



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Artes e Letras

Fotogrametria 3D no Design de Jogos Digitais: Estudo de caso da conceção de assets fotorrealistas em ambientes amadores

Gonçalo Filipe Correia da Costa

Relatório de Projeto para obtenção do Grau de Mestre em
Design e Desenvolvimento de Jogos Digitais
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Farley Millano de Mendonça Fernandes

Covilhã, março de 2020

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Doutor Farley Millano de Mendonça Fernandes, por me acompanhar ao longo do mestrado e de todo o processo de redação e correção deste relatório de projeto, assim como, aos demais professores do curso de DDJ e jurados presentes na defesa de apresentação.

Gostaria também de reconhecer a importância da minha família, meus pais em específico, por me terem possibilitado esta experiência, bem como por todo o apoio e suporte que deram durante o desenvolvimento deste projeto.

Quero dar ainda um agradecimento muito especial à minha namorada, Marisa Constantino, por ser tão solidária, sempre acompanhar e apoiar em todas as minhas decisões, tornando esta experiência muito mais agradável para mim.

Obrigado a todos.

Resumo

Os videogames têm cada vez mais requerido por maior realismo nos seus títulos. Para tal, a área da modelação 3D tem procurado acompanhar com a contínua evolução dos softwares utilizados em produção. Porém, e apesar dos avanços significativos na tecnologia, constata-se que o pipeline de produção de modelos, mantêm-se tedioso e custoso para os artistas 3D. Surge nesta temática, a técnica de fotogrametria, que procura introduzir uma inovação à estrutura de desenvolvimento de *assets* fotorrealistas. Através do uso de fotografias, a fotogrametria, converte a informação 2D na criação de um modelo 3D, distanciando-se de uma composição artística para uma mais técnica. Como tal, neste projeto procurou-se compreender a viabilidade da mesma em replicar objetos reais, porém em ambiente amador, sem a quantidade e capacidade de recursos disponíveis às empresas triple A. Foi feito um levantamento e análise de pipelines existentes, sobretudo ao nível dos softwares utilizados nas diferentes fases, para a organização de um fluxo de trabalho para este projeto. Com essa finalidade aplicou-se a técnica de fotogrametria em sete objetos escolhidos, de modo a averiguar as vantagens e desvantagens que esta técnica traz para a área da modelação 3D e como ela é implementada nos pipelines de produção de jogos de hoje. Executou-se em um dos objetos a técnica padrão de modelação, para análise e comparação de resultados entre ambas. Através da análise dos resultados obtidos, constatou-se que apesar de algumas limitações e inconvenientes que a técnica de fotogrametria possui, como maiores custos de equipamento, necessidade de deslocamentos aos locais de captura, e uma alteração do foco da experiência de trabalho, as suas vantagens demonstram ser mais relevantes. A técnica permitiu, mesmo em condições amadoras, a construção de *assets* com maior naturalidade de formas e com melhor qualidade de texturas, simultaneamente, reduzindo os tempos de produções do pipeline em quase metade do tempo em comparação à técnica tradicional. Comprovou-se que é uma opção viável, na construção de *assets* fotorrealistas encontrando-se como preferível na construção de ambientes ou objetos que procurem replicar com exatidão a realidade.

Palavras-chave

Fotogrametria, Estudo de caso, Modelação 3D, Assets Fotorrealistas, Jogos Digitais

Abstract

Video games has increasingly been demanding greater realism in their titles. To this end, the area of 3D modeling has sought to keep up with the continuous evolution of the software's used in production. However, despite significant advances in technology, it appears that the model production pipeline remains tedious and time consuming for 3D artists.

It appears in this thematic, the technique of Photogrammetry, which seeks to introduce an innovation to the structure of development of photorealistic assets. Through the use of photographs, photogrammetry converts 2D information into the creation of a 3D model, distancing itself from an artistic composition to one more technical.

Therefore, this project aimed to understand the viability of replicating real objects in an amateur environment, without the amount and capacity of resources available to triple A companies. A survey and analysis of the existing pipelines was made, especially in around the software's used in the different phases, in order to organize a workflow for this project. For this purpose, the technique was applied to seven chosen objects, in order to ascertain the advantages and disadvantages that this technique brings to the area of 3D modeling and figure how it is implemented in today's game production pipelines. One of the objects, was also produced with the standard modeling technique to analyze and compare results between both techniques.

Through the analysis of the results, it was found that despite some limitations and drawbacks that the photogrammetry technique has, such as higher equipment costs, the necessity to travel to the capture sites, and a change in the focus of the work experience, its advantages prove more relevant. Even in amateur conditions, the technique has allowed the construction of more naturally shaped and better texture quality assets, simultaneously reducing pipeline production times by almost half compared to the traditional technique. It has been proven to be a viable option in the construction of photorealistic assets and is preferable in the construction of environments or objects that seek to accurately replicate reality.

Keywords

Photogrammetry, Case study, 3D Modelling, Photorealistic Assets, Digital Games

I. Índice

1 - Introdução	1
1.1 - Pergunta de Investigação e Objetivos	4
2 - Enquadramento histórico e revisão da literatura	5
2.1- Levantamento Histórico	5
2.2- Estado da Arte	8
3- Metodologia.....	18
4- Definição e execução do workflow de fotogrametria para videojogos.....	22
4.1- Planeamento.....	23
4.1.1- Softwares	24
4.1.2- Hardwares	27
4.2- Aquisição	30
4.2.1- Calibração e Captura.....	30
4.2.2- Pré-processamento de imagem	36
4.3- Reconstrução	39
4.3.1- Alinhamento e pontos de controlo.....	39
4.3.2- Meshing.....	43
4.3.3- Coloração e Texturização.....	44
4.3.4- Simplificação	45
4.3.5- Exportar	46
4.4- Sculpting e Retopologia	47
4.5- UV layout e Bakes.....	49
4.6- Pós-Processamento	51
4.7- Motor de jogo.....	52
5 - Apresentação dos resultados	54
5.1- Cavaleiro Medieval.....	57
5.2- Anjo Turiferário.....	63
5.3- Predela da Paixão de Cristo.....	66
5.4- Vaso Chinês	71
5.5- Tronco de árvore	76
5.6- Cepo de Árvore.....	81
5.7- Estátua da criança	86
5.7.1- Técnica tradicional.....	91
5.8- Observações finais.....	95
6- Conclusão	98
6.1- Trabalhos futuros	100
IV.Referências bibliográficas	101
V.Anexo - CD com modelos finais.....	105

II. Lista de Figuras

Figura 1- Instrumento de mesa plana, imagem de OLPC Plane table (n.d.).	6
Figura 2- Stereoplotter analógico, imagem de Dermanis (2017).	7
Figura 3- Stereoplotter analítico, imagem de OLPC Stereoplotter (n.d.).	8
Figura 4- Captura das fachadas de prédios, através do uso de um drone. Foto de Jesto (2017).	9
Figura 5- “3D modeling results of the complex archaeological site of the forum in Pompeii (Italy) performed integrating terrestrial images, long-range TOF scanning and aerial images”, imagem de Remondino (2011).	10
Figura 6- Acidente de viação reconstruído através de fotogrametria. Imagem de Kineticorp (d.n.d.).	11
Figura 7- “ <i>Bimbe conglomerate reconstructed using Agisoft Photoscan Professional from Curiosity MAHLI images taken on sol 1409</i> ” imagem de Ostwald & Hurtado (2017).	12
Figura 8- <i>Assets</i> digitalizados em 3D para o filme Lara Croft: Tomb Raider. Imagem de 3D Scanning Guy (2013).	14
Figura 9- Megascans de rochas, imagem da empresa Quixel (2019).	15
Figura 10- Tabela do tempo de produção estimado por Lachambre et al. (2017)	17
Figura 11- <i>Workflow</i> da estrutura do trabalho utilizado neste projeto.	18
Figura 12- Fluxo de trabalho criado para este projeto.	22
Figura 13- Características dos quatro softwares de fotogrametria digital testados, imagem de Übel (2019).	25
Figura 14- Equipamento ideal para uma sessão captura de fotografias, segundo Lachambre et al. (2017, pp.7-9).	27
Figura 15- Câmaras utilizadas na captura dos objetos. Fotografia pessoal (fevereiro de 2019).	28
Figura 16- Sistema de iluminação Turbo Lux Profi. Fotografia pessoal (abril de 2019).	29
Figura 17- Esquema do sistema de iluminação de três pontos. Imagem de Baptista (d.n.d.).	29
Figura 18- Exemplo da diferença de boas condutas no processo de captura de imagens de um objeto simples como um sapato. Imagem de Jane@CR (2017).	31
Figura 19- Configuração de estúdio de múltiplas câmaras. Imagem de Sher (2015).	32
Figura 20- Captura de um objeto sobre uma mesa rotativa. Fotografia pessoal (Lisboa- março de 2019).	32
Figura 21- Movimentação em torno do objeto para captura. Fotografia pessoal tirada no museu Machado dos Reis (Coimbra- março de 2019).	33

Figura 22- Drone a capturar a topográfica de uma cidade. Imagem de DrDrone.ca. (2019). ...	33
Figura 23- Exemplo de uma boa cobertura de câmaras sobre o objeto. Imagem de Cawston (2017).	35
Figura 24- Exemplo de triangulação das fotos. Imagem de Pix Pro (2019).	35
Figura 25- Exemplo de ângulos que podem escapar. Imagem de Kuzmin, V. (2018).	36
Figura 26- Edição de histograma de cores no Photoshop. Imagem de Sugai, A. (2016).	37
Figura 27- Exemplo de criação de máscara e remoção de fundo. Imagem de ClippingImagesIndia (2019)	38
Figura 28- Alinhamento de imagens para o Reality Capture. (captura de ecrã pessoal, Lisboa-março de 2019)	39
Figura 29- Imagem inerente da definição de overlap da Capturing Reality s.r.o. (2019)	40
Figura 30- Interface das definições de alinhamento da Reality Capture. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)	40
Figura 31- Visualização do posicionamento de pontos de controlo num objeto. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)	41
Figura 32- Aplicação dos pontos de controlo. Imagem de CapturingRealitySupport (2019). ...	42
Figura 33- Pré-visualização do modelo em vértices após alinhamento das fotografias. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)	42
Figura 34- Exemplo de modelo após Reconstrução. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)	43
Figura 35-Exemplo de modelo após texturização. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)	44
Figura 36- Exemplo da aplicação da simplificação para redução de polígonos. Imagem facultada pela Capturing Reality s.r.o. (2019).	45
Figura 37- Ferramenta de seleção Lasso do Reality Capture. (captura de ecrã pessoal, Lisboa-março de 2019)	46
Figura 38- Janela das definições de exportação da <i>mesh high poly</i> do programa Reality Capture. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)	47
Figura 39- Exemplo de retopologia aplicada a um objeto. (captura de ecrã pessoal, Lisboa-março de 2019)	48
Figura 40- Possíveis mapas de ser renderizados. Imagem facultada por Lachambre et al. (2017).	49
Figura 41- <i>Baking</i> de mapa de <i>ambient occlusion</i> . (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)	50

Figura 42- Exemplo de correção das bases de um mapa de textura. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019).....	52
Figura 43- Teste de reconstrução em objeto de larga escala. Automóvel pessoal (captura de ecrã pessoal, Lisboa- fevereiro de 2019).....	55
Figura 44- Teste de reconstrução de uma estátua de rua. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- fevereiro de 2019).....	55
Figura 45- Testes de reconstrução de objetos de pequeno e médio porte. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- fevereiro de 2019).....	56
Figura 46- “Cavaleiro Medieval do século XIV, Mestre Pero. Capela dos Ferreiros, Oliveira do Hospital” (fotografia pessoal tirada no museu machado dos Reis, Coimbra- abril de 2019)....	57
Figura 47- Captura por método de walk around do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)	58
Figura 48- Visualização das três primeiras fases de reconstrução do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)	59
Figura 49- Elementos extra da fase de reconstrução do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)	59
Figura 50- Retopologia do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)	60
Figura 51- Mapas de texturas do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)	61
Figura 52- Visualização final do objeto Cavaleiro Medieval implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)	61
Figura 53- Anjo Turiferário, de 1501 d.C. - 1525 d.C. Escultura em madeira (fotografia pessoal tirada no museu Machado dos Reis, Coimbra- fevereiro de 2019).....	63
Figura 54- Visualização dos erros produzidos no objeto Anjo turiferário, frente e verso. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- fevereiro de 2019).....	64
Figura 55- Predela da Paixão de Cristo de 1530-1540, João de Ruão Mosteiro das Celas (fotografia pessoal tirada no museu machado dos Reis, Coimbra- abril de 2019).....	66
Figura 56- Visualização do objeto predela da paixão de cristo, na sua fase de reconstrução. (captura de ecrã pessoal, alcobaça- abril de 2019)	67
Figura 57- Visualização do objeto predela da paixão de cristo, na sua fase de sculping. (captura de ecrã pessoal, alcobaça- maio de 2019).....	68
Figura 58- Mapas de texturas da fase de baking do objeto predela da paixão de cristo. (captura de ecrã pessoal, alcobaça- maio de 2019).....	68
Figura 59- Visualização final do objeto predela da paixão de cristo implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, alcobaça- maio de 2019).....	69

Figura 60- Vaso Chinês, objeto particular (fotografia pessoal, Lisboa- maio de 2019).	71
Figura 61- Início da remoção das partes extras que apareceram na fase de reconstrução do objeto Vaso Chinês (fotografia pessoal, Lisboa- maio de 2019).	72
Figura 62- Visualização da remoção da base e topo, na fase de reconstrução, do objeto Vaso Chinês. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- maio de 2019)	72
Figura 63- Topo e base do objeto Vaso Chinês após a fase de retopologia. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- maio de 2019)	73
Figura 64- Mapas de texturas da fase de <i>baking</i> do objeto Vaso chinês. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- maio de 2019)	74
Figura 65- Visualização final do objeto Vaso Chinês implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- maio de 2019).....	74
Figura 66- Fotografia do tronco de árvore utilizado para a reconstrução (fotografia pessoal tirada em Alcobaça- maio de 2019).	76
Figura 67- Modelo final da fase de reconstrução do objeto tronco de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)	77
Figura 68- Erros visíveis na fase de <i>sculping</i> do objeto tronco de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)	77
Figura 69- Fase final da retopologia do objeto tronco de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)	78
Figura 70- Mapas de texturas da fase de <i>baking</i> do objeto tronco de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)	79
Figura 71- Visualização final do objeto tronco de árvore implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019).....	79
Figura 72- Cepo de árvore (fotografia pessoal tirada em Alcobaça- junho de 2019).	81
Figura 73- Resultado final da fase de reconstrução do objeto cepo de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)	82
Figura 74- Visualização dos fragmentos de mesh indesejados do objeto cepo de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019).....	82
Figura 75- Visualização dos erros criados na fase de retopologia do objeto cepo de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019).....	83
Figura 76- Mapas de texturas da fase de <i>baking</i> do objeto Cepo de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)	84
Figura 77- Visualização final do objeto cepo de árvore implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019).....	84
Figura 78- Estátua Criança (fotografia pessoal tirada no Parque do Campo Grande, Lisboa- junho de 2019).	86

Figura 79- Visualização da falha de alinhamento do objeto estátua da Criança. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019).....	87
Figura 80- Modelo final da fase de reconstrução do objeto estátua da criança. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)	87
Figura 81- Visualização do erro e remoção da base do objeto estátua da criança durante a fase de reconstrução. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019).....	88
Figura 82- Visualização do arranjo da base do objeto estátua da criança durante a fase de sculping. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)	88
Figura 83- Mapas de texturas da fase de baking do objeto estátua da criança. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019).....	89
Figura 84- Visualização final do objeto estátua da criança implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019).....	89
Figura 85- Início da construção do modelo, por método tradicional, utilizando zspere. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019).....	91
Figura 86- Visualização do processo de criação da estátua da criança por método tradicional. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019).....	92
Figura 87- Visualização do processo de adição de detalhe da estátua da criança por método tradicional. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)	92
Figura 88- Mapas de texturas da fase de baking do objeto estátua da criança por método tradicional. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)	93
Figura 89- Visualização final do objeto estátua da criança, por método tradicional, implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019).....	93

III. Lista de Tabelas

Tabela 1- Contributos feitos por vários autores para o surgimento da fotogrametria. Segundo Albertz (2007) e o The Center for Photogrammetric Training (2008).	5
Tabela 2- Bibliografia explorada na temática da aplicação da fotogrametria na área dos videojogos.	Erro! Marcador não definido.
Tabela 3- Regras de obtenção de imagens, segundo a CapturingReality, s.r.o. (2019).	34
Tabela 4- Cronograma de trabalho aplicado a este projeto dos meses de fevereiro a julho de 2019.	54
Tabela 5- Anotações da criação final do objeto Cavaleiro Medieval	62
Tabela 6- Anotações do percurso do objeto Anjo Turiferário	65
Tabela 7- Anotações da criação final do objeto Predela da paixão de cristo.....	70
Tabela 8- Anotações da construção final do objeto Vaso Chinês	75
Tabela 9- Anotações da construção final do objeto Tronco de árvore.....	80
Tabela 10- Anotações da construção final do cepo de árvore	85
Tabela 11- Anotações da construção final do objeto estátua da criança.....	90
Tabela 12- Anotações da construção final do objeto estatua da criança por método tradicional	94
Tabela 13- Tabela comparativa dos assets gerados por técnica de fotogrametria, durante este projeto.	95

1 - Introdução

No presente os videojogos procuram incrementar o realismo nos seus títulos com o objetivo de proporcionarem maior entretenimento e experiência aos jogadores. A necessidade de enveredar pelo *hiper-realismo* permite apresentar ao jogador um cenário de maior imersão nos jogos que o transporta a um espaço elaboradamente simulado e agradável em si mesmo, mesmo em contexto de fantasia¹, como assinala McMahan (2003, p. 68):

“Immersion means the player is caught up in the world of the game’s story (the diegetic level), but it also refers to the player’s love of the game and the strategy that goes into it (the nondiegetic level)”

Neste sentido a modelação 3D tem acompanhado através da evolução dos softwares utilizados para a produção de videojogos, com a ressalva da estagnação que ocorre no caso do *pipeline*² de produção de criação de *assets*³ fotorrealistas, que segundo Slater & Childs (2016, p.5), permanece tedioso e demorado para os artistas 3D:

“3D modeling software is a slow and tedious process, where the artist has to manually construct the object(s) with triangle, quadrilateral, or other (rarely used) polygonal constructs.”

