito apelativo)		
$\bar{x}$ = 4.2	$\bar{x}$ = 4.5	$\bar{x}$ = 3.75
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4.5	$\tilde{x}$ = 3.5
Mo = 5	Mo = 5	Mo = 3
s = 0.79	s = 0.55	s = 1
Comicidade/Humor 0 (Nada engraçado) — 5 (Muito engraçado)		
$\bar{x}$ = 4.9	$\bar{x}$ = 5	$\bar{x}$ = 4.75
$\tilde{x}$ = 5	$\tilde{x}$ = 5	$\tilde{x}$ = 5
Mo = 5	Mo = 5	Mo = 5
s = 0.32	s = 0	s = 1
Coerência/Consistência 0 (Nada Coerente) — 5 (Muito Coerente)		
$\bar{x}$ = 4.2	$\bar{x}$ = 5	$\bar{x}$ = 3.75
$\tilde{x}$ = 4.5	$\tilde{x}$ = 4.5	$\tilde{x}$ = 4.5
Mo = 5	Mo = 5	Mo = 5
s = 1.23	s = 1	s = 2

Em resumo, os resultados gerais da avaliação são bastante positivos, mas há diferenças notáveis nas avaliações entre utilizadores iniciantes e avançados. Os utilizadores iniciantes tendem a avaliar suas criações de forma mais positiva do que os utilizadores avançados. Isso pode ser explicado pela influência dos padrões mais rigorosos estabelecidos pelos utilizadores avançados, que possuem um maior conhecimento de modelação de criaturas e, portanto, podem ter uma opinião mais crítica.

Os parâmetros que mais se destacaram na análise das criaturas geradas foram o apelo estético e a coerência/consistência das criaturas. Embora os valores desses parâmetros sejam

elevados, indicam que o realismo e a qualidade visual das criaturas podem ser aprimorados. No caso do apelo estético, isso está diretamente relacionado com a qualidade dos componentes disponíveis na biblioteca da ferramenta. Uma solução para melhorar esse aspecto seria adicionar mais variedade e qualidade aos componentes disponíveis.

A avaliação da coerência/consistência sugere que a estrutura lógica do sistema precisa de ser aprimorada, permitindo que a escolha das componentes seja mais rígida e controlável pelo utilizador. Isso pode contribuir para a criação de criaturas mais coesas e realistas.

Por fim, os utilizadores expressaram uma opinião muito positiva em relação ao potencial da ferramenta no mercado criativo, Tabela 6. A média geral das avaliações foi muito positiva, 4.8 em 5, com uma moda de resultados de valor máximo. Os utilizadores iniciantes deram avaliações mais elevadas, indicando que veem a ferramenta como uma valiosa ajuda na geração de ideias e no desenvolvimento de modelos complexos. Mesmo os utilizadores avançados, apesar de pontuarem ligeiramente abaixo, ainda consideram a ferramenta como um método de criação viável no seu processo criativo.

Tabela 6. Análise: Potencialidade da Ferramenta no Mercado Criativo.

Todos	Iniciantes	Avançados
	Impressão Geral 0 (Nada satisfeito) — 5 (Muito satisfeito)	
$\bar{x} = 4.4$	$\bar{x} = 4.5$	$\bar{x} = 4.25$
$\tilde{x} = 4$	$\tilde{x} = 4.5$	$\tilde{x} = 4$
Mo = 4	Mo = 5	Mo = 4
s = 0.52	s = 0.55	s = 0.5

Esses resultados indicam que a ferramenta é bem recebida por ambos os públicos-alvo e tem um potencial real no mercado criativo, além de destacar as áreas que precisam de aprimoramento para alcançar um nível ainda mais elevado de qualidade e utilidade.

4.3.3. Avaliação das Criaturas

Na avaliação das criaturas geradas pelo sistema, os inquiridos tiveram a tarefa de avaliar seis criaturas distintas. Essa subsecção do questionário é crucial para obter uma avaliação comparativa das criaturas, já que os inquiridos avaliam a mesma criatura e seus parâmetros de maneira concisa.

As criaturas escolhidas para essa avaliação foram selecionadas de forma semi-aleatória para garantir uma diversidade de características físicas entre elas. A avaliação foi realizada com base nos parâmetros definidos por Martins et al. (2015) e observados na subsecção 3.2.1.

A primeira criatura gerada pelo sistema, conforme mostrado na Figura 59, recebeu avaliações positivas, como demonstrado na Tabela 7. Ela recebeu uma pontuação próxima a 4 em todos os parâmetros definidos. O aspecto que se destacou foi a dimensão de novidade/surpresa, onde a maioria dos utilizadores avançados atribuiu uma pontuação de 3. Isso pode indicar que, embora a criatura seja composta por várias peças diferentes, ela ainda é percebida como relativamente comum e não extremamente surpreendente.

Tabela 7. Análise: Criatura nº1.

Avaliação da Criatura nº1		
Todos	Iniciantes	Avançados
Novidade/Surpresa 0 (Nada surpreendente) — 5 (Muito surpreende)		
$\bar{x}$ = 4 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.82	$\bar{x}$ = 4.17 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.75	$\bar{x}$ = 3.75 $\tilde{x}$ = 3.5 Mo = 3 s = 1
Interesse 0 (Nada interessante) — 5 (Muito interessante)		
$\bar{x}$ = 4.3 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.67	$\bar{x}$ = 4.3 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.52	$\bar{x}$ = 4.25 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 1

Figura 59. Avaliação: Criatura nº1.

Apelo estético 0 (Nada apelativo) — 5 (Muito apelativo)		
$\bar{x}$ = 4.1	$\bar{x}$ = 4.2	$\bar{x}$ = 4
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4.5	$\tilde{x}$ = 4
Mo = 5	Mo = 5	Mo = 4
s = 0.88	s = 0.98	s = 1
Comicidade/Humor 0 (Nada engraçado) — 5 (Muito engraçado)		
$\bar{x}$ =3.9	$\bar{x}$ =4	$\bar{x}$ =4
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4
Mo =4	Mo =4	Mo =4
s =0.88	s =1	s =1
Coerência/Consistência 0 (Nada Coerente) — 5 (Muito Coerente)		
$\bar{x}$ = 4.1	$\bar{x}$ = 4	$\bar{x}$ = 4
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4
Mo = 4	Mo = 4	Mo = 4
s = 0.57	s = 0	s = 1

Na Figura 60, podemos observar a segunda criatura gerada pelo sistema, que recebeu uma avaliação muito positiva, conforme demonstrado na Tabela 8. Houve uma diferença significativa nas avaliações entre os utilizadores avançados e os iniciantes. Os utilizadores avançados deram pontuações consideravelmente mais altas para essa criatura, especialmente na categoria de novidade/surpresa, onde muitos deles atribuíram a pontuação máxima. No entanto, devido a essa alta novidade e surpresa, a avaliação da coerência/consistência foi ligeiramente menor em comparação com a criatura anterior.