Torna-se importante investigar métodos de simplificação do processo de criação de *assets* fotorrealistas. No enquadramento deste problema surge o interesse na análise da aplicação da técnica de fotogrametria por permitir a mudança na estrutura dos *pipelines* de modelação 3D tradicionais⁴.

¹ Tradução do autor. Do original: “The experience of being transported to an elaborately simulated place is pleasurable in itself, regardless of the fantasy content. We refer to this experience as immersion.” (Murray, 1997, pp.98-99)

² Técnica utilizada em gestão de projetos, para segmentação de instruções. Pretende definir as fases do projeto e a estrutura do mesmo numa fase inicial, procurando estabelecer uma organização a seguir durante o desenvolvimento do mesmo. Permite assim, que várias áreas/departamentos tenham o mesmo foco de procurar finalizar as instruções da primeira fase para se poder partir para a segunda.

³ Um *asset*, dentro da área dos Jogos Digitais refere-se aos recursos produzidos ou comprados para a implementação num videojogo. Como é exemplo, um objeto, uma personagem, um cenário ou uma textura.

⁴ Entende-se por técnica Padrão ou Tradicional, como o processo clássico de criação de *assets*. Processo este, que segundo o autor Lachambre et al. (2017, p.5) segue as seguintes fases: “*high mesh; texturing; retopology; UV e baking; material; import IG; LOD*”.

Importa aqui clarificar o conceito de fotogrametria. Segundo a American Society for Photogrammetry and remote Sensing (2004), entende-se como a recolha e o tratamento de dados das propriedades das superfícies nos objetos, sem a necessidade de entrar em contacto físico com os mesmos⁵. Apresenta-se como uma abordagem matemática que através de cálculos triangula os pontos partilhados entre diferentes fotografias dos objetos, em outros termos, está-se perante um processo capaz criar modelos 3D com base em fotografias bidimensionais (2D).

Esta técnica permite replicar objetos do mundo real através de fotografias para modelos virtuais idênticos, e surge como alternativa de abordagem à forma como se consegue modelar *assets* fotorrealistas para videojogos. Note-se que a técnica de fotogrametria 3D já foi aplicada na indústria por empresas como a *Electronic Arts* (Brown & Hamilton, 2016), ou a *The Astronauts* (Poznanski, 2014), o que demonstra ser possível criar peças de ambiente mais realistas em videojogos. Ainda sobre a aplicação desta técnica, Poznanski (2014), no seu jogo *The Vanishing of Ethan Carter*, afirma que a fotogrametria 3D auxilia a fase criativa dos artistas ao permitir a elaboração de formas mais naturais, e com melhor qualidade de texturas. Salienta, também, que existe uma clara desigualdade das produções dos artistas em paridade com as construções da natureza:

“Photogrammetry is incredible. (...) So much detail, so many intricacies, but most importantly, all of them just make deep sense. Cracks, stains, erosion - Mother Nature has worked a billion years on some of these assets, it's almost unfair to expect comparable quality from artists who spend no more than few days on similar assets.”

Os modelos deixam de ser apenas aproximações simplistas da realidade, eles passam a ser a própria realidade⁶. Acrescem outros autores, Lachambre et al. (2017) e Brown & Hamilton (2016), que a fotogrametria permite acelerar o *pipeline* de modelação de *assets* fotorrealistas, importante ponto na questão dos tempos de produção. Deve-se referir ainda que o processo de construção de um modelo, no decurso do *pipeline* da técnica tradicional, necessita em média de duas semanas de desenvolvimento em estúdio *triple A*⁷, tempo que tende a aumentar quando a opção envereda por renderizações mais realistas. Este conjunto de situações comprovam a

⁵ Tradução do autor. Do original: “(...) *ability to observe and measure physical objects or phenomena; many situations require that observations and measurements be acquired remotely, i.e., without physical contact (...)*”. (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2004, p.1)

⁶ Tradução do autor. Do original: “*In the Vanishing of Ethan Carter, you'll see some of the most realistic environment pieces ever created for a video game. Assets are no longer simplistic approximations of reality - they are reality.*” (Poznanski, 2014)

⁷ Na indústria dos Jogos Digitais, estúdios *Triple A* ou *AAA* é uma classificação utilizada para empresas com os maiores orçamentos e níveis de promoção. Um título considerado *AAA*, é esperado que seja de alta qualidade e que esteja entre os melhores do ano. (Marquardt & Culyba, 2019, p.41)

relevância da técnica de fotogrametria enquanto opção de *pipeline* para as empresas de produção de videogames na criação de títulos fotorrealistas.

Face ao atrás referido surge pertinente estudar a questão da viabilidade da técnica no âmbito de freelancers ou desenvolvedoras indie. Note-se que em ambas as situações o contexto é caracterizado pelas dificuldades inerentes à sua dimensão: financiamento, recursos humanos e tecnológicos, espaços de atividade, projeção da divulgação dos seus títulos⁸. Neste contexto, a paridade da sua situação com as empresas triple A, particularmente ao nível de projetos fotorrealistas, é forçosamente contrastante, daí que a sua sobrevivência e evolução dependa da criatividade, e do encontro desta com a rentabilização dos recursos disponíveis.

Sobre esta temática, Kovanto (2013), definiu as três áreas mais problemáticas a partir da análise de projetos de empresas indie, e constatou que 23,76% dos casos de falhas se encontram na área do design, 20,79% na gestão dos projetos, e 12,87% ocorrem em falhas nos modelos de negócios.

Enquadrado no contexto descrito, este projeto propõe-se explorar a viabilidade e contribuição da técnica de fotogrametria nas áreas do design e gestão de projetos em contexto amador. O objetivo é aferir a possibilidade, pela sua utilização, em se obter resultados de qualidade na criação de *assets* fotorrealistas. Note-se que se entende como amador, neste projeto, como um meio que se caracteriza por apresentar diversas restrições de partida, tais como: limitações de equipamentos: hardware e software; restrição de mão de obra: um freelancer; nenhuma experiência prévia na utilização prática e teórica da técnica; orçamento limitado e pequeno; tempo limitado e curto; e deslocações aos espaços de recolha condicionadas.

Em função desta premissa este trabalho apresenta um caráter prático que visa a aplicação da técnica de fotogrametria em objetos selecionados, e que explora, e averigua, da sua viabilidade nos processos de modelagem 3D de *assets* fotorrealistas em condições amadoras no domínio dos videogames.

Este projeto surge de o autor pretender aprofundar o seu conhecimento na área da modelação 3D, e ter referências práticas e teóricas para futuros trabalhos neste campo. A sua realização partiu por se entender pertinente contribuir para abrir o leque de conhecimento de soluções técnicas disponíveis na criação prática de jogos digitais, e que permitem a sua rentabilização em enquadramento de pequenos recursos.

⁸ Com base no autor Kovanto, A. (2013, p.63-64): “For Indies making fun games is the most important issue and often marketing and business is overlooked or not properly studied at all. Due to limited manpower, knowledge and funds this is very understandable.”

1.1 - Pergunta de Investigação e Objetivos

Este projeto procura responder à seguinte questão de investigação:

- É possível e viável replicar objetos reais, utilizando a técnica de fotogrametria num ambiente amador, para o desenvolvimento de *assets 3D*, com aplicação para projetos de videojogos?

Subjaz o aferir da qualidade e viabilidade do método selecionado para a conversão de objetos reais em 3D, utilizando a técnica de fotogrametria. Neste sentido, explora-se como o *workflow* de fotogrametria é implementado na área da modelação 3D, por empresas triple A, através de uma análise à acessibilidade da mesma, características, e capacidade em reconstruir objetos como *assets* de videojogos.

A investigação estrutura-se em estudo de caso que se define na reconstrução de sete objetos com base na técnica de fotogrametria com o fim de criar *assets* fotorrealistas capazes de serem implementados em ambiente de videojogo.

Decorrente da problemática o trabalho fixou como objetivos:

- Análise comparativa dos tempos de produção e qualidade de texturas em comparação com a técnica tradicional de criação de modelos, assim como, as principais diferenças entre ambas as técnicas;
- Criar um registo de apoio à aplicação desta técnica.

Face a estes pressupostos desenhou-se a seguinte linha de trabalho:

1. Sistematizar os passos da técnica de fotogrametria;
2. Selecionar um conjunto de objetos de características diversas: localização; acesso; dimensão; textura; coloração;
3. Escolher um dos objetos para ser reconstruído aplicando também a técnica tradicional;
4. Aplicar a metodologia sistematizada na amostra;
5. Aplicar a técnica tradicional no objeto selecionado;
6. Levantamento e análise dos resultados obtidos entre ambas as técnicas.

2 - Enquadramento histórico e revisão da literatura

Neste capítulo apresenta-se num primeiro ponto o levantamento histórico da fotogrametria, onde se procura perceber as suas origens e finalidade da sua conceção. No segundo ponto faz-se o recorte temporal de trabalhos recentes relacionados à temática e referentes à última década. A análise do estado da arte enquadra-se nas várias áreas onde este método tem sido aplicado, e com maior detalhe a sua ligação à área dos Jogos Digitais.

2.1- Levantamento Histórico

O trabalho de Leonardo da Vinci foi primordial (The Center for Photogrammetric Training, 2008), e consubstanciou o princípio da projecção geométrica sob a perspectiva gráfica (Doyle, 1964). Este contributo foi continuado por matemáticos e cientistas através de estudos no campo da ótica, e da perspectiva, tendo evoluído de forma constante conforme se pode observar na tabela 1.

Tabela 1- Contributos feitos por vários autores para o surgimento da fotogrametria. Segundo Albertz (2007) e The Center for Photogrammetric Training (2008).

NOME	ANO	ESTUDOS
A. Duerer	1525	Criação do primeiro instrumento capaz de capturar a perspectiva em Desenho
J. H. Lambert	1759	Desenvolveu os princípios matemáticos da imagem perspectiva no seu tratado "Perspectiva Liber"
J. N. Niépce	1765-1833	Primeira Fotografia
J. M. Daguerre	1837	Obteve a primeira fotografia prática utilizando um processo a que chamou Daguerreotype.
D. F. J. Arago	1840	Criou o conceito da fotogrametria
R. Sturms e G. Hauck	1883	Desenvolveu a relação entre a geometria projetiva com a fotogrametria

O desenvolvimento da fotogrametria pode-se enquadrar em quatro ciclos de evolução que se encontram interligados com a evolução da tecnológica, conforme o The Center for Photogrammetric Training (2008):

1. Fotogrametria de Mesa Plana: esta primeira fase estendeu-se aproximadamente de 1850 a 1900. Iniciou-se com Aimé Laussedat que foi o primeiro a utilizar a fotografia terrestre para compilação de mapas topográficos; ficando posteriormente conhecido como o pai da fotogrametria, embora o termo não estivesse definido à altura. Esta fase ficou marcada por várias tentativas de captura de fotografia aérea, assim como de avanços ao nível de câmaras, que permitiram o desenvolvimento de instrumentos como o *plane table* que pode ser observado na figura 1.

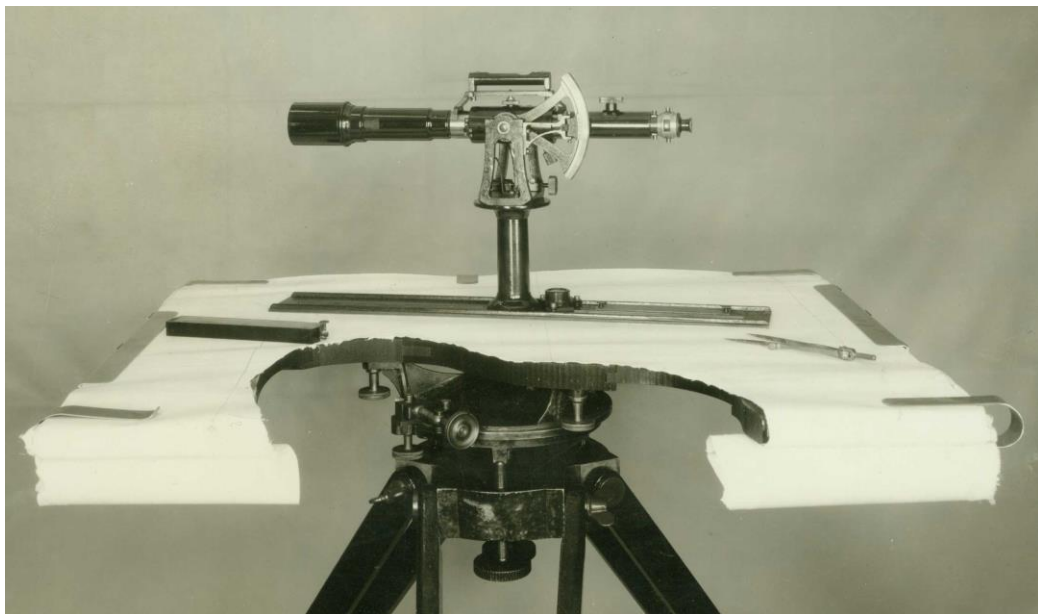


Figura 1- Instrumento de mesa plana, imagem de OLPC Plane table (n.d.).

Segundo o autor Birdseye (1940) o instrumento funcionava da seguinte forma: *“This camera exposed the photo plate in a horizontal position. The light rays were deflected at right angles by using a prism attached to the sighting device that could be rotated.”* Utilizando a “alidade” traçava-se uma linha que era determinada pela posição do objeto observado na mira telescópica. Graças à sua simplicidade tornou-se um instrumento essencial no desenho da tridimensionalidade de terrenos.

2. Fotogrametria Analógica: esta segunda fase compreendeu entre 1900 e 1960 e caracterizou-se por dois grandes avanços, o aumento do uso da estereoscopia e o desenvolvimento da aviação⁹, progressos que facilitaram a prática de capturas de fotografias aéreas.

Várias teorias surgiram, segundo o The Center for Photogrammetric Training (2008), como o conceito da triangulação radial e o princípio da fotogrametria por dupla imagem. Conceitos estes, que potencializaram a criação de novos instrumentos como o “stereoplotter” analógico observado na figura 2:

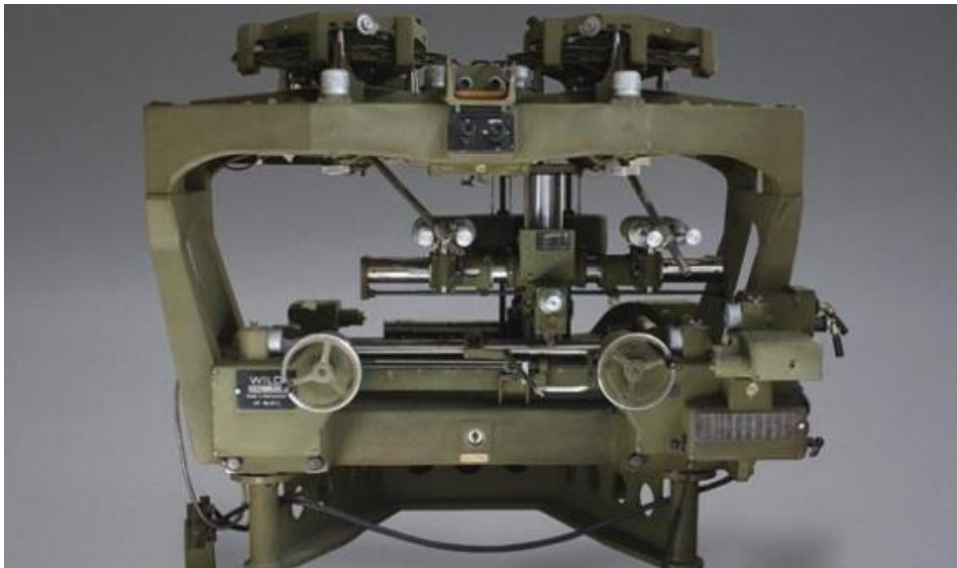


Figura 2- Stereoplotter analógico, imagem de Dermanis (2017).

Este instrumento utilizava componentes óticos, mecânicos e eletrônicos. Com estas novas máquinas foi possível reconstruir geometrias 3D para mapeamento topográfico de zonas de alta elevação através da utilização sobreposição de duas imagens.

3. Fotogrametria Analítica: esta fase ocorreu entre 1960 a 1970, e ficou marcada pela invenção do computador¹⁰, ferramenta que possibilitou a execução de cálculos mais precisos, assim como, permitiu uma mudança do formato de papel para o digital. Os instrumentos mecânicos foram substituídos pelo computador e com isso o surgiu o “stereoplotter” analítico observado na figura 3:

⁹ Tradução do autor. Do original: “Two important developments were required to advance photogrammetry to its second phase (...). First, stereoscopy was becoming widely used. Second, the development of the airplane by the Wright brothers in 1903.” (Konecny, 1985)

¹⁰ Com base no autor Konecny (1985): “The invention of the computer (by Zure in Germany in 1941 and independently by Aitken in the US in 1943) made significant advances to photogrammetric developments after 1950.”



Figura 3- Stereoplottter analítico, imagem de OLPC Stereoplottter (n.d.).

O enfoque deste dispositivo continuou a incidir na obtenção de mapas topográficos, contudo o trabalho neste campo passou a utilizar o formato digital, DEM (*digital elevation maps*);

4. Fotogrametria Digital: a quarta e última fase do ciclo é marcada pelas soluções analíticas que resultam da fase anterior e que passam a ser aplicadas em imagens digitais. Convertem-se para uma visão computacional através da incorporação de técnicas de processamento digitais das imagens. A sua aplicabilidade estendeu-se a diversas áreas científicas: arquitetura, medicina, desporto, arqueologia, cinema e nomeadamente nos Jogos Digitais.

2.2- Estado da Arte

A fotogrametria encontra-se atualmente na fase digital, e abriu a sua aplicabilidade a vários campos científicos e de entretenimento. Após exploração da temática, e constatou-se a sua utilidade nas áreas de arquitetura e modelação urbanística. Atendendo ao planeamento urbanístico e auxílio na construção de edifícios, ou no mapeamento de zonas permitindo a idealização de estruturas em 3D sem a necessidade de dados de elevação, que são em grande parte os entraves da área, assinalam a esse propósito os autores Biljecki *et al.* (2017):

“Elevation datasets (e.g. point clouds) are an essential but often unavailable ingredient for the construction of 3D city models.”

A sua aplicação permite gerar representações de cidades em 3D a partir de fotografias e sem recurso a dados de elevação, o que facilita a rápida atualização e manutenção dos dados¹¹. Entretanto, o desenvolvimento da indústria de drones fez sobressair os limites e a acessibilidade da técnica. O acesso a esta tecnologia reduziu os custos dos projetos, diminuiu consideravelmente o tempo de realização dos mesmos e abriu um campo de possibilidades até hoje negados. Drones de pequenas dimensões conseguem obter imagens em sítios onde outros meios aéreos não conseguem aceder, como alude a figura 4:

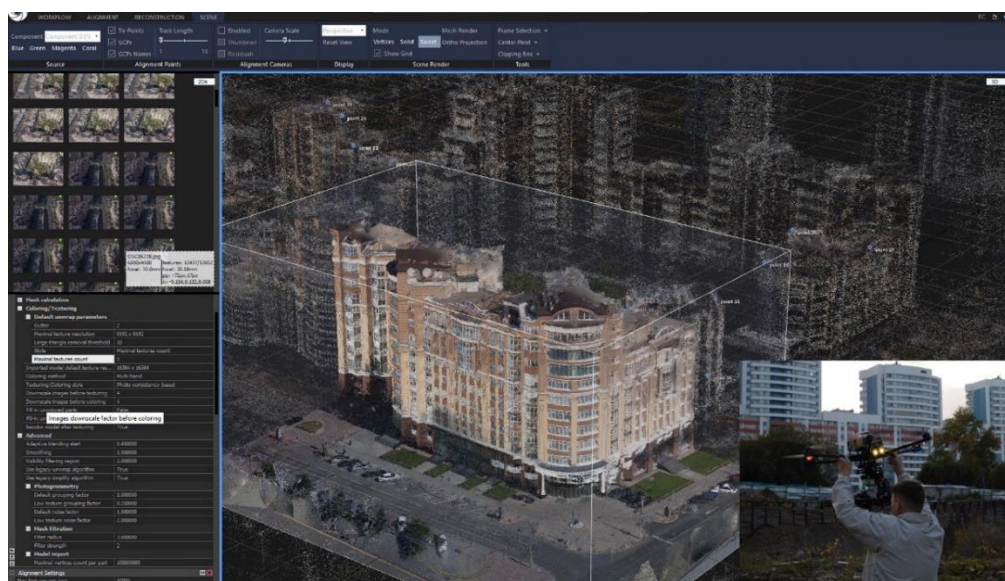


Figura 4- Captura das fachadas de prédios, através do uso de um drone. Imagem de El Jesto (2017).

No contexto atual a modelagem 3D fotogramétrica permite aos arquitetos a elaboração de modelos 3D fotorrealistas de edifícios, estradas, ou mapas topográficos. A partir de imagens aéreas e terrestres, conseguem realizar processos de teste dos seus projetos, como assinalam Aber et al. (2019):

“Photogrammetry comprises all techniques concerned with making measurements of real-world objects and terrain features from images. These may be aerial as well as terrestrial images, and they may be taken by film cameras, digital cameras or electronic scanners on tripods, airborne or spaceborne platforms. Applications include the measuring of coordinates, quantification of distances, heights, areas and volumes, preparation of topographic maps, and generation of digital elevation models and orthophotographs.”

¹¹ Com base no autor Biljecki et al. (2017): “We show that our method can be used in practice to generate 3D city models where there are no elevation data, and to supplement existing datasets with 3D models of newly constructed buildings to facilitate rapid update and maintenance of data.”

Ainda na área da arquitetura, e segundo Valença et al. (2008), a técnica pode servir para o controlo de deformações em grandes obras, monitorizando o comportamento das estruturas em ensaios laboratoriais.

Continuando a observação sobre aplicações da fotogrametria, também na preservação do património cultural, como é o caso dos acervos históricos, nota-se o crescimento desta técnica segundo Andreu & Serrano (2019). Os museus recorrem a ela porque otimiza as exposições de artefactos nos seus espaços ultrapassando limitações de espaço, conforme Hellman & Lahti (2018, p.161) assinala:

“Museums all over the world share the same problem of constantly rising amount of exhibits, while storage capacity is not keeping pace. Only a small share of museum exhibits may be visible for the public at a time. Exhibits may be photographed, converted into 3D virtual objects and shown to the public online by 3D photogrammetry.”

A aplicação da fotogrametria não se centra apenas em ultrapassar a questão de espaços das exposições museológicas, é utilizada também na preservação em arquivo de documentação digital 3D, mapeamento e dinamização educacional, como é exemplo a reconstrução do complexo do fórum de Pompeia, que permitiu a preservação digital do local, e que se pode observar na figura 5.

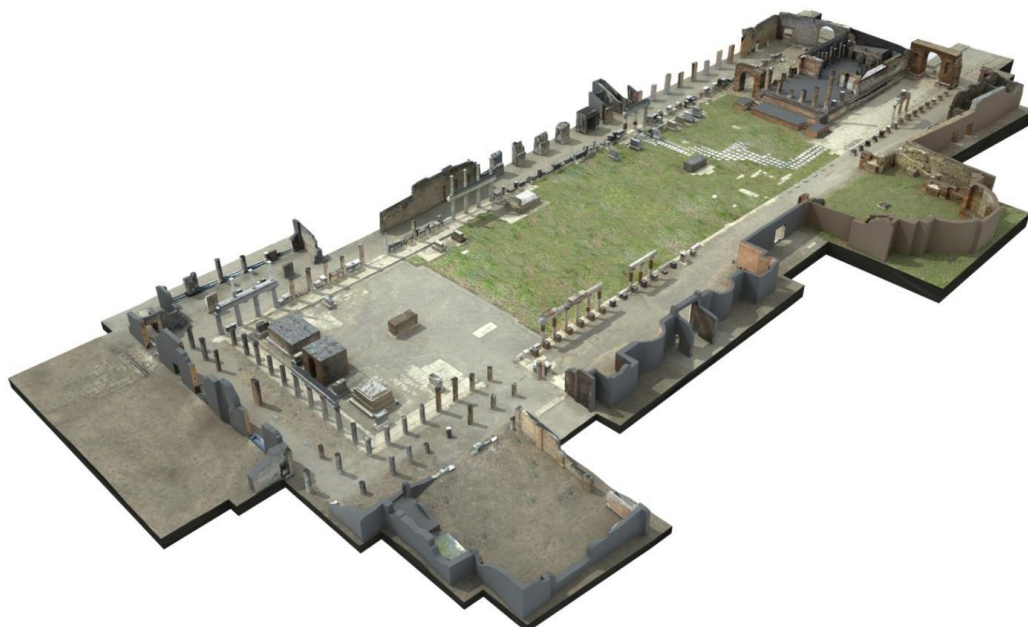


Figura 5- “3D modeling results of the complex archaeological site of the forum in Pompeii (Italy) performed integrating terrestrial images, long-range TOF scanning and aerial images”, imagem de Remondino (2011).

Partindo das considerações acima referidas, encontra-se a correlação com o domínio da arqueologia. Criar e comparar modelos fotogramétricos antes, e depois, da sua limpeza e tratamento, permite analisar as áreas em que os procedimentos se tornam mais efetivos. Além disso, a sua aplicação oferece menor custo, portabilidade, eficácia e simplicidade no tratamento e limpeza dos fragmentos, segundo López-Martínez et al. (2018):

“Therefore, photogrammetry offers a low cost, portable and simple solution for objectively assessing the efficacy of a cleaning treatment.”

Outro campo profissional onde esta técnica intervém é o da investigação policial. Neste âmbito, este método encontra-se a ser implementado por permitir a reconstrução de cenários de crimes e acidentes de viação¹², como reflete a figura 6.



Figura 6- Acidente de viação reconstruído através de fotogrametria. Imagem de Kineticorp (d.n.d.).

Neste tipo de situação Lanzi (2009) defende que o recurso a esta técnica permite registar cenários de acontecimentos sem a necessidade de tocar diretamente nos objetos primordiais para os casos. Assim, e desta forma, em fases posteriores consegue-se visualizar e analisar com maior acuidade os pormenores, e preservar-se em arquivo digital todos os dados relevantes para registo futuro.

Na saúde e medicina, a utilização da técnica para tratamento de doenças como a escoliose idiopática em adolescentes tem mostrado ser bom recurso na substituição da técnica tradicional de radiografia de acordo com a autora Leal et al. (2019).

No tratamento dentário, Javaid et al. (2018) assinala que a utilização da fotogrametria pode ser vantajosa no suporte da educação odontológica:

¹² Traduzido e adaptado do autor Lanzi (2009, p.183): “Par la suite, la photogrammétrie combinée avec la modélisation 3D a été étudiée dans plusieurs situations forensiques, notamment dans divers cas d’accidents de la circulation, lors d’un accident de travail, d’un accident de chasse, dans diverses situations d’investigation de lieux de crimes, pour l’analyse d’images, dans un cas d’accident aéronautique et dans un cas de reconstruction d’événements d’après des témoignages.”

“The dentist can take advantages of this technology towards designing custom teeth, crown, braces, dentures, veneers and aligner. 3D digital models also support teaching in dental education for better understanding and practice of the teeth anatomy.”

No domínio científico observa-se o seu uso na reconstrução de superfícies de planetas. Exemplo é o caso do projeto de estudo do planeta Marte produzido partir de fotografias tiradas pela missão *Mars Express* (MEX) da ESA, conforme Albertz et al. (2005) salienta:

“The High-Resolution Stereo Camera (HRSC) on the European spacecraft Mars Express is the first camera on a planetary mission especially designed for photogrammetric and cartographic purposes. Since January 2004 the camera has been taking image data from the Martian surface, characterized by high-resolution, stereo capability and color. These data provide an enormous potential for the generation of 3D surface models, color orthoimages, topographic and thematic maps, and additional products.”

Utilizando a *Mars Hand Lens Imager* (MAHLI), Ostwald & Hurtado salientam que através dos dados obtidos torna-se possível reconstruir em escala, modelos da geologia da superfície do planeta Marte, e sugerem o recurso a esta técnica no futuro das missões de exploração espacial¹³. Na figura 7, encontra-se um exemplo do potencial da fotogrametria na reconstrução de uma pequena área da superfície do planeta Marte.

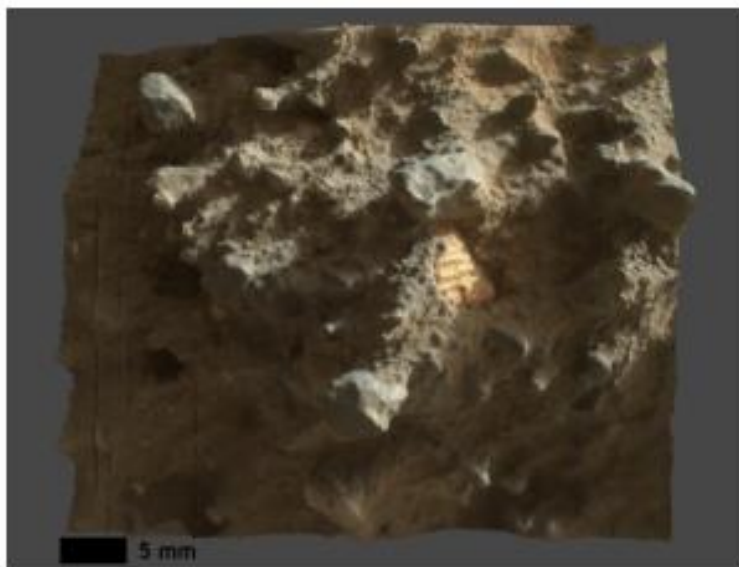


Figura 7- *“Bimbe conglomerate reconstructed using Agisoft Photoscan Professional from Curiosity MAHLI images taken on sol 1409”* imagem de Ostwald & Hurtado (2017).