Tabela 8. Análise: Criatura nº2.

Figura 60. Avaliação: Criatura nº2.

Avaliação da Criatura nº2		
Todos	Iniciantes	Avançados
Novidade/Surpresa 0 (Nada surpreendente) — 5 (Muito surpreende)		
$\bar{x}$ = 4.7 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.48	$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 0.55	$\bar{x}$ = 5 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0
Interesse 0 (Nada interessante) — 5 (Muito interessante)		
$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.71	$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 0.55	$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 1
Apelo estético 0 (Nada apelativo) — 5 (Muito apelativo)		
$\bar{x}$ = 4.2 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.88	$\bar{x}$ = 4.2 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.75	$\bar{x}$ = 4.25 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 1
Comicidade/Humor 0 (Nada engraçado) — 5 (Muito engraçado)		
$\bar{x}$ = 4.2 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 1.03	$\bar{x}$ = 4 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 1	$\bar{x}$ = 4.25 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 1
Coerência/Consistência 0 (Nada Coerente) — 5 (Muito Coerente)		
$\bar{x}$ = 3.6 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.84	$\bar{x}$ = 4 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 1	$\bar{x}$ = 3.25 $\tilde{x}$ = 3.5 Mo = 4 s = 1

A avaliação da terceira criatura, representada na Figura 61, segue um padrão semelhante às criaturas anteriores em termos de avaliação positiva em vários parâmetros, exceto pela coerência/consistência, como indicado na Tabela 9. No entanto, nesta criatura em particular, a relação entre a novidade/surpresa e a coerência/consistência parece ser mais evidente. A avaliação sugere que a alta novidade e surpresa dessa criatura resultaram em uma diminuição na sua coerência e consistência percebidas.

Isso destaca uma dinâmica interessante onde a criação de criaturas altamente inovadoras pode afetar negativamente a percepção de sua coerência e consistência. Encontrar um equilíbrio entre a originalidade e a coerência é um desafio na geração de criaturas que pareçam plausíveis e atraentes.

Tabela 9. Análise: Criatura nº3.

Avaliação da Criatura nº3		
Todos	Iniciantes	Avançados
Novidade/Surpresa 0 (Nada surpreendente) — 5 (Muito surpreende)		
$\bar{x}$ = 4.8 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.42	$\bar{x}$ = 4.83 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.41	$\bar{x}$ = 4.75 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 1
Interesse 0 (Nada interessante) — 5 (Muito interessante)		
$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 0.53	$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 0.55	$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 4 s = 1
Apelo estético 0 (Nada apelativo) — 5 (Muito apelativo)		
$\bar{x}$ = 4.1 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.57	$\bar{x}$ = 4.2 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.41	$\bar{x}$ = 4 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 1

Figura 61. Avaliação: Criatura nº3.

Comicidade/Humor 0 (Nada engraçado) — 5 (Muito engraçado)		
$\bar{x}$ = 4.1	$\bar{x}$ =4	$\bar{x}$ = 4
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4.5	$\tilde{x}$ = 4
Mo = 4	Mo = 5	Mo = 4
s = 0.74	s = 1	s = 0
Coerência/Consistência 0 (Nada Coerente) — 5 (Muito Coerente)		
$\bar{x}$ = 4.1	$\bar{x}$ = 4	$\bar{x}$ = 3.75
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4
Mo = 4	Mo = 4	Mo = 4
s = 0.88	s = 1	s = 1

A avaliação da quarta criatura, representada na Figura 62, destaca-se pela sua alta classificação no parâmetro de comicidade/humor, conforme mostrado na Tabela 10. No entanto, essa pontuação elevada em comicidade/humor parece ter tido um impacto negativo nos parâmetros de apelo estético e coerência/consistência, como mencionado. Isso sugere que a inclusão de elementos cómicos ou engraçados pode levar a uma diminuição na percepção de apelo estético e coerência da criatura.

Tabela 10. Análise: Criatura nº4.

Avaliação da Criatura nº4		
Todos	Iniciantes	Avançados
Novidade/Surpresa 0 (Nada surpreendente) — 5 (Muito surpreende)		
$\bar{x}$ = 4.6	$\bar{x}$ = 4.67	$\bar{x}$ = 4.5
$\tilde{x}$ = 5	$\tilde{x}$ = 5	$\tilde{x}$ = 4.5
Mo = 5	Mo = 5	Mo = 5
s = 0.7	s = 0.82	s = 1

Figura 62. Avaliação: Criatura nº4.

Interesse 0 (Nada interessante) — 5 (Muito interessante)		
$\bar{x}$ = 4.5	$\bar{x}$ = 4.7	$\bar{x}$ = 4.25
$\tilde{x}$ = 4.5	$\tilde{x}$ = 5	$\tilde{x}$ = 4
Mo =5	Mo = 5	Mo = 4
s = 0.53	s = 0.52	s = 1
Apelo estético 0 (Nada apelativo) — 5 (Muito apelativo)		
$\bar{x}$ = 3.8	$\bar{x}$ = 4.3	$\bar{x}$ = 3
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 3
Mo = 4	Mo = 4	Mo = 3
s = 0.79	s = 0.52	s = 0
Comicidade/Humor 0 (Nada engraçado) — 5 (Muito engraçado)		
$\bar{x}$ = 4.6	$\bar{x}$ = 5	$\bar{x}$ = 4.25
$\tilde{x}$ = 5	$\tilde{x}$ = 5	$\tilde{x}$ = 4.5
Mo = 5	Mo = 5	Mo = 5
s = 0.7	s = 0	s = 1
Coerência/Consistência 0 (Nada Coerente) — 5 (Muito Coerente)		
$\bar{x}$ = 3.7	$\bar{x}$ = 4	$\bar{x}$ = 3
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 3
Mo = 4	Mo = 4	Mo = 3
s = 1.25	s = 1	s = 2

A análise da quinta criatura, ilustrada na Figura 63, revela uma pontuação relativamente estável em todos os parâmetros de avaliação, conforme refletido na Tabela 11. Uma observação interessante é a pontuação no parâmetro de coerência/consistência, onde os inquiridos avançados deram uma avaliação superior em comparação com os inquiridos iniciantes, um fenômeno que não foi observado em outras criaturas ou parâmetros.

Esse aumento na avaliação de coerência/consistência por parte dos inquiridos avançados sugere que essa criatura específica pode ter apresentado uma estrutura lógica mais clara e alinhada com suas expectativas, tornando-a mais satisfató-

ria em termos de consistência visual. Isso pode indicar que, mesmo quando considerando parâmetros subjetivos como a coerência, utilizadores com mais conhecimento técnico podem ser mais sensíveis a esses aspectos.

Tabela 11. Análise: Criatura nº5.