¹³ Com base nos autores Ostwald & Hurtado (2017) “We use this feature to demonstrate reconstruction of the traverse path of Curiosity from photographs alone, and make recommendations for applications of SfM for this purpose in current and future planetary exploration missions.”

No cinema e entretenimento tem sido crescente a utilização da fotogrametria. Um dos primeiros filmes a utilizar esta técnica foi o *Fight Club*¹⁴, porém, mais exemplos podem ser dados como o *The Campanile Movie* e *Matrix*¹⁵. A técnica de fotogrametria trouxe aos cineastas maior liberdade no design dos cenários e efeitos de câmara, como assinala Fischer (2015, p.150):

“Photogrammetry enabled the film’s effects artists to model the photographed buildings in the three-dimensional computer space. Photogrammetry is widely used in contemporary cinema when artists need to construct digital environments that are modeled on real locations or objects.”

Na atualidade é difícil encontrar um filme que não recorra ao conceito da fotogrametria por se ter tornado uma extensão das técnicas de efeitos especiais¹⁶. A sua utilização tem-se centrado na criação de *assets* de alta qualidade para implemento em filmes e jogos. É exemplo disso a figura 8 que representa modelos digitalizados no âmbito do filme *Tomb Raider* (Major, 2018), que mais tarde teve versão em jogo.

¹⁴ Com base no autor Willis (2016, p.142) “Notably, *Fight Club* is touted as the first film to use photogrammetry, mapping together physical and virtual spaces to create composite.”

¹⁵ Com base nos autores Fisher et al. (2001, p.n.d.): “The techniques from the *campanile movie* were later used to create the virtual background in the “bullet time” shots for the 1999 Keanu Reeves film *The Matrix*.”

¹⁶ Com base na autora Fischer (2015, p.22): “In general, Prince sees techniques of CGI as an extension of the kinds of special effects that have always embellished films”



Figura 8- Assets digitalizados em 3D para o filme Lara Croft: Tomb Raider. Imagem de 3D Scanning Guy (2013).

Na indústria dos jogos digitais, a fotogrametria, por via do incremento do fotorrealismo tornou-se numa forte aposta por parte das empresas Triple A. Desta realidade são exemplo os títulos: *The Vanishing of Ethan Carter* (Poznanski, 2014); *Star Wars: BattleFront* (Brown & Hamilton, 2016); *Resident Evil 7* (Figueroa, 2017) e *Metro Exodus*, (Kurbatov, S., 2019).

Na última década de 2010¹⁷ constatou-se um crescimento da implementação da fotogrametria em pipelines de produção em consequência dos avanços tecnológicos na área da digitalização 3D, como salientam Graphine (2014)¹⁸ e Hellman & Lahti (2018)¹⁹. A evolução de máquinas fotográficas, hardware e softwares, melhoraram a sua disponibilidade e eficácia de trabalho. Um exemplo dessa mesma aplicação é dada pelos autores Foster & Halbstein (2014) que destacam a importância da fotogrametria no desenvolvimento da Microsoft Kinect, bem como o potencial que apresenta na criação de uma nova forma de captação mais rápida, e em tempo real através do Kinect Fusion.

“Due to the industry-leading research laboratories in computer vision combined with its Xbox and Kinect video game platform, Microsoft has been a market leader with combining photogrammetry and computer vision technology”

¹⁷ Com base na autora Statham (2018, p.3): “(...) the key developments in the field since 2014, how the technique is being adopted by game studios, what are the current and future trends, and how the use of photogrammetry is likely to disrupt the well-established game development pipelines.”

¹⁸ Com base em Graphine (2014): “Real-time 3D has seen an amazing evolution over the years. The hardware can push more and more vertices and pixels, spitting out 30 to 60 full HD images per second.”

¹⁹ Com base nos autores Hellman & Lahti (2018, p.160): “During recent years, major advances have been made in Photogrammetric 3D Modeling. It is a relatively new way to create realistic 3D structures using ordinary two-dimensional (2D) photographs by an automated software process.”

Alguns dos trabalhos, mais recentes, desenvolvidos em fotogrametria são produzidos pela Quixel (2019), uma empresa cujo objetivo se fixa na venda de texturas e *assets* com visuais fotorrealistas para as áreas do cinema e videogames. Na figura 9 observa-se o nível de qualidade que alguns destes *assets* conseguem obter ao utilizar a técnica de fotogrametria.



Figura 9- Megascans de rochas, imagem da empresa Quixel (2019).

Pese a sua crescente utilização em jogos lançados e em teasers de motores de jogos, por parte da Technologies, U. (2019) e da Quixel (2019), constata-se após pesquisa a escassez de trabalhos científicos sobre esta temática. Esta percepção confirma-se após se efetuar um minucioso levantamento de bibliografia. A temática da aplicação da fotogrametria na área dos videogames é pouco explorada. Assim, os trabalhos que existem surgem como referências, e tornam-se extremamente valiosos pela metodologia que empregam, por outro lado, ao compartilharem os erros produzidos e dando sugestões de aprimoramento, abrem novas hipóteses para explorar. As referências que se encontram disponíveis, e tomando como objeto de busca tanto a literatura internacional, como a interno, encontram-se no seguinte conjunto de estudos:

Tabela 2- Bibliografia explorada na temática da aplicação da fotogrametria na área dos videogames.

Título	Autores	Ano de publicação	Tipo
Otimização do processo de construção e animação de modelos 3D para jogos digitais utilizando técnicas de digitalização 3D e Mocap com Kinect	Aymone et al.	2014	Conference paper
How we used photogrammetry to capture every last detail for Star Wars Battlefront	Brown & Hamilton	2016	Conference Video
Photorealistic Rendering: Utilizing Close-Range Photogrammetry	Slater & Childs	2016	Thesis
From reality to 3D model: Post production of photogrammetry-based model	Laakso, A.	2016	Thesis
Path of an object to a game engine via 3D reconstruction	Schülé, V.	2016	Thesis
Modular Photogrammetry in Environment Design	Rajar, A.	2017	Online Article
Photogrammetry for Games: Art, Technology and Pipeline Integration for Amazing Worlds	Bishop et al.	2017	Online Publication
Utilising 3D Realistic Models in Serious Games for Cultural Heritage	Kontogianni et al.	2017	Online Article
Unity: Photogrammetry Workflow	Lachambre et al.	2017	Online Publication
Deer: Creating a Realistic 3D Animal Using Photogrammetry	Carita, K.	2017	Dissertation
Full photogrammetry guide for 3D artists	Kuzmin, V.	2018	Online Article
Capturing British Beauty with Photogrammetry	Dickinson, P.	2018	Online Article
Using Stereo-photogrammetry for Interiors Reconstruction in 3D Game Development	Szwoch et al.	2018	Conference paper
Digitalização 3D com Fotogrametria	Lamas et al.	2018	Conference paper
Photogrammetric 3D: Modelling for Virtual Reality	Hellman & Lahti	2018	Online Publication

Nota-se a predominância de artigos online e as publicações de conferências, assim como o foco no aumento da utilização desta técnica na área de modelação 3D e no seu potencial para implementação em jogos de realidade virtual. Verifica-se, como já foi mencionado, uma falta de documentação quanto ao *workflow* de execução da técnica para a criação de modelos realistas. Esta pequena dimensão sobressai, quando se compara com a extensa bibliografia que é dedicada sobre a aplicação da fotogrametria em outras áreas. São, em grande parte, os profissionais ligados à indústria de jogos que publicam textos e tutoriais sobre o tema em blogs e artigos na internet, tais como os escritos por Kuzmin (2018) e Dickinson (2018), ou por empresas como a *The Astronauts* (Poznanski, 2014), ou a Unity (Lachambre et al., 2017). Esta escassez de documentação científica do processo de aplicação da técnica da fotogrametria na área dos videogames, promoveu interesse no desenvolvimento deste projeto. Posteriormente,

com a exploração e análise da documentação, surgiu segundo interesse: a análise comparativa das técnicas ,tradicional e de fotogrametria. Segundo Slater & Childs (2016) a criação atual de *assets*, por empresas *triple A*, para multimédia digital, como o cinema e videogames, exige um dispêndio elevado de tempo. O pipeline médio de criação, como referido e observado na figura 10, de um modelo de personagem leva em média duas semanas:

Days	1	2	3	4	5	6	7
Classic Workflow	High Mesh					Texturing	
Photogrammetry Workflow	Photos	HM + T	Retopology		UV + Baking	Material + Delighting	Importing IG
Days	8	9	10	11	12	13	14
Classic Workflow	Texturing	Retopology		UV + Baking	Material	Importing IG	LOD
Photogrammetry Workflow	LOD	Time Saved					

Figura 10- Tabela do tempo de produção estimado por Lachambre et al. (2017)

Face a este panorama, minimizar o dispêndio de tempo, e de recursos, justifica-se o objetivo em conhecer a utilização da fotogrametria no processo de renderização fotorrealista.

Neste âmbito, torna-se também apropriado criar uma análise comparativa dos tempos de produção e qualidade de textura dos *assets*, entre o pipeline da técnica de fotogrametria e o da técnica tradicional, na criação de modelos 3D fotorrealistas, em ambiente que apresente várias restrições de partida, que vão desde limitações de equipamentos, como hardware e software, à restrição de mão de obra, escassa experiência, baixo orçamento, pouco tempo e dificuldade de deslocações.

3- Metodologia

O presente projeto apresenta um estudo de caso no âmbito da fotogrametria que visa entender “como” e “por que” se pode utilizar a técnica de fotogrametria na criação de *assets* foto realísticos, num ambiente amador, através de uma análise exploratória, descritiva e explanatória dos processos de conceção, corroborando com a ideia do autor Yin (2001, p.23):

“Mesmo um estudo de caso único pode ser frequentemente utilizado para perseguir um propósito explanatório e não apenas exploratório (ou descritivo). O objetivo do analista deveria ser propor explicações concorrentes para o mesmo conjunto de eventos e indicar como essas explicações podem ser aplicadas a outras situações”.

Com este fim, a organização deste relatório de projeto definiu cinco etapas²⁰:

1. Definição do problema;
2. Delineamento da pesquisa;
3. Recolha de dados;
4. Análise dos dados;
5. Composição e apresentação dos resultados.

O fluxo de trabalho geral da metodologia de projeto foi desenhado conforme se encontra representado na figura 11:

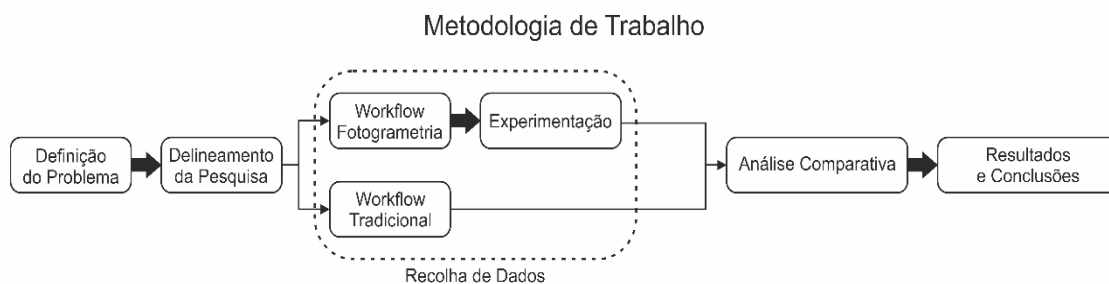


Figura 11- *Workflow* da estrutura do trabalho utilizado neste projeto.

Seguido, numa primeira fase exploraram-se vários problemas, e procuram-se ideias que constituíssem a fundação na realização do projeto a desenvolver. Como apresentado, na pergunta de investigação, determinou-se procurar verificar a viabilidade da técnica de fotogrametria em replicar objetos reais, em ambiente amador, no desenvolvimento de *assets*

²⁰ Com base, no autor Yin (2001, p.12): “Dessa forma, as características verdadeiramente distinguíveis do método de estudo de caso, ao longo de todas as fases da pesquisa - definição do problema, delineamento da pesquisa, coleta de dados, análise de dados e composição e apresentação dos resultados-, são os assuntos tratados.”.

fotorrealistas 3D, para projetos de videogames. A partir da temática apresentada conduziu-se uma aprofundada pesquisa do estado da arte da técnica fotogramétrica, que visou conhecer a sua aplicação em diferentes áreas, assim como, a evolução histórica da técnica de fotogrametria, como retratado no capítulo precedente. Ao concluir o delineamento da pesquisa, levantaram-se novos objetivos, que se tornaram pertinentes como acréscimo aos objetivos do projeto:

1. criar registos de apoio à aplicação da técnica;
2. proceder a uma análise comparativa entre as técnicas de fotogrametria e a tradicional.

A fase seguinte assentou na recolha de dados, que consistiu na aplicação prática do *workflow* de fotogrametria na construção de objetos estipulados, em *assets* foto realísticos. Determinou-se todo o equipamento e ferramentas que seriam necessárias à realização do projeto, e anotou-se com detalhe o modo de aplicação de cada software utilizado nas suas diferentes fases. Foram realizados, em sequência, testes de experimentação dos softwares, assim como, de aplicação dos processos de fotogrametria, de modo a criar bases para a realização dos objetos finais.

O fluxo de trabalho estruturou-se de forma a sistematizar todos os procedimentos de criação dos modelos, desde a sua captura, por fotografia, até à implementação num motor de jogo. O fim pretendido consistiu em procurar responder ao objetivo de criação de registos de apoio à aplicação da fotogrametria.

Resultando da adição de objetivos após a análise da literatura, foi aplicada também a técnica tradicional a um único dos objetos selecionados, para análise comparativa. Saliente-se, contudo, que o seu método de aplicação não é descrito durante o registo de *workflow*, por não ser o foco principal deste relatório. No entanto, durante a apresentação dos resultados do objeto em questão, é brevemente descrita o processo da sua execução.

Sucendo às aplicações práticas, procede a uma análise e apresentação dos dados, onde se registaram as adversidades ocorridas relativas a cada objeto, assim como detalhes específicos durante a execução do fluxo de fotogrametria e no processo de construção. Dado o número

extenso de variáveis possíveis de analisar para a amostra escolhida, utilizaram-se as seguintes fases para recorrer a um rigoroso tratamento dos dados:

- foi executado um levantamento quantitativo do número total de polígonos presente nos *assets* finais;
- procedeu-se a um levantamento quantitativo dos tempos de produção de cada fase dos *workflows* executados;
- executou-se uma análise qualitativa das texturas dos *assets* finais em paridade com os seus respetivos objetos reais;
- realizou-se uma análise comparativa dos tempos de produção entre os *assets* produzidos por técnica de fotogrametria e o *asset* produzido por técnica tradicional;
- e, por último foi produzida uma análise comparativa entre a qualidade das texturas dos *assets* da técnica tradicional para com as da técnica de fotogrametria.

Assinala-se que as observações de comparação de qualidade foram avaliadas pelos traços e similitudes dos resultados com os objetos reais, averiguando o quanto se aproximaram das suas formas naturais e textura.

Este tipo de abordagem comparativa dos dados, segundo Lijphart (2005), beneficia outros métodos científicos utilizados no estudo de caso, como por exemplo o método experimental²¹. No caso deste trabalho foi opção por permitir identificar convergências e divergências entre as técnicas de fotogrametria, e a de padrão, e assim permitir inferir respostas à questão de partida.

²¹ Tradução do autor. Do original: “The nature of the comparative method can be understood best if it is compared and contrasted with the two other fundamental strategies of research; (...) as the experimental and the statistical methods (as well as certain forms of the case study method)”. (Lijphart, 2007, p.246).