Avaliação da Criatura nº5		
Todos	Iniciantes	Avançados
Novidade/Surpresa 0 (Nada surpreendente) — 5 (Muito surpreende)		
$\bar{x}$ = 4.4 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 0.70	$\bar{x}$ = 4.67 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.52	$\bar{x}$ = 4 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 1
Interesse 0 (Nada interessante) — 5 (Muito interessante)		
$\bar{x}$ = 4.7 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.48	$\bar{x}$ = 4.8 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.41	$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 4 s = 1
Apelo estético 0 (Nada apelativo) — 5 (Muito apelativo)		
$\bar{x}$ = 4.3 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.67	$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 4 s = 0.55	$\bar{x}$ = 4 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 1
Comicidade/Humor 0 (Nada engraçado) — 5 (Muito engraçado)		
$\bar{x}$ = 4.2 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 5 s = 0.79	$\bar{x}$ = 4 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 1	$\bar{x}$ = 4 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 1

Figura 63. Avaliação: Criatura nº5.

Coerência/Consistência 0 (Nada Coerente) — 5 (Muito Coerente)		
$\bar{x}$ = 4.2	$\bar{x}$ = 4	$\bar{x}$ = 4.25
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4.5
Mo = 4	Mo = 4	Mo = 5
s = 0.63	s = 0	s = 1

A avaliação da sexta criatura, representada na Figura 64, revelou um padrão interessante, conforme indicado na Tabela 12. Enquanto os inquiridos avançados tiveram uma avaliação menos favorável, especialmente em termos de novidade/surpresa, os inquiridos iniciantes apresentaram uma visão mais positiva dessa criatura, atribuindo um alto valor ao parâmetro de coerência/consistência.

Esta diferença na avaliação entre os dois grupos pode indicar que os inquiridos avançados podem ter tido uma maior expectativa em relação à novidade e surpresa da criatura, o que pode ter afetado sua avaliação. Por outro lado, os inquiridos iniciantes parecem ter valorizado mais a coerência e a consistência da criatura, possivelmente apreciando aspectos mais familiares e previsíveis.

Em geral, essa discrepância na avaliação ressalta a influência das expectativas e do nível de experiência na percepção das criaturas geradas pela ferramenta. Isso demonstra a complexidade da avaliação de aspectos subjetivos e a importância de considerar diferentes perspectivas ao interpretar os resultados.

Tabela 12. Análise: Criatura nº6.

Avaliação da Criatura nº6		
Todos	Iniciantes	Avançados
Novidade/Surpresa 0 (Nada surpreendente) — 5 (Muito surpreende)		
$\bar{x}$ = 4.1	$\bar{x}$ = 4.33	$\bar{x}$ = 3.75
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4.5	$\tilde{x}$ = 4
Mo = 4	Mo = 5	Mo = 4
s = 0.74	s = 0.82	s = 1

Interesse 0 (Nada interessante) — 5 (Muito interessante)		
$\bar{x} = 4$	$\bar{x} = 4.2$	$\bar{x} = 3.75$
$\tilde{x} = 4$	$\tilde{x} = 4$	$\tilde{x} = 3.5$
Mo = 4	Mo = 4	Mo = 3
s = 0.82	s = 0.75	s = 1
Apelo estético 0 (Nada apelativo) — 5 (Muito apelativo)		
$\bar{x} = 4$	$\bar{x} = 4$	$\bar{x} = 4$
$\tilde{x} = 4$	$\tilde{x} = 4$	$\tilde{x} = 4$
Mo = 4	Mo = 4	Mo = 4
s = 0.67	s = 0.63	s = 1
Comicidade/Humor 0 (Nada engraçado) — 5 (Muito engraçado)		
$\bar{x} = 3.7$	$\bar{x} = 4$	$\bar{x} = 3.5$
$\tilde{x} = 4$	$\tilde{x} = 4$	$\tilde{x} = 3.5$
Mo = 4	Mo = 4	Mo = 4
s = 0.95	s = 1	s = 1
Coerência/Consistência 0 (Nada Coerente) — 5 (Muito Coerente)		
$\bar{x} = 4.2$	$\bar{x} = 5$	$\bar{x} = 3.5$
$\tilde{x} = 4$	$\tilde{x} = 5$	$\tilde{x} = 4$
Mo = 4	Mo = 5	Mo = 4
s = 0.92	s = 1	s = 1

Figura 64. Avaliação: Criatura nº6.

A combinação das avaliações dos utilizadores na Tabela 13 permite uma visão geral das características comuns e das tendências observadas na avaliação das criaturas geradas pela ferramenta. A presença de avaliações predominantemente positivas, com valores entre quatro e cinco, é encorajadora e sugere que a ferramenta está no caminho certo em termos de satisfação geral dos utilizadores.

A observação de que o atributo de coerência/consistência apresentou resultados mais baixos aponta para uma área de melhoria importante. Isto sugere que a ferramenta pode se beneficiar de um aprimoramento

na seleção e combinação de componentes para garantir que as criaturas geradas sejam visualmente e logicamente coesas. A questão da novidade/surpresa e do interesse contradizem o fator de credibilidade destaca um desafio comum na criação generativa: encontrar um equilíbrio entre a originalidade e a credibilidade.

A análise das médias de valores atribuídos por inquiridos iniciantes e avançados reforça a ideia de que utilizadores mais experientes podem ter padrões mais elevados e serem mais críticos na avaliação das criações geradas pela ferramenta.

Em geral, esta análise oferece *insights* valiosos sobre as percepções dos utilizadores em relação à ferramenta e suas criações. As áreas que requerem melhorias são identificadas e as opiniões divergentes entre os diferentes grupos de utilizadores são consideradas, o que pode guiar o desenvolvimento futuro da ferramenta.

Tabela 13. Análise geral de todas as criaturas.

Avaliação de Todas as Criaturas		
Todos	Iniciantes	Avançados
Novidade/Surpresa 0 (Nada surpreendente) — 5 (Muito surpreende)		
$\bar{x}$ = 4.43 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.70	$\bar{x}$ = 4.53 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.65	$\bar{x}$ = 4.29 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 5 s = 1
Interesse 0 (Nada interessante) — 5 (Muito interessante)		
$\bar{x}$ = 4.42 $\tilde{x}$ = 4.5 Mo = 5 s = 0.65	$\bar{x}$ = 4.5 $\tilde{x}$ = 5 Mo = 5 s = 0.56	$\bar{x}$ = 4.29 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 5 s = 1
Apelo estético 0 (Nada apelativo) — 5 (Muito apelativo)		
$\bar{x}$ = 4.08 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 0.70	$\bar{x}$ = 4.2 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 5 s = 0.64	$\bar{x}$ = 3.88 $\tilde{x}$ = 4 Mo = 4 s = 1

Comicidade/Humor 0 (Nada engraçado) — 5 (Muito engraçado)		
$\bar{x}$ = 4.12	$\bar{x}$ = 4.2	$\bar{x}$ = 4
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4
Mo = 4	Mo = 5	Mo = 4
s = 0.87	s = 0.95	s = 1
Coerência/Consistência 0 (Nada Coerente) — 5 (Muito Coerente)		
$\bar{x}$ = 3.98	$\bar{x}$ = 4.2	$\bar{x}$ = 3.63
$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4	$\tilde{x}$ = 4
Mo = 4	Mo = 4	Mo = 4
s = 0.87	s = 0.59	s = 1

4.3.4. Comentários e Sugestões

Na última fase do questionário foram colocadas duas questões, uma onde o inquirido comenta a interface da ferramenta e, a outra, onde o inquirido comenta as funcionalidades da ferramenta. Dado que houveram múltiplas respostas semelhantes, estas foram resumidas na Tabela 14 e na Tabela 15.