4- Definição e execução do workflow de fotogrametria para videojogos

O presente capítulo irá descrever como foi aplicada a técnica da fotogrametria e o processo prático na criação de *assets* fotorrealistas. Neste sentido procura-se pormenorizar o modo como cada software foi utilizado nas diferentes fases, desde o planeamento à implementação em motor de jogo. Este processo teve como suporte:

- o estudo de Slater & Childs (2016),
- os *pipelines* de Lachambre et al.;
- os *pipelines* da Astronauts (Poznanski, 2014);
- os *pipelines* da Dice (Brown & Hamilton, 2016);
- os *pipelines* da Quixel (2019);
- os *pipelines* do profissional de fotogrametria 3D Kuzmin (2018).

Os *pipelines* referidos foram analisados, sobretudo ao nível dos softwares utilizados nas diferentes fases, para a organização de um fluxo de trabalho para este projeto, que se representa na figura 12.

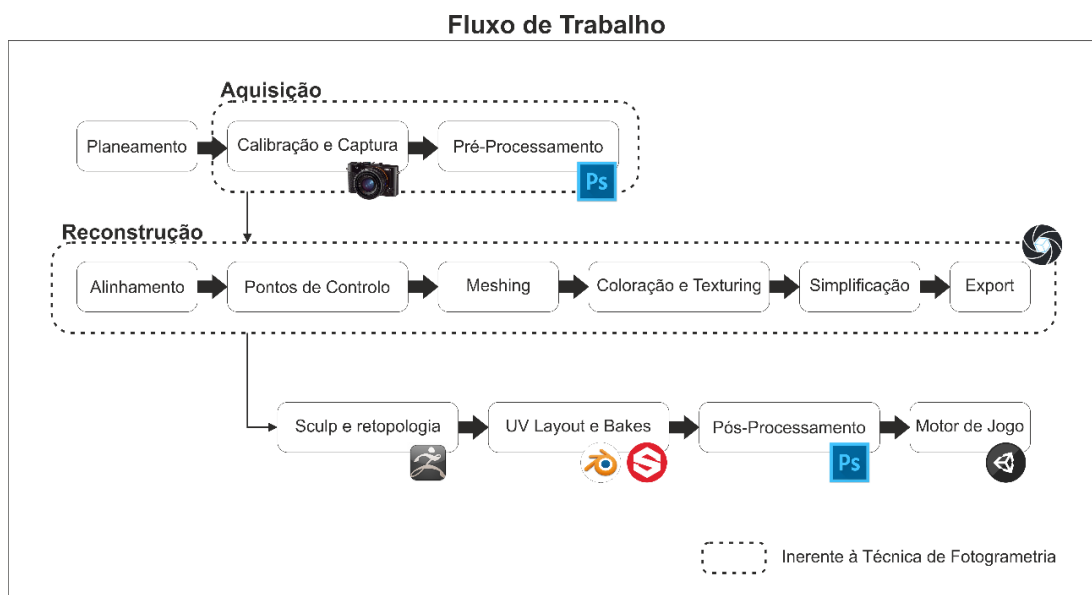


Figura 12- Fluxo de trabalho criado para este projeto.

Iniciou-se o fluxo com o planeamento, imprescindível para a realização do mesmo. Esta fase concerne todo o processo de *brainstorming*, pesquisa e tomadas de decisões antes de se ter iniciado a execução prática. Seguiu-se a da Aquisição, ou de captura das fotografias dos objetos que se pretendiam converter para *assets* fotorrealistas. No decorrer da mesma listaram-se as regras que se tiveram em conta, bem como as referentes ao processo de calibração e edição. Na sequência, procedeu-se à reconstrução, onde se pormenorizou o método de conversão das

capturas 2D para modelos 3D. Note-se que as fases, de aquisição e reconstrução, são as únicas inerentes à técnica de fotogrametria, todas as anteriores e posteriores, também se integram na técnica padrão de modelação.

Nas etapas de Escultura digital e Retopologia dos modelos, procurou-se arranjar erros de malha e simplificar os modelos. Nos *UV layouts* e *bakes* foram preparados os mapas de texturas dos *assets*, e corrigidas as imperfeições na fase seguinte de pós-processamento. O *workflow* terminou com a implementação dos modelos no motor de jogo e consequente verificação da sua viabilidade como *asset* fotorrealista para futuros projetos de videojogos.

Ressalve-se que este capítulo apenas se irá focar na apresentação do método de aplicação da técnica de fotogrametria, em virtude de ser o foco principal deste projeto.

4.1- Planeamento

O rumo foi planejar a aplicação do projeto sistematizando antecipadamente a organização das etapas de criação, definindo objetivos, e elaborando estratégias de ação em função dos recursos disponíveis. Foi nesta fase que se desenhou o critério de execução necessário para a obtenção de dados válidos e rigorosos, que permitissem em fase posterior a sua análise. Por outras palavras, definiu-se o procedimento de construção do trabalho, e mobilizou-se as ferramentas disponíveis para responder às necessidades.

Procurou-se gizar um plano de trabalho coerente entre os objetivos pretendidos e a metodologias de trabalho de forma a otimizar todo o processo. O sentido geral consistiu em evitar gastos, recursos e tempo, conforme defendem Lachambre et al. (2017):

“Plan your trip to minimize the amount of travel and deployment of various capture devices.”

Esta etapa permitiu reconhecer a limitação dos recursos disponíveis face aos fatores que iriam ser determinantes no contexto de execução. Neste âmbito, avaliaram-se os seguintes itens:

- Escolha dos objetos:
 - Dimensão;
 - Textura;
 - Localização;
 - Acesso aos espaços onde se encontram;
 - Tempo de realização das sessões de captura, registo e tratamento;
- Método e ferramentas de captura
- Recursos:
 - Ferramentas de captura de imagens digitais 2D:
 - Câmaras fotográficas;

- Material fotográfico;
- Ferramentas de arquivo de dados;
- Software de conversão de imagens digitais 2D para 3D;
- Softwares para tratamento de imagens digitais;
- Softwares para motor de jogo;

Foram escolhidos sete objetos para a aplicação da técnica de fotogrametria, sendo eles os seguintes:

- Estátua do cavaleiro medieval, Coimbra, março 2019, Museu Machado dos Reis;
- Predela da Paixão de Cristo; Coimbra; março 2019; Museu Machado dos Reis;
- Anjo Turiferário; Coimbra; março 2019; Museu Machado dos Reis;
- Estátua da criança; Lisboa; março 2019; Jardim Campo Grande;
- Vaso chinês; Lisboa; 2019; residência particular;
- Tronco de árvore; Alcobaça; 2019; campo;
- Cepo de árvore; Alcobaça; 2019; campo.

Destaca-se a estátua da criança por também ter sido aplicado a técnica tradicional para posterior análise entre ambas. As respetivas motivações das suas escolhas, assim como detalhes dos mesmos serão apresentados no capítulo 5 de apresentação dos resultados.

No que respeita aos recursos estes serão apresentados segmentados entre softwares e hardwares.

4.1.1- Softwares

A necessidade de pesquisar ferramentas possíveis de serem utilizadas para a aplicação da técnica de fotogrametria conduziu à seguinte questão: Que softwares permitiriam realizar os objetivos pretendidos?

Existem vários programas para a criação de modelos 3D utilizando fotografias, embora com características próprias a distingui-los. Dentro de uma lista de dezasseis softwares fornecida por Übel (2019), foram selecionados quatro softwares para testar, que se discriminam na figura 13.

1. ReCap da Autodesk Inc. (2019);
2. 3DF Zephyr da 3D Flow SRL (2019);
3. Reality Capture da CapturingReality s.r.o. (2019);
4. Metashape da Agisoft (2019).

◆ Name	◆ Type	◆ Output File Formats	◆ OS	◆ Price
Autodesk ReCap	Aerial, Close-Range	asc, cl3, clr, e57, fls, fws, isproj, las, pcg, ptg, pts, ptx, rds, txt, xyb, xyz, zfs, zfpj	Windows	from \$40/month
RealityCapture	Aerial, Close-Range	jpg, png, XYZ, XYZRGB, tiff, bmp, dib, rle, jpeg, jpe, jfif, exif, exr, tif, wdp, jxr, dds, KML, KMZ, obj, ply, partlist, fbx, dxf, dae, bvh, htr, trc, asf, amc, c3d, aoa, mcd, wmv, mp4	Windows	from \$99/ 3-months
Agisoft Metashape	Aerial, Close-Range	fbx	Windows, macOS, Linux	from \$179
3DF Zephyr	Aerial, Close-Range	ply, obj, fbx, pdf 3D, u3d, dae, pts, ptx, xyz, txt, las, e57	Windows	from €150

Figura 13- Características dos quatro softwares de fotogrametria digital testados, imagem de Übel (2019).

A escolha destes softwares foi determinada pela possibilidade de se poder efetuar a captura em *close-range* em oposição à aérea, que necessitaria de suporte de equipamento extra, como drones. Noutra perspetiva, são softwares selecionados a partir de estudos comparativos realizados por Lau (2018) e Lievendag (2017), o que disponibiliza mais documentação de apoio à aplicação da técnica.

Paralelamente foi considerado o tempo que poderia ser despendido na escolha do software. Estes softwares foram testados ao longo de quatro semanas, com particular ênfase na interface, e no processo de reconstrução. Nos testes experimentais foram utilizados vários objetos pessoais, desde vasos, colunas de som e um automóvel, sempre no sentido de se procurar compreender o funcionamento dos programas e a sua rentabilidade.

Após semanas de testes foi selecionado o software Reality Capture por apresentar uma interface simples, e desta forma permitir uma rápida apreensão dos seus mecanismos de trabalho. Este fator facilita a implementação prática do que se pretendia no projeto. Além disso, permite a automatização do posicionamento das câmaras, dado não necessitar da indicação dos eixos cartesianos para cada fotografia, liberta assim tempo no alinhamento das capturas, e possibilita testes de reconstruções mais rápidos, tal como Hellman & Lahti (2018, p.168) afirma:

“RealityCapture offers the widest selection of tools, the best user interface and user experience. Having a great customizable window system enables simultaneous usage of tools and features. RealityCapture is also the quickest at producing workable results, and along with the large set of tools and parameters it is the most cost-effective product.”

Para o processo de *sculpting*²² da malha dos *assets* a opção residiu no software ZBrush da Pixologic, Inc. (2019). A escolha proveio do conhecimento prévio da sua estrutura, e por ser considerado referência no campo da escultura digital, como assinala Fabian (2018) sobre este assunto:

“Without any doubt, ZBrush is the most popular and most powerful digital sculpting program out there. It offers the world’s most advanced tools for everyone from art enthusiasts to major film and games studios.”

Na retopologia, a escolha recaiu na conjugação de dois softwares:

1. Na primeira fase aproveita-se a ferramenta interna do Zbrush, ZRemesher²³ de forma a reduzir a malha do objeto para baixo dos vinte milhões de polígonos²⁴, com o objetivo de permitir que este possa ser importado posteriormente no software de modelação;
2. Na segunda fase, o software de modelação, utiliza-se o Blender da Blender Foundation (2019) por permitir limpar a malha e corrigir os erros manualmente e simultaneamente fornecer as ferramentas necessárias para a aplicação dos *bakes*²⁵ dos mapas de texturas, e exportação dos mesmos.

No que respeita à correção de erros dos mapas produzidos durante a fase de fotogrametria, e na fase de *bakes*, a solução assenta na utilização do Photoshop da Adobe (2019) pela sua versatilidade e qualidade.

Sobre a aplicabilidade dos *assets* criados neste projeto recorre-se ao motor de jogo Unity 3D da Technologies, U. (2019). Este software permite verificar a funcionalidade dos *assets* criados, confirmar a sua implementação, e viabilidade em dispositivos.

Na aplicação da técnica padrão de modelação de *assets* fotorealísticos para a componente de análise comparativa do projeto recorre-se a todos os softwares já mencionados nas respetivas fases, com exceção do Reality Capture, por ser específico da técnica de fotogrametria. Por necessidade de criar novas texturas nesta técnica, utiliza-se o Substance Painter da Adobe (2019).

²² Sculpting refere-se à escultura digital, ou modelagem 3D. É o processo de manipular objetos digitais como se fossem feitos de uma substância da vida real, como é exemplo o barro.

²³ Ferramenta do software Zbrush que automatiza o processo de retopologia de mesh num objeto. Podendo, porém, criar linhas guias para o software se reger.

²⁴ High poly refere-se a uma grande densidade de polígonos a constituir a malha de um objeto. Polígonos, são compostos por vértices, arestas e faces, e vários constroem a malha de um objeto em software 3D.

²⁵ O baking é o processo de transferência de detalhes de um modelo para outro. Normalmente referente à transferência de detalhe de um High poly para um Low poly.

4.1.2- Hardwares

O trabalho de produção depende em grande parte da quantidade e qualidade dos recursos de hardware disponíveis. Neste sentido têm-se como referência o equipamento sugerido por Lachambre et al. (2017), listado na figura 14, assim como os utilizados por Brown & Hamilton (2016) na palestra “*Star Wars: Battlefront and the Art of Photogrammetry*” para a Game Design Conference.



Figura 14- Equipamento ideal para uma sessão captura de fotografias, segundo Lachambre et al. (2017, pp.7-9). Com a seguinte legenda: “1- Camera: Canon 6D; 2- Lens: Sigma 24-70 mm f/2.8 EX-DG HSM; 3- CANON annular flash MR-14EX II + batteries; 4- Memory Card 256 Go (Class 10); 5- Laptop: Macbook Pro; 6- Color checker passport photo (X-rite); 7- HOYA Polarizer filter PRO 1 DIGITAL 67 mm; 8- Linear polarizer filter film; 9- Secondary camera battery; 10- Bag; 11- Lenspen (Lens cleaner tools); 12- LASTOLITE Background support kit; 13 - PHOCUSLINE Black background 3 m x 3 m; 14- Lastolite Cubelite; 15 - GODOX reflector 180 x 120 cm; 16- Markers like tent pegs and chalk; 17- GOPro; 18- DJI drone Phantom 4 RTF”.

Tendo em conta estas recomendações reuniu-se o equipamento para a aplicação da técnica de fotogrametria.

Foram utilizados dois computadores durante a fase de construção dos *assets*:

1. Um Intel® Core™ i7-6700k CPU @ 4.00GHz, 24,0GB Dual-Channel Unknown @ 1064MHz, ASUSTeK COMPUTER INC. H170-PRO (LGA1151), E2250 (1920x1080@60Hz) 4095MB NVIDIA GeForce GTX 960 (ASUSTek Computer Inc). Storages de 223GB KINGSTON SHFS37A240G (SATA-3 (SSD)) e 2794GB Seagate ST3000DM001-1ER166 (SATA);
2. E, um segundo, de maiores especificações, com AMD Ryzen 7 1700, 32,0GB Dual-Channel Unknown @ 1064MHz, Gigabyte Technology Co. Ltd. AB350-Gaming 3-CF (AM4), 4095MB NVIDIA GeForce GTX 1080 (MSI). Storages de 232GB Samsung SSD 860 EVO 250GB (SATA (SSD)) e 1863GB Seagate ST2000DM006-2DM164 (SATA).

Note-se que, dentro das especificações do computador, é pelo menos aconselhável ter 32G de memória RAM para se estar confortável nas reconstruções e escultura dos modelos, conforme Hellman & Lahti (2018, p.164) indica:

“There should be at least 16 gigabytes of memory in the computer, preferably 32 gigabytes or more, many Central Processing Unit (CPU) cores and preferably a high level Graphics Processing Unit (GPU)”.

A utilização de *farms*²⁶ para a fase de renderização permite acelerar o processo de construção dos modelos *high poly*, ao mesmo tempo que não desgasta tanto os computadores. Neste projeto, porém, não houve essa oportunidade, sendo que ambos os computadores não estiveram disponíveis num único local.

No que respeita a mesas digitalizadora utilizaram-se duas, uma Wacom Bamboo de modelo CTH-470 e uma Wacom Cintiq 16HD, uma associada a cada computador, nas fases de escultura e modelação, por terem mais precisão e conforto que um rato de computador.

Na gravação de filmagens e fotografias a opção recaiu em três câmaras distintas apresentadas na figura 15:

- Um telemóvel Huawei P20, modelo EML-L29, de 128g armazenamento, com dupla câmara traseira de 12 Megapixel P RGB f1.8 e 20 Megapixel P BW f1.6;
- Uma máquina fotográfica Canon EOS 750D (W) de 24.2 Megapixel com Zoom Objetiva EF-S18-55mm f/3.5-5.6 IS STM;
- Uma segunda máquina fotográfica Samsung NX1100 de 20.3 Megapixel com Objetiva de 20-50mm f/3.5-5.6 ED II.