A resposta geral dos utilizadores à interface do addon é encorajadora, com a maioria dos comentários indicando uma experiência positiva. A sugestão de reordenar a aba principal de geração para seguir um processo lógico mostra que os utilizadores valorizam a organização e a facilidade de uso na interface. A ideia de incluir um texto *placeholder* nas caixas de texto vazias com sugestões do que inserir é uma sugestão útil, que pode ajudar os utilizadores a entender melhor como usar as diferentes funcionalidades da ferramenta.

Em resumo, a opinião positiva sobre a interface, combinada com as sugestões para melhorias específicas, fornece uma base sólida para o desenvolvimento contínuo da interface do addon, com foco na usabilidade e na satisfação dos utilizadores.

Tabela 14. Questão 1: Comentários da Interface.

Questão 1: Comentários da Interface
Para mim, que nunca tinha utilizado o *Blender* consegui, com a ajuda do manual de utilização, utilizar o add-on sem qualquer problema. A minha única sugestão seria a localização do botão "*Generate*" no fundo da interface e não no início para haver um caminho lógico durante a interação.
Muito intuitivo.
Achei que a interface é eficaz na comunicação das funcionalidades que o addon oferece.
Achei a utilização bastante fácil e de imediata compreensão!
O botão '*Gerar*' deveria ser o último botão, já cliquei 2 vezes no '*Add Prompt*'.
Rápido, Fácil e Simples de Gerar Criaturas; Botões intuitivos, controles deslizantes, etc; Uma sugestão é adicionar um *placeholder* (texto de exemplo) sobre os campos de entrada textuais, para sabermos o que digitar.

As sugestões e recomendações dos utilizadores para melhorar o complemento *Shapeshifter* refletem um desejo por uma documentação mais abrangente e recursos adicionais que possam aprimorar a experiência global do utilizador. As sugestões de incluir mais imagens, exemplos de prompt e um vídeo tutorial são excelentes maneiras de fornecer orientações visuais claras aos utilizadores, o que pode ajudar a reduzir a curva de aprendizado e aumentar a compreensão das funcionalidades do complemento.

As ideias de implementar um recurso "*Auto-Rig*" para gerar o esqueleto das criaturas e uma funcionalidade para gerar novas peças apenas em áreas selecionadas indicam um pensamento inovador sobre como expandir as funcionalidades da ferramenta. Essas sugestões visam não apenas melhorar a geração de criaturas, mas também facilitar o processo de animação e dar mais controle aos utilizadores sobre a criação.

No geral, essas recomendações são valiosas, pois fornecem diretrizes claras para melhorar o complemento e atender melhor às necessidades e expectativas dos utilizadores.

Tabela 15. Questão 2: Sugestões de Melhoria.

Questão 2: Sugestões de Melhoria
Adicionar um recurso '*Auto-Rig*' às criaturas geradas.
Manual de Utilização mais claro; Combinar instruções escritas com imagens da interface do programa;
Deveria haver uma opção para bloquear algumas das partes geradas; Isto porque, pelo que percebi, a mutação é aplicada globalmente a todas as partes (ainda que dê para alterar a importância de cada *prompt*). Isto torna o processo mais complicado porque não se consegue preservar uma parte em específico com a qual o utilizador já esteja satisfeito.
Adicionar exemplos de *prompt* ao manual de utilização.
Fazer um manual de utilização em formato vídeo tutorial.
Acrescentar ao manual uma explicação para a adição de novos componentes.

5.

Conclusão

Esta dissertação tem como objetivo fundamental a criação de uma ferramenta de fácil utilização que potencie o processo criativo dos artistas ao conceber criaturas tridimensionais inovadoras. A essência desta ferramenta é emular o processo criativo humano, combinando elementos de criaturas de forma a gerar resultados que estimulem a imaginação e que produzam modelos tridimensionais para utilização no meio digital.

Ao longo deste documento, foi introduzido e delimitado o projeto a ser desenvolvido, apresentando o seu contexto e objetivos. O plano de trabalho proposto, juntamente com a metodologia adotada, delineou o caminho a seguir para a construção da ferramenta. A análise do estado da arte concentrou-se nos métodos de construção de elementos tridimensionais, texturização e na credibilidade.

A investigação teórica realizada revelou-se importante na definição de métodos apropriados a empregar na criação do sistema. A questão da credibilidade emergiu como um atributo fundamental das criaturas produzidas, influenciando a qualidade da ferramenta e dos resultados por ela gerados.

Para o desenvolvimento de *Shapeshifter*, optou-se pela implementação de uma extensão para a plataforma *Blender* devido às suas características, que incluem a natureza de código aberto e a presença de uma comunidade entusiasta. Além disso, as suas potencialidades estendem-se à criação e partilha de bibliotecas de componentes, e ainda o processo de texturização e mapeamento acessível. A extensão desenvolvida procurou trazer uma interface projetada para uma ampla variedade de utilizadores que oferece uma geração controlada de criaturas originais. O processo de adição de componentes também foi tido em conta, com uma secção projetada para o corte e catalogação de componentes.

Tal como investigado no estado da arte, a componente credibilidade desempenha um papel crucial na distinção entre uma boa e uma má combinação. Foi considerada a manipulação deste componente como uma funcionalidade essencial para o utilizador, que pode controlar e ajustar o seu impacto criativo.

O processo de geração envolve várias fases de computação, não só a nível criativo, mas também a nível geométrico e textural. Após identificadas as componentes a serem utilizadas, procura-se desenvolver uma ligação coesa e realista entre as várias componentes, diretamente associada com a sua credibilidade. Isto torna-se possível através da manipulação geométrica e da continuidade textural.

Durante o processo de avaliação do *Shapeshifter*, os inquiridos destacaram o seu potencial em indústrias criativas e mostraram um grau de satisfação elevado com os resultados gerados pelo sistema que destacam como divertidos e surpreendentes. Características como a facilidade de uso da interface e fácil aprendizagem da ferramenta foram também ressaltadas.