Figura 15- Câmaras utilizadas na captura dos objetos. Fotografia pessoal (fevereiro de 2019).

²⁶ Segundo o autor Beane, A. (2012), entende-se que *farms*, são uma rede de computadores que trabalham juntas para minimizar o tempo de produção de uma renderização.

A captura de objetos pequenos e estáticos foi realizada com recurso a uma mesa giratória, e a um set de três luzes profissionais Turbo Lux Profi de 1250 Watt, como se observa na figura 16, para criar uma iluminação de três pontos, como demonstra a figura 17.



Figura 16- Sistema de iluminação Turbo Lux Profi. Fotografia pessoal (abril de 2019).

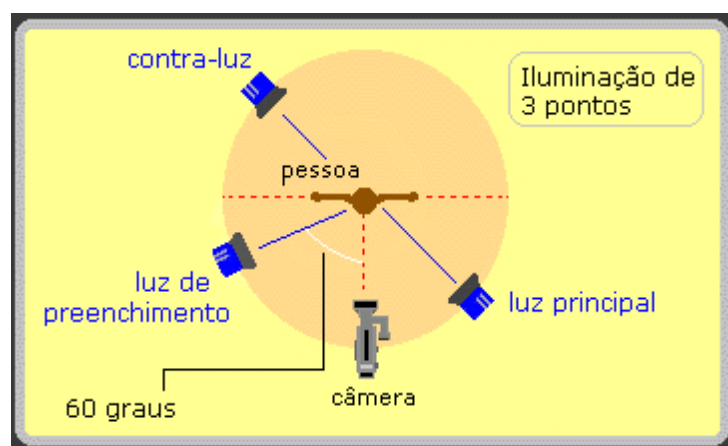


Figura 17- Esquema do sistema de iluminação de três pontos. Imagem de Baptista (d.n.d.).

Recorreu-se a outros auxiliares básicos utilizados durante as capturas dos objetos: um tripé, três baterias, e uma mochila de viagem. O armazenamento em arquivo de toda a documentação, assim como a criação de *backups* do trabalho, e da captura, foi feito em dois discos externos de 1TB para assegurar que existia espaço de armazenamento para todas as filmagens e fotografias foram utilizados dois cartões SD de 32Gg cada.

4.2- Aquisição

Tratou-se da primeira fase do processo prático e exigiu deslocações aos locais de captura dos objetos selecionados para registo de fotografias dos mesmos, e dividiu-se entre a calibração das câmaras e captura das fotografias, seguida do tratamento e ajustes das mesmas.

4.2.1- Calibração e Captura

Finalizada toda a organização, iniciou-se o processo que diz respeito à calibração e captura de fotografias para a reconstrução dos objetos escolhidos. Tornou-se necessário ter um conhecimento prévio dos princípios da fotografia, e do manuseamento de câmaras fotográficas face ao fato de calibrar as máquinas. Note-se, no entanto, que muitas das regras da fotogrametria vão contra as regras aprendidas em fotografia como Poznanski (2014) salienta:

“Most people know how to snap photos, but very few know this craft really well, and even for those few, a change of mindset is required. You see, most of things that photographers learn is the opposite of what photogrammetry requires.”

Em relação à calibração da máquina, foi necessário predefinir a mesma para tirar as fotos em output *raw*. Esta escolha determinou uma aquisição de mais informação que posteriormente foi tratada no software de reconstrução. As imagens ficaram mais pesadas. Também foi tida em conta a exposição, ou seja, a quantidade de luz que entrava no sensor da câmara que define se as fotos ficam mais escuras ou claras. Não se pretendeu fotos muito superexpostas (demasiada luz), ou subexpostas (pouca luz), pelo que se tornou necessário examinar o histograma da câmara e controlar a abertura²⁷; a velocidade²⁸ e o ISO²⁹, consoante as situações. Tomou-se sempre em atenção a abertura, não só pelo controlo de exposição, como atrás se referiu, mas também para definir a profundidade de campo da imagem. Neste caso, não se pretendeu dar enfoque ao objeto em questão por via do desfoque do fundo, tal porque na fotogrametria segue-se o princípio de ter o *frame* todo focado, de modo a fornecer mais informação ao software. A focagem da máquina foi feita sempre em modo manual. Estes procedimentos devem-se ao facto de quando se desfoca o fundo da fotografia, faz-se o mesmo às arestas do objeto que se pretende captar, removendo informação da imagem, e nitidez. Outro cuidado foi tido na calibração de brancos. Esta função interveio na aparência das cores das fotografias, ou seja, serviu para que as imagens que a câmara registou estivessem o mais

²⁷ A abertura refere-se ao tamanho da abertura que o diafragma disponibiliza para a entrada de luz em sua câmara.

²⁸ A velocidade refere-se ao tempo que o obturador da câmara fica aberto para a entrada de luz no sensor da câmara.

²⁹ ISO é a sensibilidade do sensor da câmara à luz.

próximo da realidade. Todos estes controlos referidos estão interligados, e a sua modelação visou aumentar a informação para a fase de reconstrução.

Após a calibração das câmaras procurou-se capturar as fotos dos objetos. Para tal foram tomadas regras de captura de imagem de modo a evitar falhas que ocorrem semelhantes às exemplificadas no caso da figura 18.



Figura 18- Exemplo da diferença de boas condutas no processo de captura de imagens de um objeto simples como um sapato. Imagem de Jane@CR (2017).

Existem quatro formas de capturar objetos, e assim que se escolher uma, convém manter essa opção, como refere Poznanski (2014)³⁰. Esses quatro métodos de captura são segundo Teixeira (2018, pp.47-50): *Photogrammetry Booth*, *Turntable*, *Walk Around* e *Aerial*.

1. *Photogrammetry Booth*: particularmente utilizado para capturar pessoas e movimentos faciais da mesma. Atua através do acionar de várias câmaras em simultâneo, conseguindo desta forma cobrir todos os ângulos necessários de uma só vez. Na figura 19 observa-se um exemplo de uma configuração de estúdio. É o método que consegue produzir melhores resultados de qualidade e com menos falhas na captura. Contudo, apresenta alguns inconvenientes: falta de mobilidade face às dificuldades de utilização em ambiente exterior; altos custos de equipamento; e, necessidade de um grande espaço para ser montado.

³⁰ Com base no autor Poznanski (2014): “Photogrammetry gets confused by moving subjects.”



Figura 19- Configuração de estúdio de múltiplas câmaras. Imagem de Sher (2015).

2. *Turntable*: É utilizado para capturar objetos inanimados e preferencialmente de pequeno porte. Coloca-se o objeto sobre uma plataforma giratória, enquanto a câmara fica numa posição estacionária e captura fotos à medida que se roda a base entre dez a trinta graus de cada vez, como se observa na figura 20.



Figura 20- Captura de um objeto sobre uma mesa rotativa. Fotografia pessoal (Lisboa- março de 2019).

3. *Walk Around*: É utilizado para capturar objetos inanimados e de pequeno porte, porém, é a mais ideal em situações de exterior onde se tem mais espaço de manobra para rodar em torno do objeto. Também é útil em casos onde não existe a possibilidade de interagir com o objeto, como se observa na figura 21. Procura-se manter o objeto no centro de focagem, enquanto o fotógrafo captura as imagens à sua volta, em trezentos e sessenta graus do modelo. A desvantagem principal deste método, é a possível falta de estabilização das capturas, porém, tal fato pode ser resolvido com estabilizadores de movimento. Sendo um método mais utilizado para exterior é também o mais afetado por problemas de exposição de luz.

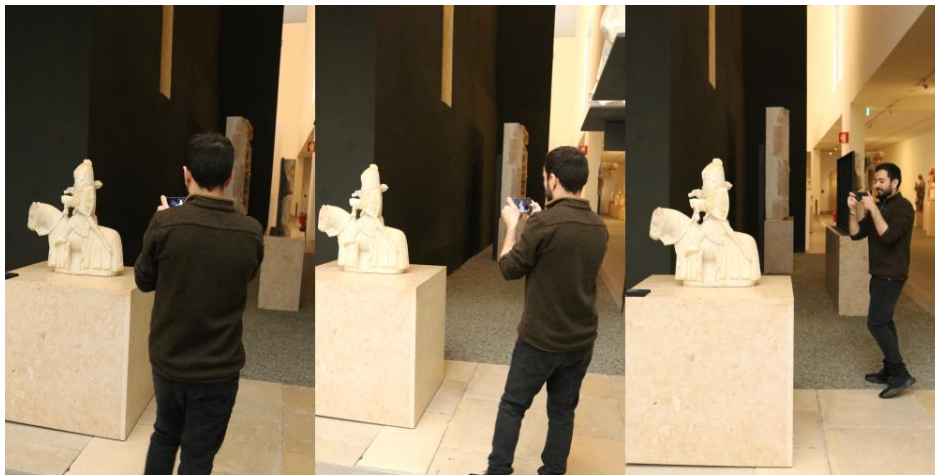


Figura 21- Movimentação em torno do objeto para captura. Fotografia pessoal tirada no museu Machado dos Reis (Coimbra- março de 2019).

4. *Aerial*: Através de equipamento como drones, é um método utilizado para obter fotografias de terrenos, fachadas ou telhados de edifícios, como se constata na figura 22. É muitas vezes utilizado em simultâneo com o método de “walk around”, para garantir uma boa cobertura do objeto(s) que pretende.



Figura 22- Drone a capturar a topográfica de uma cidade. Imagem de DrDrone.ca. (2019).

Tendo em conta as limitações de recursos existentes neste projeto apenas foi possível aplicar as técnicas de captura de *walk around* e *turntable* nos objetos selecionados. Com estes dois métodos de captura determinados seguiram-se regras gerais disponibilizadas pelo software escolhido para a reconstrução, e outras que foram indicadas em tutoriais de fotogrametria como o disponibilizado por Lachambre et al. (2017). No caso do software escolhido, o Reality Capture, este providenciou as seguintes regras de captura:

Tabela 3- Regras de obtenção de imagens, segundo a CapturingReality, s.r.o. (2019).

Guias de Captura
Do not limit the number of images, Reality Capture can handle any.
Use the highest resolution possible.
Each point in the scene surface should be clearly visible in at least two high quality images. The more - the better rule applies here.
Do not change view point more than 30 degrees.
Start with taking pictures of the whole object, move around it and then focus on details. Beware of jumping too close at once, make it gradual.
Complete loops. For objects like statues, buildings and other you should always move around and end up in the place where you started.
Always move when taking photos. Standing at one point produces just a panorama and it does not contribute to a 3D model creation. But move around the object in a circular way.

Capturar mais fotografias não significa obter melhores resultados. O software Reality Capture trabalha com a quantidade de fotografias que se desejar, porém, tem de se ter presente, que quanto mais fotos, maior o tempo de renderização do modelo. As capturas devem concentrar-se no enquadramento do objeto, ou não se conseguirá obter resultados com a qualidade necessária para uma análise efetiva. Assim, procurou-se obter o conjunto de fotos estritamente necessário para uma cobertura total do objeto, como se observa na figura 23.

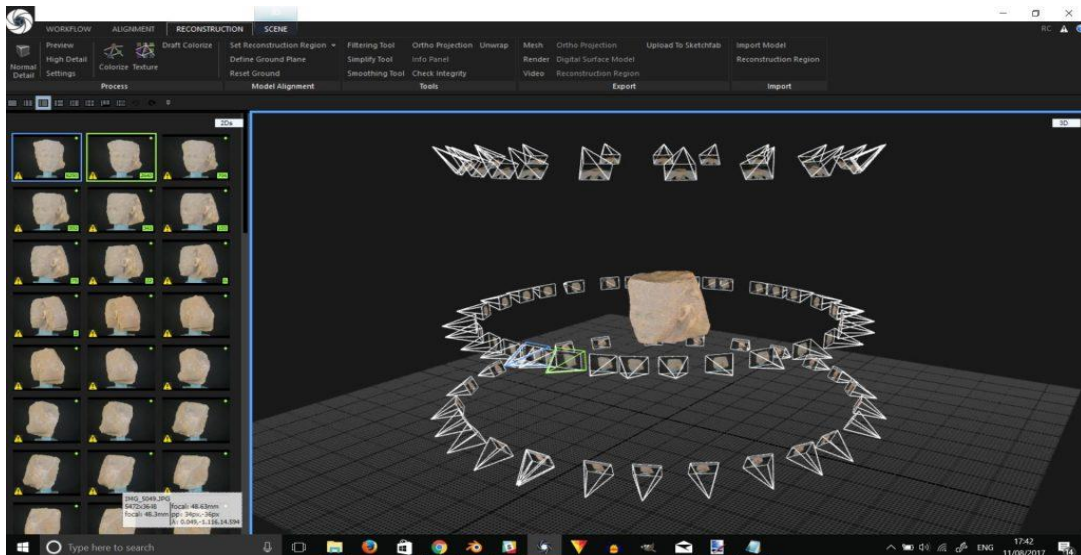


Figura 23- Exemplo de uma boa cobertura de câmaras sobre o objeto. Imagem de Cawston (2017).

Neste sentido foi preciso pelo menos um loop completo de 360° dos objetos, tentando ao máximo que as imagens dessem *overlap*, ou seja, que pelo menos 30° da fotografia se mantivesse visível na foto seguinte. Este procedimento deve-se ao fato do software funcionar através de cálculos por triangulação de pontos, como exemplifica a figura 24:

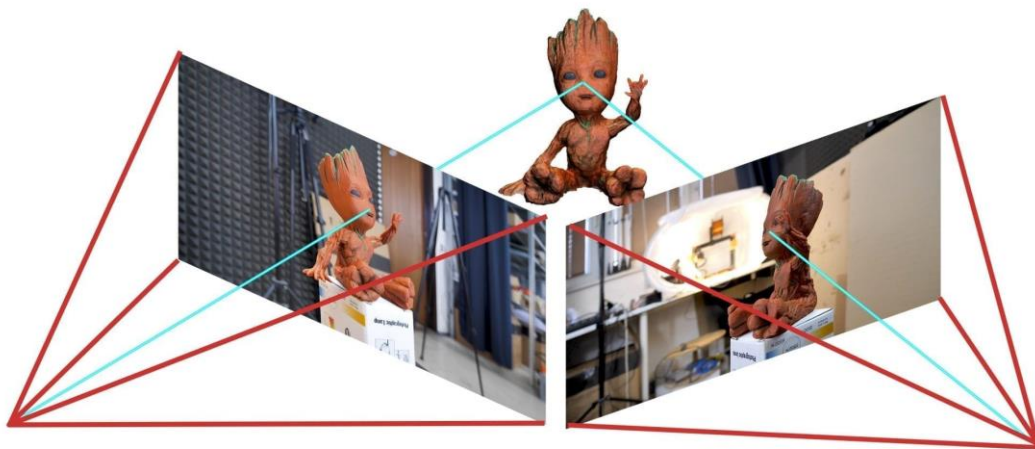


Figura 24- Exemplo de triangulação das fotos. Imagem de Pix Pro (2019).

Caso as fotografias não tenham pontos de conexão suficientes entre elas, o software não consegue preencher ou posicionar as fotografias na área de trabalho, podendo excluir as fotografias ou criar erros, como buracos, na renderização final. Em função deste cenário, procurou-se manter os objetos sempre dentro do *frame* da câmara, e cobrir todos os ângulos, incluindo os mais complicados, como demonstra a figura 25.



Figura 25- Exemplo de ângulos que podem escapar. Imagem de Kuzmin, V. (2018).

A cobertura constitui uma falha muito comum que se torna perceptível mais tarde na fase de reconstrução como Kuzmin (2018) assinala:

“I have seen many scans made by hobbyists where the back of knees, underarms, the bottom sides of chairs and tables, the bottom sides of the roofs, or even the tops of sculpture’s heads (very common problem) have been completely forgotten.”