A implementação desta ferramenta revelou-se bem sucedida ao constatar que até mesmo utilizadores com pouca ou nenhuma experiência prévia foram capazes de adotar a ferramenta e criar criaturas criativas sem enfrentar obstáculos significativos. Além disso, a ferramenta mostrou-se também útil para utilizadores avançados, que descreveram os seus resultados como inovadores e úteis em contexto real.

Shapeshifter, embora atingindo os objetivos estabelecidos nesta dissertação, apresenta oportunidades de aprimoramento através do desenvolvimento de futuros trabalhos. Entre as sugestões dos inquiridos, surgiu a possibilidade de implementação de um *Auto-Rig* nas criaturas geradas, o aperfeiçoamento do campo *prompts*, proporcionando um maior controlo generativo, e a implementação de um geração seletiva, onde o utilizador define as peças que deseja substituir por outras. Adicionalmente, a implementação de um método que incentive a comunidade a compartilhar *assets* e criaturas criadas poderia ampliar a criatividade e os resultados alcançados. Outro dos pontos relevantes seria complementar o "Manual de Utilização" com informação mais detalhada sobre todo processo criativo e generativo da ferramenta.

Em última análise, o *Shapeshifter* estará disponível num repositório online, permitindo que utilizadores de diversas áreas o utilizem de acordo com as suas necessidades.

Referências

Agoston, M. K. (2005). *Computer Graphics and Geometric Modeling: Implementation and Algorithms. Springer.*

Ashikhmin, M. (2001). *Synthesizing Natural Textures. Proceedings of the Symposium on Interactive 3D Graphics, 217–226. https://doi.org/10.1145/364338.364405*

Barreto, N. V. B. C. M. (2019). *Studying Believability in Videogame Creature Design. CISUC - Centre for Informatics and Systems of the University of Coimbra. http://hdl.handle.net/10316/91092*

Bobenrieth, C., Cordier, F., Habibi, A., & Seo, H. (2020). *Descriptive: Interactive 3D Shape Modeling from A Single Descriptive Sketch. Computer-Aided Design, 128, 102904. https://doi.org/10.1016/J.CAD.2020.102904*

Chaudhuri, S., Kalogerakis, E., Guibas, L., & Koltun, V. (2011). *Probabilistic Reasoning for Assembly-Based 3D Modeling. ACM Transactions on Graphics (TOG), 30(4), 1–10. https://doi.org/10.1145/2010324.1964930*

Chaudhuri, S., & Koltun, V. (2010). *Data-Driven Suggestions for Creativity Support in 3D Modeling. ACM Transactions on Graphics (TOG), 29(6), 1–10. https://doi.org/10.1145/1882261.1866205*

Cockbain, J., Vertolli, M. O., & Davies, J. (2014). *Creative Imagination is Stable Across Technological Media: The Spore Creature Creator Versus Pencil and Paper. The Journal of Creative Behavior, 48(1), 13–24. https://doi.org/10.1002/JOCB.38*

Coleridge, S. T. (1817). Biographia Literaria. *https://web.english.upenn.edu/~mgamer/Etexts/biographia.html*

Dubberly, H. (2005). *How do you design? Dubberly Design Office.*

EA Games. (2008). *Spore. EA Games.*

Entem, E., Barthe, L., Cani, M. P., Cordier, F., & van de Panne, M. (2015). *Modeling 3D Animals from a Side-View Sketch. Computers & Graphics, 46, 221–230. https://doi.org/10.1016/J.CAG.2014.09.037*

Fogg, B. J., & Tseng, H. (1999). *The Elements of Computer Credibility.*

Funkhouser, T., Kazhdan, M., Shilane, P., Min, P., Kiefer, W., Tal, A., Rusinkiewicz, S., & Dobkin, D. (2004). *Modeling by Example. ACM SIGGRAPH 2004 Papers, SIGGRAPH 2004, 652–663. https://doi.org/10.1145/1186562.1015775*

Gao, J., Shen, T., Wang, Z., Chen, W., Yin, K., Li, D., Litany, O., Gojcic, Z., & Fidler, S. (2022). *GET3D: A Generative Model of High Quality 3D Textured Shapes Learned from Images. https://doi.org/10.48550/arxiv.2209.11163*

Germanunkol. (2022). *Where Beasts Were Born. In Youtube.*

gregkwaste. (2016). *No Man's Sky – Procedural Content. 3D Game Dev Blog. http://3dgamedevblog.com/?p=836*

Gu, N., & Amini, P. B. (2021). *Shape Grammars: A Key Generative Design Algorithm. Handbook of the Mathematics of the Arts and Sciences, 1385–1405. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57072-3_7*

Guo, X., Lin, J., Xu, K., & Jin, X. (2014). *Creature Grammar for Creative Modeling of 3D Monsters. Graphical Models, 76(5), 376–389. https://doi.org/10.1016/J.GMOD.2014.03.019*

Hecker, C. (2009, April 12). *My Liner Notes for Spore. http://www.chrishecker.com/My_Liner_Notes_for_Spore*

Hello Games. (2016). *No Man's Sky. Hello Games.*

Hohmann, B., Krispel, U., Havemann, S., & Fellner, D. (2009). *CityFit: High-Quality Urban Reconstructions by Fitting Shape Grammars to Images and Derived Textured Point Clouds. Proceedings of the 3rd ISPRS Workshop. http://www.cgv.tugraz.at/cityfit*

Hughes, J., McGuire, M., van Dam, A., Sklar, D., Foley, J., Feiner, S., & Akeley, K. (2013). *Computer Graphics: Principles and Practice. Addison-Wesley Professional.*

Igarashi, T., Matsuoka, S., & Tanaka, H. (1999). *Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design. http://mtl.t.u-tokyo.ac.jp/~takeo*

Karpenko, O. A., & Hughes, J. F. (2006). *SmoothSketch. ACM Transactions on Graphics (TOG), 25(3), 589–598. https://doi.org/10.1145/1141911.1141928*

Kidd, C., Piantadosi, S. T., & Aslin, R. N. (2012). *The Goldilocks Effect: Human Infants Allocate Attention to Visual Sequences That Are Neither Too Simple Nor Too Complex. PLOS ONE, 7(5), e36399. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0036399*

Kreavoy, V., Julius, D., & Sheffer, A. (2007). *Model Composition from Interchangeable Components. Proceedings - Pacific Conference on Computer Graphics and Applications. https://doi.org/10.1109/PG.2007.40*

Lee, J., & Funkhouser, T. (2008). *Sketch-Based Search and Composition of 3D Models.*

Lombard, M., & Ditton, T. (1997). *At the Heart of It All: The Concept of Presence. Journal of Computer-Mediated Communication, 3(2). https://doi.org/10.1111/J.1083-6101.1997.TB00072.X/4080403*

Lun, Z., Gadelha, M., Kalogerakis, E., Maji, S., & Wang, R. (2017). *3D Shape Reconstruction from Sketches via Multi-View Convolutional Networks. Proceedings - 2017 International Conference on 3D Vision, 3DV 2017, 67–77. https://doi.org/10.48550/arxiv.1707.06375*