Contornou-se este tipo de situação iniciando a captura com fotos gerais do objeto. Ou seja, criou-se um *loop* completo, já referido, para numa fase subsequente, aproximar a câmara do objeto, e recolher imagens de pormenor com o objetivo de fixar os detalhes e as texturas. Esta sequência de procedimento realizou-se com base na forma como o software posteriormente iria trabalhar os ficheiros de imagens. O Reality Capture necessita da entrada dos dados nesta lógica para reconhecer o objeto que vai reconstruir. Os *loops* completos do objeto possibilitam ao software conhecer a forma geral (silhueta), e em seguida os detalhes para complementar essa informação. Estes procedimentos descritos são peças fundamentais para o resultado final dos *assets* fotorrealistas, porém, note-se, Poznanski (2014) assinala que o processo não é tão simples como simplesmente tirar fotografias perfeitas:

“I could go on for hours about the challenges of acquiring imagery for photostanning, but don’t be fooled into thinking that it ends there, with “simply” getting perfect photos.”

4.2.2- Pré-processamento de imagem

Por muito que se siga as regras de boas capturas e calibração das máquinas, as fotografias, em especial as de exterior, acabam sempre por apresentar defeitos. Para ultrapassar este obstáculo utilizaram-se ferramentas de edição de imagem, como o Photoshop, visível na figura 26, onde conseguiu realizar ajustes às mesmas.

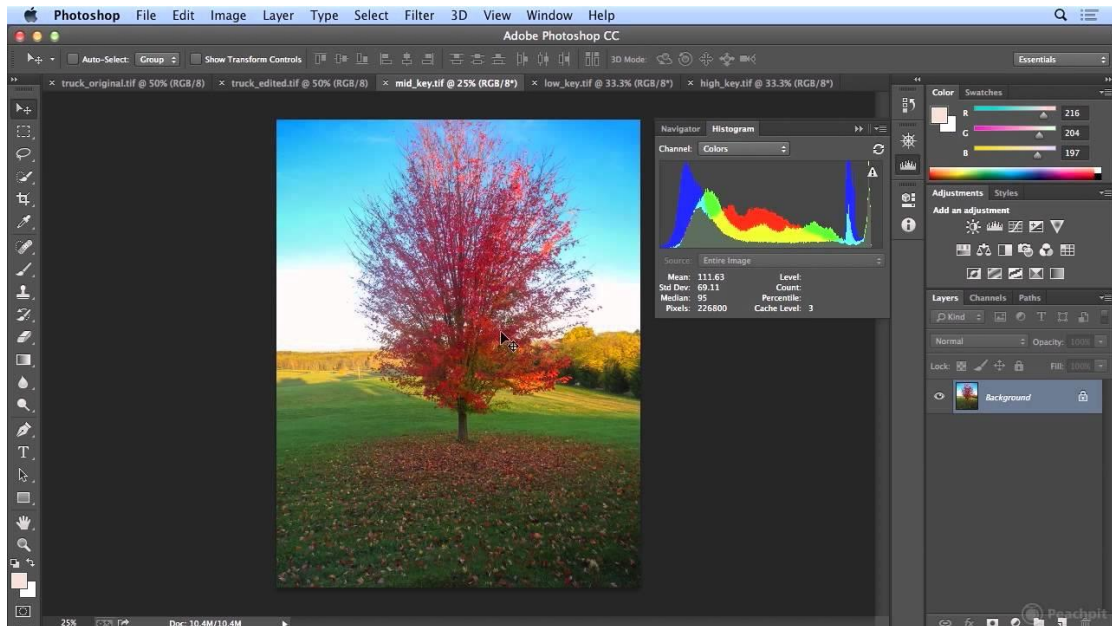


Figura 26- Edição de histograma de cores no Photoshop. Imagem de Sugai, A. (2016).

Alguns dos aspetos que se procurou resolver foram, por exemplo, a rotação das fotografias, visto que são tratadas como grupos de diferentes lentes, como Kuzmin (2018) refere a este propósito:

“Generally taken, rotated images are not a problem for the modern photogrammetry software, but the vertical photos taken with the camera can be rotated to 90° or 270°, and are treated as different lens groups, which is not always desirable”

Outros pontos que necessitaram de ser ajustados foram:

- a exposição;
- a cor;
- as sombras;
- o ruído;
- o sharpen das imagens³¹.

O propósito principal foi procurar que o objeto nas fotografias ficasse bem definido com a sua cor básica, e que esta não fosse afetada por cores ambientais, como por exemplo a produzida pela incidência solar, que produz sombras, ou de outras fontes artificiais, como Poznanski (2014) refere:

³¹ Com base no autor Kuzmin (2018): “We’ll need to fix the exposure, to lighten the shadowy parts and darken the lighted areas. We also can remove the chromatic aberrations. Remove the noise and sharpen the image. But be careful as the image CANNOT be distorted in any way. Fixing the lens distortions is STRICTLY PROHIBITED! Un-distortions in image-processing tools is not photogrammetry correct.”

“Everything in your photos should be static, including background and lighting. Imagine how hard it is to get the wind to stop shaking those tree leaves and grass blades, or how hard it is to convince the sun to conveniently hide behind clouds.”

No final da edição exportou-se para PNG. A razão enquadra-se no fato de que, para se obter melhores resultados em extrair a texturização dos objetos, torna-se necessário converter as fotografias de raw para um formato de imagem mais linear³². Igualmente foi possível melhorar as capturas recorrendo às máscaras. Trata-se de uma ferramenta vantajosa porque permite eliminar o excesso de informação que se encontra na fotografia, e manter o objeto limpo, como demonstrado na figura 27.



Figura 27- Exemplo de criação de máscara e remoção de fundo. Imagem de ClippingImagesIndia (2019)

A eliminação do excesso de informação facilitou ao software reconhecer a partir da fotografia o que se pretendia reconstruir, e assim reduzir o tempo de processamento ao evitar calcular a parte que foi removida. Ainda assim, pode ser tedioso criar as máscaras, especialmente quando a quantidade de capturas é bastante elevada, acontecendo mesmo, em alguns casos, não ter compensado o tempo de aceleração na reconstrução. Outro aspeto que se teve em atenção, foi o de não eliminar partes do objeto durante a criação das máscaras. Pretendeu-se sempre remover o fundo, e o desnecessário, não se apagando informação do objeto.

O tempo despendido na fase de processamento dependeu sempre da boa aplicação da fase anterior. As boas capturas, com pouca ou nenhuma sombra, acabaram por não precisar de tantos retoques ou correções. Nos casos em que as fotografias ficaram bem focadas, evitou-se a necessidade de criar máscaras, visto que nestes casos o software conseguiu reconhecer o objeto pretendido, e remover com facilidade a informação extra que as fotografias dispunham.

³² Tradução do autor. Do original: “Reality Capture accepts RAW files directly. However, to get better results when extracting diffuse albedo, it is required to correctly convert your images to linear format and to white balance the photos set. This is a step performed outside of Reality Capture.” Lachambre et al. (2017)

4.3- Reconstrução

Esta etapa abrange todo o procedimento dentro do software Reality Capture, balizado desde a importação das capturas à elaboração de um modelo 3D, e que se reparte nos seguintes pontos: alinhamento de imagens e pontos de controlo, *meshing*, coloração e textura, simplificação e exportação.

4.3.1- Alinhamento e pontos de controlo

Dispondo-se das capturas preparadas tornou-se necessário importá-las para o Reality Capture e aplicar o alinhamento de imagens inerente do software, como se observa a interface do mesmo na figura 28.

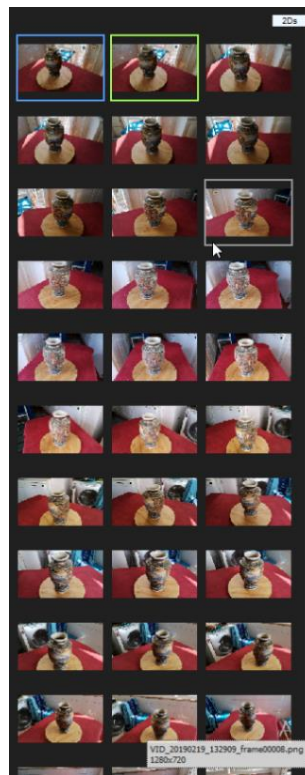


Figura 28- Alinhamento de imagens para o Reality Capture. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)

Nos casos das fotografias pouco nítidas, ou com qualquer outro problema, que não foi resolvido durante o pré-processamento, tornou-se preferível removê-las, visto que esses registos podiam comprometer todo o alinhamento do modelo que seria gerado.

Segundo a Capturing Reality s.r.o. (2019), no decorrer do alinhamento também se torna necessário ter em conta o *overlapping*. A definição é dada pelo software:

“defines how much of the image space is covered with the same part of the object, when talking about neighboring images. The red area in the figure below shows common physical space projected to images. The larger common area, the easier it is for RealityCapture to

calculate camera poses. Set Low when image overlap is below 20%. For the best quality, the neighboring images should have overlap greater than 60%. Bigger overlap improves speed while a smaller overlap may cause disconnected components if there are not enough photographs”



Figura 29- Imagem inerente da definição de overlap da Capturing Reality s.r.o. (2019)

O tópico de sobreposição das imagens já foi mencionado durante a fase de captura, ao se explicar o processo de triangulação das imagens, em razão de o software necessitar que as fotografias tenham pontos de referência para que seja capaz de identificar a sequência dos registos.

No entanto, durante as capturas, apenas se consegue ter uma percepção rudimentar de se estar, ou não, a sobrepor as fotografias. Quando o software denota dificuldades em alinhar as fotografias, sinaliza que algumas capturas podem não ter realizado uma boa cobertura de *overlap*. Nestas situações procurou-se fazer ajustes nas definições de alinhamento entre *low*, *medium* e *high*, na interface observável da figura 30.

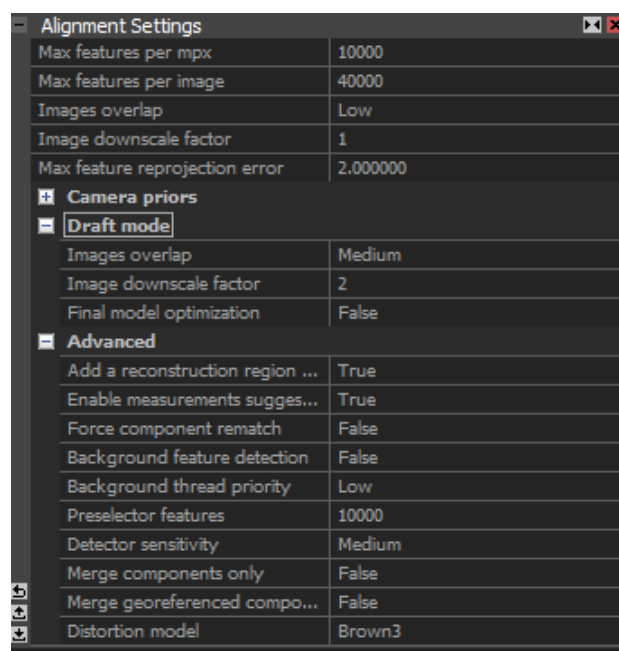


Figura 30- Interface das definições de alinhamento da Reality Capture. (captura de ecrã pessoal, Lisboa-março de 2019)

Quando os alinhamentos falham, surge uma reconstrução vazia ou deformada. A causa deve-se a lapsos ocorridos nas capturas, em grande medida por falta de sobreposição, ou por saltos repentinos na movimentação das mesmas, situações nas quais o software não consegue triangular o seu seguimento. Quando aconteceu este tipo de situação, testou-se a possibilidade de alinhar as fotografias manualmente através dos eixos (x,y,z). Note-se que se tratou de um processo muito moroso devido à falta de experiência e, elevada quantidade de fotografias a serem reposicionadas, como *Poznanski (2014)* também descreve:

“Sometimes you need to manually help align photos when the software gets confused, and then, fingers crossed - software will finally spit out an object”

Por conseguinte, foi procurada outra solução, que consistiu na aplicação do processo de pontos de controlo. Este recurso permite corrigir o registo da câmara, criar a georreferência, assim como, ajustar a escala dos modelos, ao criar pontos de ligação entre as capturas, e dessa forma interligar as várias fotografias.

Na figura 31 visualizam-se os pontos de controlo num objeto. As linhas que se veem na imagem indicam as câmaras que fazem a ligação ao ponto criado. O software Reality Capture procura encontrar os pontos automaticamente. No entanto, quando um ângulo de visão entre imagens é muito alto, não o consegue fazer.

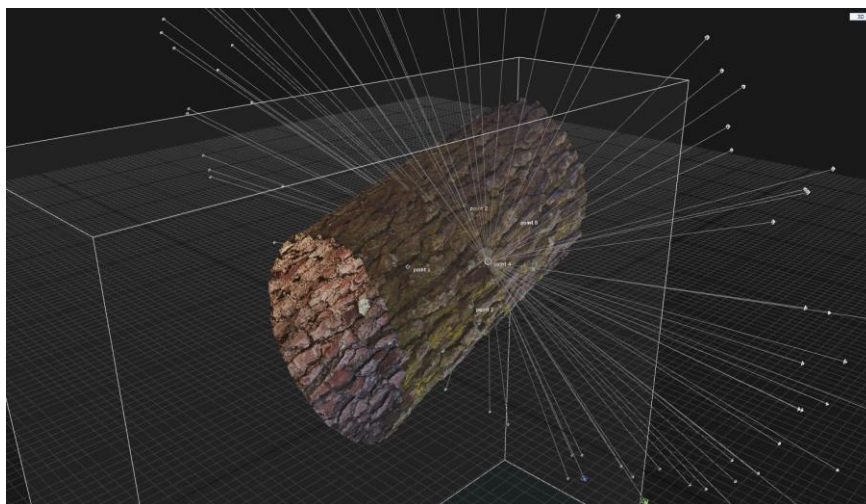


Figura 31- Visualização do posicionamento de pontos de controlo num objeto. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)

Este processo surge apenas em último recurso, porque sempre que possível, deve-se recapturar as fotografias em falta, e adicioná-las ao alinhamento, como *Jover & Muller (2017)* indicam:

“It is faster to add images. Use it as last solution. Reality Capture offers other alignment options”

No caso de ser inevitável, para aplicar os pontos de controlo é preciso alterar a interface para visionamento em 2D e 3D simultaneamente, isto no sentido de marcar a posição dos pontos nas imagens e observar o resultado na janela de 3D, como se exemplifica na figura 32.

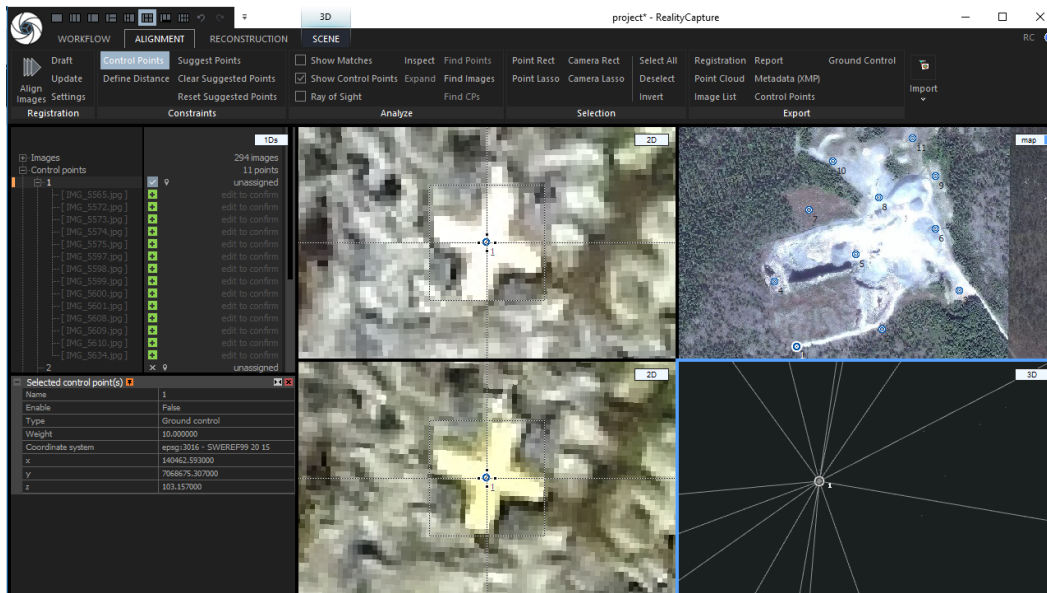


Figura 32- Aplicação dos pontos de controlo. Imagem de CapturingRealitySupport (2019).