Martins, P., Urbančič, T., Pollak, S., Lavrač, N., & Cardoso, A. (2015). *The Good, the Bad, and the AHA! Blends. Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Creativity.*

Merrell, P., Schkufza, E., & Koltun, V. (2010). *Computer-Generated Residential Building Layouts. ACM Trans. Graph, 29(181). https://doi.org/10.1145/1866158.1866203*

Moseman, A. (2010, December 29). *Hot Science: A Geek's Look Back at 2010. Discover.*

Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., & van Gool, L. (2006). *Procedural Modeling of Buildings. ACM Transactions on Graphics (TOG), 25(3), 614–623. https://doi.org/10.1145/1141911.1141931*

Ochoa, G. (1998). *On Genetic Algorithms and Lindenmayer Systems. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 1498 LNCS, 335–344. https://doi.org/10.1007/BFB0056876/COVER*

Parish, Y. I. H., & Müller, P. (2001). *Procedural Modeling of Cities. Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH 2001, 301–308. https://doi.org/10.1145/383259.383292*

Preparata, F. P., & Shamos, M. I. (1985). *Computational Geometry: An Introduction. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1098-6*

Prusinkiewicz, P., & Lindenmayer, A. (1990). *Algorithmic Beauty of Plants. Springer-Verlag.*

Siddiqui, Y., Thies, J., Ma, F., Shan, Q., Nießner, M., & Dai, A. (2022). *Texturify: Generating Textures on 3D Shape Surfaces. 72–88. https://doi.org/10.48550/arxiv.2204.02411*

Stiny, G., & Gips, J. (1972). *"Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture." 71, 125–135.*

Talton, J. O., Lou, Y., Lesser, S., Duke, J., MěCh, R., & Koltun, V. (2011). *Metropolis Procedural Modeling. ACM Transactions on Graphics (TOG), 30(2). https://doi.org/10.1145/1944846.1944851*

Tolkien, J. R. R. (1983). *The Monsters and the Critics, and Other Essays. Houghton Mifflin.*

Turner, M. (2014). *The Origin of Ideas: Blending, Creativity, and the Human Spark (1st ed.). Oxford University Press.*

Turquin, E., Wither, J., Boissieux, L., Cani, M. P., & Hughes, J. F. (2007). *A Sketch-Based Interface for Clothing Virtual Characters. IEEE Computer Graphics and Applications, 27(1), 72–81. https://doi.org/10.1109/MCG.2007.1*

William Safire. (2007). *Suspension of Disbelief. The New York Times Magazine.*

Wonka, P., Wimmer, M., Sillion, F., & Ribarsky, W. (2003). *Instant Architecture. ACM Transactions on Graphics (TOG), 22(3), 669–677. https://doi.org/10.1145/882262.882324*

CoDEmanX. (2012, May 7). *Proper UV Coords and Joint Rotation/Position Export - Coding / Python Support - Blender Artists Community. https://blenderartists.org/t/proper-uv-coords-and-joint-rotation-position-export/540658*

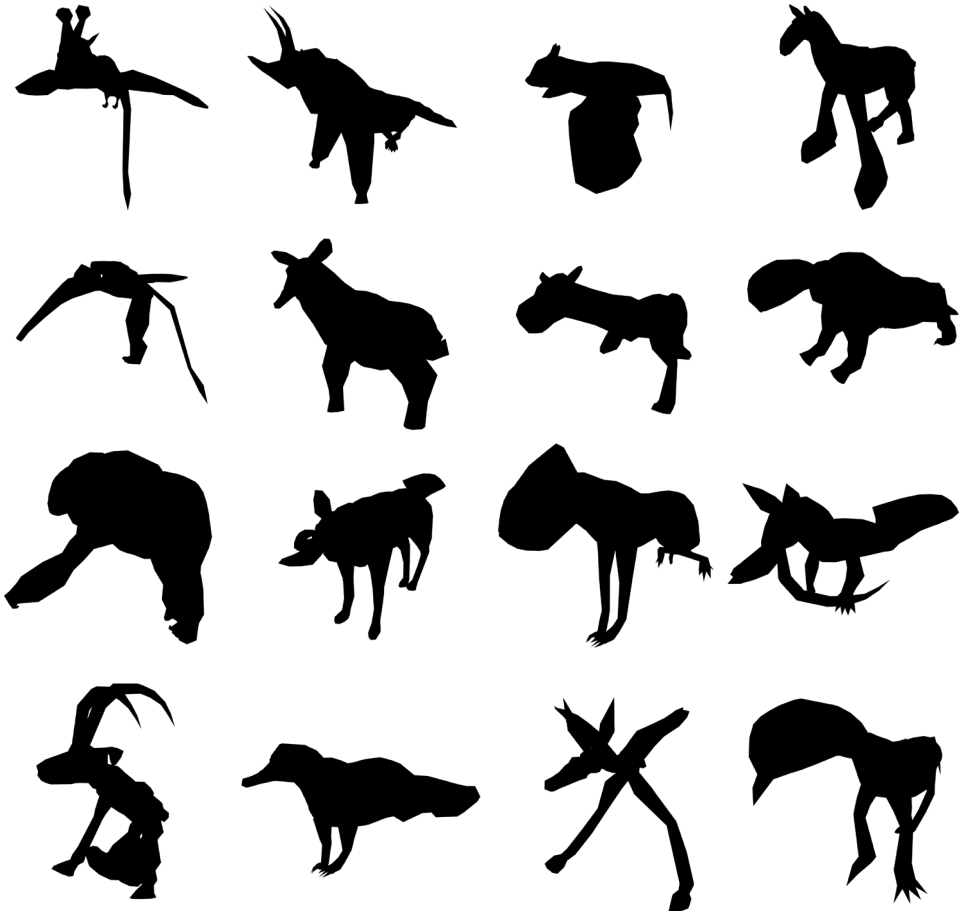
Yanes, J. (2019). *This Is How Monsters Are Created… in the Human Imagination. BBVA Open Mind. https://www.bbvaopenmind.com/en/science/scientific-insights/this-is-how-monsters-are-created-in-the-human-imagination/*

Apêndices

A. Manual de Utilização

Shapeshifter

User Manual



The Shapeshifter addon is a versatile and innovative tool that goes beyond merely generating meshes; it unlocks a realm of creativity and inspiration across various creative domains. Beyond its applications in specific media, Shapeshifter catalyzes the birth of novel ideas and fresh perspectives. By combining and recombining different parts, the addon sparks creative thinking and encourages users to explore uncharted territories of design and imagination. It is a catalyst for innovation, breaking barriers and redefining how we perceive the boundaries of art and creation.

Index

1. How to Install Shapeshifter in Blender 7
Introduction 7
Step 1: Download the Shapeshifter Addon 7
Step 2: Verify Blender Installation 7
Step 3: Open Blender 7
Step 4: Access the Preferences Menu 7
Step 5: Navigate to the Add-ons Section 8
Step 6: Install the Shapeshifter Addon 8
Step 7: Select the Shapeshifter Addon Zip File 8
Step 8: Enable the Addon 8
2. How to Install a Pre-CreatedLibrary 11
Introduction 11
Step 1: Download the Pre-Created Library 11
Step 2: Extract the Library 11
Step 3: Open Blender 11
Step 4: Access the Preferences Menu 11
Step 5: Navigate to the File Paths Section 12
Step 6: Add New Asset Library 12
Step 7: Start Creating with the Library 12
3. How to Generate a NewCreature 15
Introduction 15
Step 1: Accessing the Main Interface 15
Step 2: Main Generation Area 16
Step 3: Generating a Creature 16
Step 4: Adding Prompts 16
Step 5: Generation Settings (Optional) 17

1. How to Install Shapeshifter in Blender

Introduction

The Shapeshifter addon is a powerful tool for creating unique and imaginative creatures in Blender. This guide will walk you through the steps to install the Shapeshifter addon, enabling you to combine and recombine different parts to bring your creative visions to life.

Step 1: Download the Shapeshifter Addon

1. To begin, download the Shapeshifter addon zip file from the following link: https://github.com/gouveiafabio98/Shapeshifter/blob/main/addon/shapeshifter.zip

Step 2: Verify Blender Installation

1. Before proceeding, make sure you have Blender installed on your computer.
2. For optimal compatibility, it's recommended to use the latest release version of Blender, ideally version 3.6 or higher.

Step 3: Open Blender

1. Before proceeding, make sure you have Blender installed on your computer.
2. For optimal compatibility, it's recommended to use the latest release version of Blender, ideally version 3.6 or higher.

Step 4: Access the Preferences Menu

1. Locate the top menu bar within Blender's interface.
2. Click on "Edit" to open the dropdown menu.
3. Choose "Preferences" from the dropdown. This will open the Preferences window.

Step 5: Navigate to the Add-ons Section

1. Inside the Preferences window, you'll find various tabs on the left.
2. Click on the "Add-ons" tab to manage and install addons.

Step 6: Install the Shapeshifter Addon

1. In the Add-ons section, spot the "Install" button at the upper-right corner.
2. Click "Install" to initiate the addon installation process. A file dialog box will appear.

Step 7: Select the Shapeshifter Addon Zip File

1. Use the file dialog box to navigate to where you've saved the downloaded Shapeshifter addon zip file.
2. Select the addon zip file by clicking on it once.
3. Once selected, hit the "Install" button at the bottom-right of the dialog box.

Step 8: Enable the Addon

1. After successful installation, the Shapeshifter addon will be listed with a checkbox beside its name (Figure 1).
2. Enable the Shapeshifter addon by clicking on the checkbox next to its name. This will activate the addon.

Congratulations! You've now installed the Shapeshifter addon in Blender. This addon lets you bring your creative ideas to life by combining and recombining different parts to craft unique creatures.

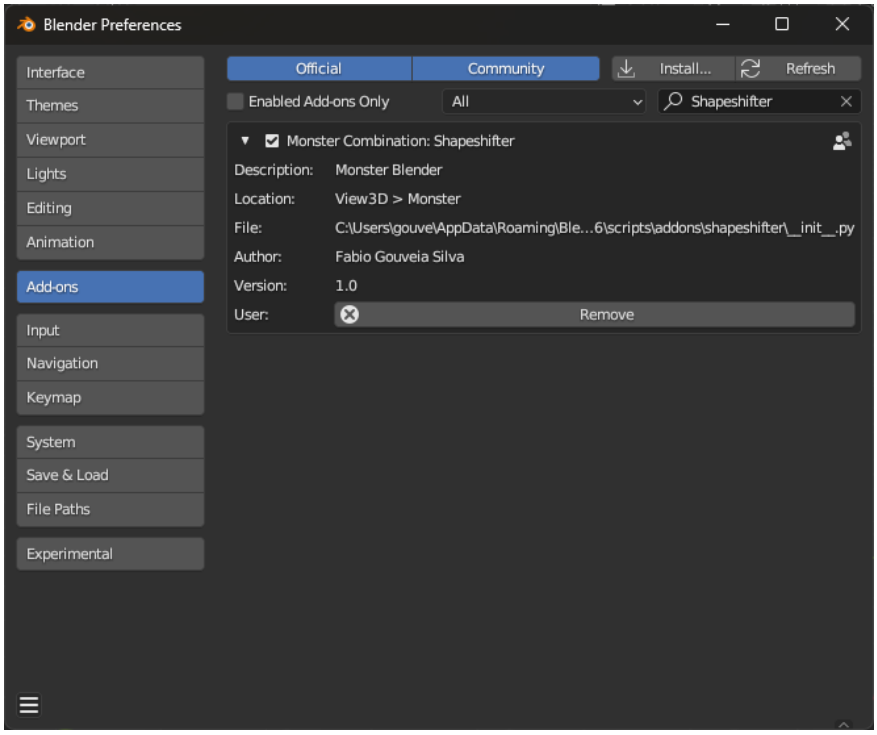


Figure 1. Blender Preferences.

2. How to Install a Pre-Created Library

Introduction

To enhance your experience with the Shapeshifter add-on, you can install a pre-created library of assets that you can use for combining and recombining to create unique creatures. This guide will walk you through the steps to download, extract, and integrate the library into the Shapeshifter addon.

Step 1: Download the Pre-Created Library

1. Click on the following link to download the pre-created library zip file: https://github.com/gouveiafabio98/Shapeshifter/blob/main/library/Assets.zip

Step 2: Extract the Library

1. Locate the downloaded zip file on your computer.
2. Right-click on the zip file and choose "Extract" or "Extract All."
3. Choose a destination folder to extract the contents. For convenience, consider extracting the files to a location like "../Documents/Blender/Assets."

Step 3: Open Blender

1. Launch Blender on your computer.

Step 4: Access the Preferences Menu

1. Locate the top menu bar within Blender's interface.
2. Click on "Edit" to open the dropdown menu.
3. Choose "Preferences" from the dropdown. This will open the Preferences window.

Step 5: Navigate to the File Paths Section

1. Inside the Preferences window, you'll find various tabs on the left.
2. Click on the "File Paths" tab and locate the "Asset Libraries" section (Figure 2).

Step 6: Add New Asset Library

1. Click the "+" button to add a new asset library.
2. In the ‘Path’ option below, browse to the folder where you extracted the library (e.g., "../Documents/Blender/Assets") and select it.
3. Make sure the ‘Import Method’ is ‘Append (Reuse Data)’.

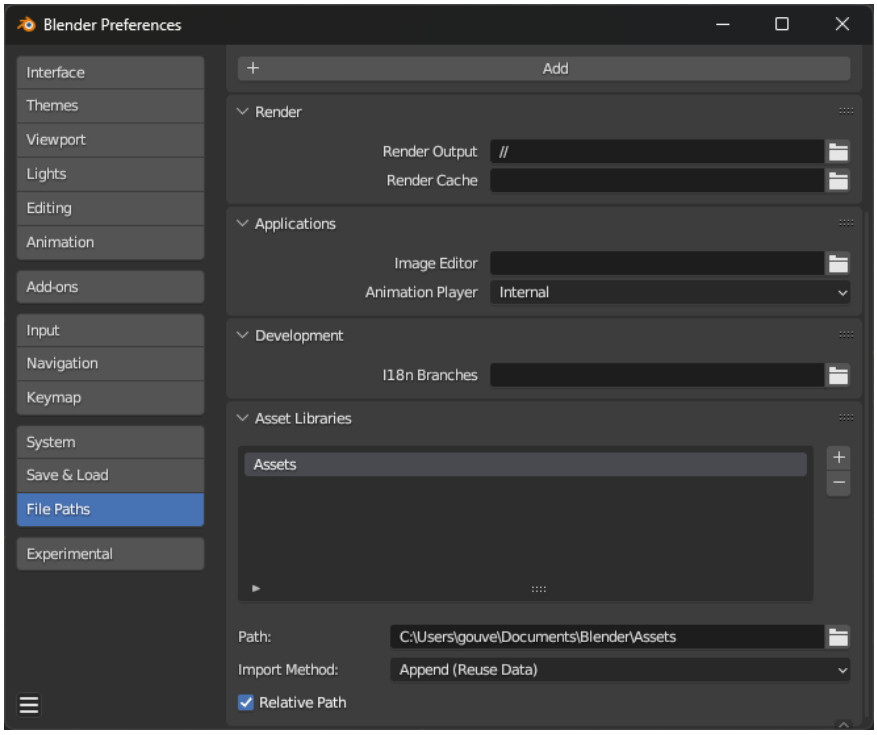


Figure 2. Library Installation

Step 7: Start Creating with the Library

1. Now that the library is integrated, you can start using it with the Shapeshifter addon.
2. Open a new or existing Blender project.
3. Access the Shapeshifter addon and explore the newly added assets in your library.

Congratulations! You've successfully installed the pre-cre-

ated library for the Shapeshifter addon. By following these steps, you've expanded your creative possibilities and can now use a wide variety of assets to craft imaginative creatures.

3. How to Generate a New Creature

Introduction

The core functionality of the Shapeshifter addon lies in its ability to generate unique creatures by combining and recombining different parts from your asset library. This guide will take you through the process of creating a new creature using the addon's main interface and explaining the interactions available.

Step 1: Accessing the Main Interface

1. Open Blender and ensure the Shapeshifter addon is enabled.
2. Locate the Shapeshifter panel in the sidebar of the Blender interface.

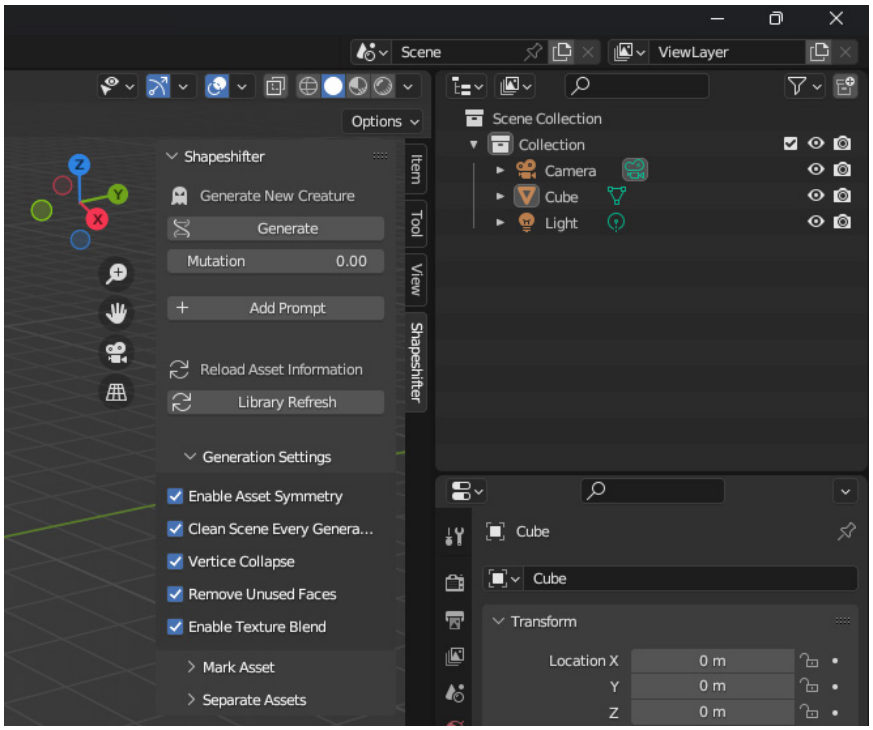


Figure 3. *Shapeshifter* Interface

Step 2: Main Generation Area

1. In the Shapeshifter panel, focus on the top area where the generation process is represented.
2. This area contains:
3. Generate Button: Clicking this button will place a new creature in the scene based on the current configurations and the asset library.
4. Mutation Slider: Adjust the mutation slider to influence the probability of using a random piece in the generation process.
5. Add Prompt Button: Click this button to add prompts that influence the creation process.

Step 3: Generating a Creature

1. Configure your desired settings, including the mutation slider value.
2. Click the "Generate" button to create a new creature in the scene.

Step 4: Adding Prompts

1. Use the "Add Prompt" button to add prompts that affect the creature's creation.
2. Each prompt consists of:
3. Prompt Text: Enter a description or instruction for the prompt.
4. Dropdown (Part Selection): Select the part of the creature that the prompt will influence.
5. Slider (Influence Power): Adjust the slider to set the strength of the prompt's influence on the selected part.
6. Trash Icon Button: Click this button to remove the prompt if needed.
7. Multiple prompts can be added to create complex and unique creatures.

Step 5: Generation Settings (Optional)

1. There is a section named "Generation Settings" that provides additional configuration options:
2. Enable Asset Symmetry: Toggle to make creatures symmetric. Note that this doesn't work with mutated parts.
3. Clean Scene Every Generation: Toggle to remove old assets from the scene when generating a new creature.
4. Vertice Collapse: Toggle to join mesh vertices.
5. Remove Unused Faces: Toggle to remove unnecessary connection faces.
6. Enable Texture Blend: Toggle to enable texture blending between assets.
7. Library Refresh: Use this button to update the dropdowns if they appear outdated or incomplete.

Congratulations! You've successfully learned how to generate a new creature using the Shapeshifter addon. Experiment with different settings, prompts, and configurations to bring your creative visions to life.