Quando não é possível recuperar certas fotografias, ou partes do objeto, com os pontos de controlo, regressa-se à fase de captura e refaz-se os procedimentos descritos. Esta fase termina quando se obteve uma pré-visualização em vértices dos objetos (point cloud), que se assemelha ao que se observa na figura 33, onde se rastreiam as linhas principais dos objetos representados.

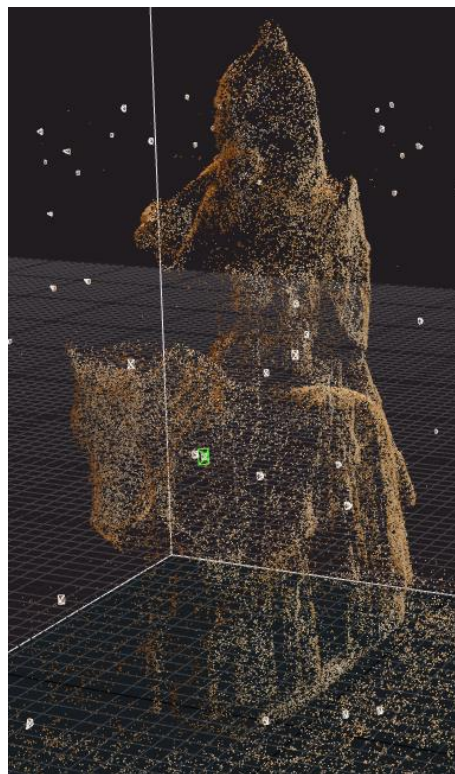


Figura 33- Pré-visualização do modelo em vértices após alinhamento das fotografias. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)

Nas situações em que assim não acontece, verifica-se da existência de fotografias em reserva para aplicar os pontos de controlo, e procede-se à substituição de forma a cobrir as falhas existentes na pré-visualização.

4.3.2- Meshing

Neste passo, pretende-se transformar o *point cloud*, de vértices não conectados, num objeto com faces que respeitem a sua forma e silhueta. Inicialmente é necessário escolher o nível de qualidade que se procura para a reconstrução dos modelos e esperar pelo resultado da renderização. Aqui, o nível de reconstrução tem de ser definido, e para tal determina-se a qualidade das reconstruções entre: *Normal Detail* e *High Detail*.

Assinala-se que na opção *normal detail*, o objeto renderizado continuará a ser considerado modelo *high poly* em termos de contagem de polígonos, apenas retira-se menos informação das capturas, perdendo detalhe no objeto, mas acelerando o tempo de produção. Não se deve associar as definições presentes às de *low* e *high* das fases de *sculpting*, retopologia e modelação. Apesar de se tratar das etapas menos complexas, em que apenas se torna necessário selecionar a qualidade desejada, constitui, no entanto, das mais morosas. O tempo de execução depende da complexidade do objeto em questão, e a renderização pode demorar entre minutos, a várias horas. O objetivo desta etapa concretiza-se em alcançar uma reconstrução semelhante à apresentada na figura 34.

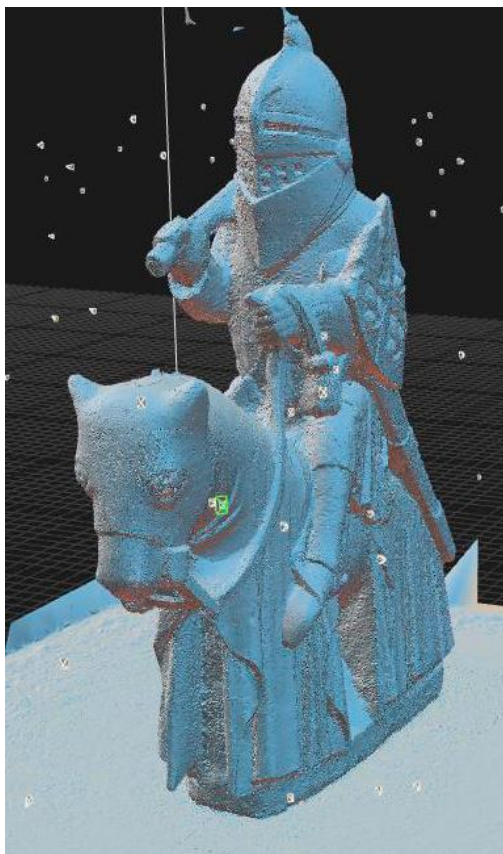


Figura 34- Exemplo de modelo após Reconstrução. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)

Acontece que no final podem ainda subsistir vários elementos indesejáveis, porém, desde que não sejam em grande quantidade, ou que não se sobreponham ao objeto em questão, tal não impede a continuação do processo, visto que mais tarde podem ser filtrados e corrigidos.

4.3.3- Coloração e Texturização

Após a reconstrução do modelo pretende-se adicionar as cores e texturas. Aqui, recorre-se à função *colorize* e *texturize*. Para melhor entender o seu âmbito:

- o *colorize* cria cores para os vértices do modelo, surge como adequado para objetos mais densos, e torna-os mais leves³³;
- o *texturize* cria uma ou mais imagens para cada triângulo do modelo.³⁴ Note-se que a textura torna o objeto mais realista do que a coloração.

Tal como acontece no *meshing*, este processo oscila o seu tempo de renderização em função dos detalhes e complexidade da malha do modelo. Após a coloração e textura a imagem do objeto apresentou-se como na figura 35.



Figura 35-Exemplo de modelo após texturização. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)

³³ Com base na definição facultada pelo software da CapturingReality, s.r.o. (2019): “Coloring creates only colors for model vertices, which is fine for denser objects, and which makes the model smaller in size, compared to a textured model.”

³⁴ Com base na definição facultada pelo software da CapturingReality, s.r.o. (2019): “Simply speaking, texturing creates a small image for each triangle of the model. It actually creates one or more images called textures and defines mapping among them and triangles.”

4.3.4- Simplificação

O propósito da simplificação ocorre no sentido de se procurar reduzir a quantidade de vértices da malha do objeto e, conseqüentemente, o tamanho do ficheiro. Após a reconstrução do modelo, mesmo que este seja gerado pela definição de *normal detail* na fase de meshing, sobrevém com uma grande quantidade de polígonos, e dificilmente funcionará ao exportar e importar para outro programa de textura, modelação, escultura ou, muito menos, motor de jogo, tal como Poznanski (2014) expõe:

“Scanned object will usually weigh between 2 and 20 million triangles. That is the entire game’s polygon budget, in a single asset.”

Transpõem-se este obstáculo reduzindo o número de polígonos com a ferramenta *simplify*. O valor aplica-se por tentativa e erro, até que não se danifique o detalhe do objeto, visto que não se pretende fazer uma redução drástica de polígonos, mas objetivamente reduzi-los para um valor aceitável de importação. A transformação para *low poly* produz-se na fase seguinte de retopologia.

Um exemplo desta aplicação pode ser observado na figura 36, em que a topologia se encontra reduzida em quase 100 vezes, mantendo, no entanto, muito do detalhe que se pretende para um modelo *high poly*.

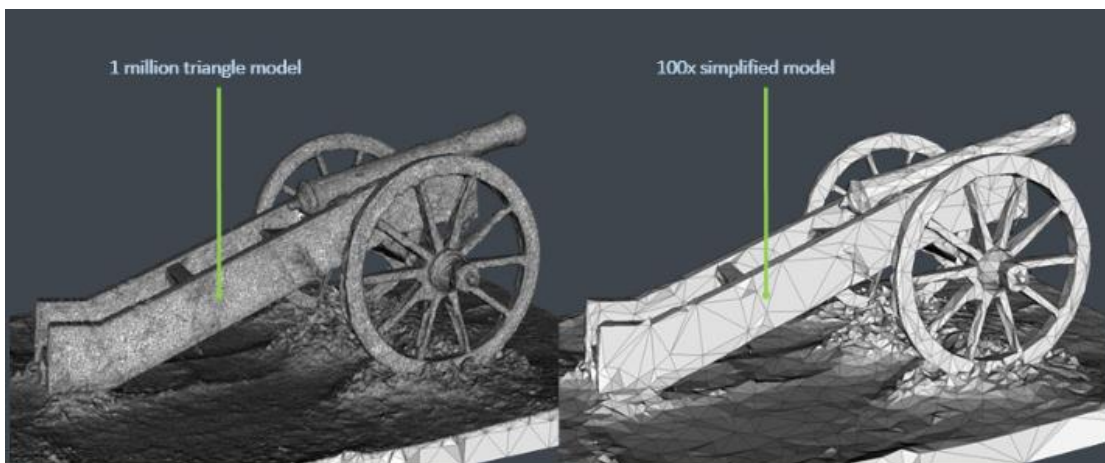


Figura 36- Exemplo da aplicação da simplificação para redução de polígonos. Imagem facultada pela Capturing Reality s.r.o. (2019).

Outro método utilizado para simplificar a malha, e mais especificamente para a remoção de malha extra, e desnecessária, trata-se da ferramenta de seleção *rect* e *lasso* como se observa na figura 37.

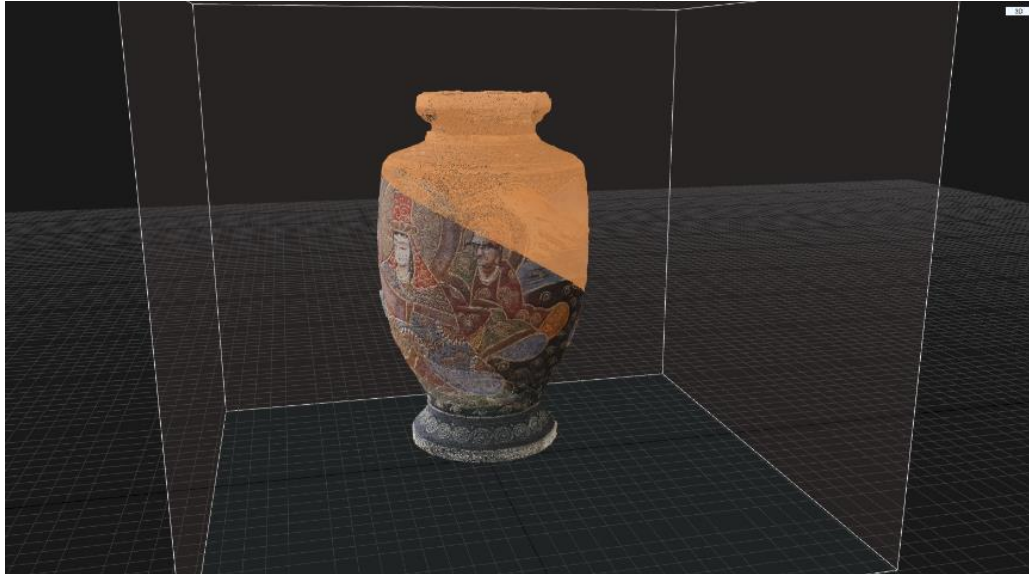


Figura 37- Ferramenta de seleção Lasso do Reality Capture. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)

Estas ferramentas permitem selecionar partes do objeto e removê-las do mesmo. Este recurso é útil para remover a malha reconstruída pelo programa, que não faz parte do objeto em questão, erros e em casos mais específicos, a remoção da base onde o objeto se encontra colocado. Este último caso surge com frequência nas capturas realizadas pelo método de *turntable*.

No decurso desta etapa aplica-se também a ferramenta de *close-holes* no intuito de se fechar eventuais erros na malha não visíveis, e, como aconteceu num objeto trabalhado, na tentativa de tapar a remoção de uma base giratória que se encontrava reconstruída pelo software. Contudo, nem sempre é possível arranjar através do uso desta ferramenta, mas pode-se fazê-lo na fase de *sculpting* em outro software.

4.3.5- Exportar

No processo de finalização de reconstrução do objeto pretende-se exportar o objeto final, e as suas texturas conforme se representa na figura 38. Neste intento, considera-se algumas condições. A configuração de *save mesh by parts* define-se como *false* porque não se pretende que o objeto fique dividido em várias partes, mas sim como único e completo. O *export vertex color* marca-se como *true*, e o formato como PNG, para exportarem-se as texturas e a coloração do objeto. Marca-se as câmaras como *false*, não se aplica movimentos ou escalas, e por último seleciona-se o formato: *obj*.

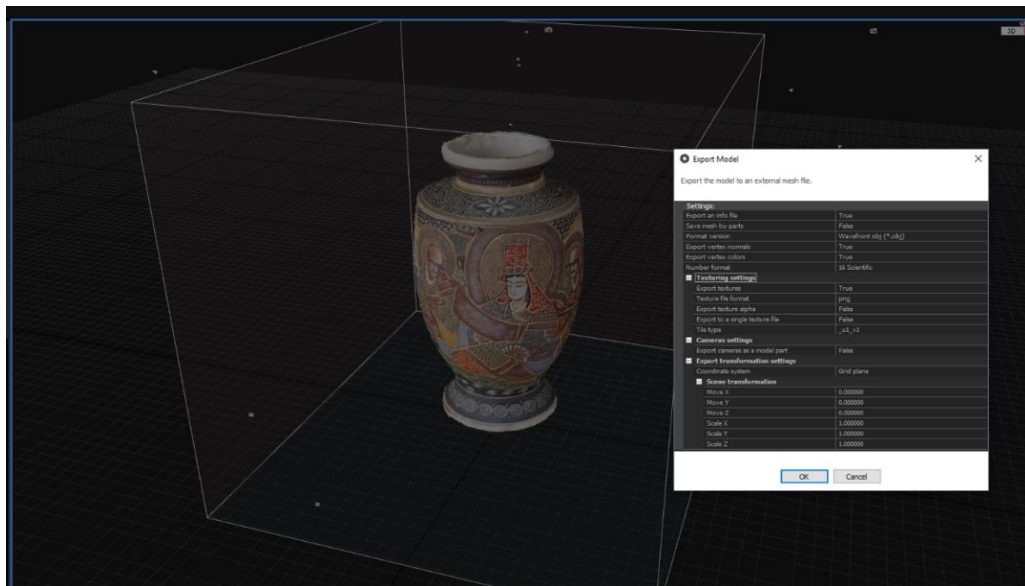


Figura 38- Janela das definições de exportação da *mesh high poly* do programa Reality Capture. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)

4.4- Sculpting e Retopologia

Em geral entende-se por *sculpting 3D* a atividade dos artistas em criar objetos 3D por meio de computadores. Do mesmo modo como um barrista, ou ceramista, o faz com o barro. A escultura executa-se por intermédio de ferramentas dos softwares, denominadas *brushes*, que aplicam movimentos numa malha virtual, tais como: empurrar, puxar, beliscar, suavizar entre outras. A destreza de movimento por parte do artista viabiliza a criação de esculturas digitais de forma detalhada. O criador, usualmente, inicia a obra a partir de alterações drásticas e gerais, e transita depois para outras, que se caracterizam por serem pormenorizadas. Estas ações são semelhantes às dos escultores tradicionais. Trata-se de um trabalho que pode levar minutos, ou centenas de horas, dependendo da dimensão e complexidade dos projetos, das ferramentas digitais disponíveis e, em grande parte, do conhecimento e habilidade do executante.

Não obstante, na técnica de fotogrametria, não existe a necessidade de se criar uma peça de origem, uma vez que se replicou um objeto através de uma reconstrução por fotografias. Sendo assim, nesta fase não se procura iniciar uma escultura 3D, mas sim, editar e corrigir partes do objeto reconstruído, que possam não estar devidamente geradas. Adequa-se maioritariamente por permitir a execução de pequenas alterações na malha, ou arranjos de espaços vazios, como as bases giratórias do método de *turntable*.

O objeto importa-se para o software Zbrush, sendo inicialmente duplicado. Não é uma necessidade, mas trata-se de boa prática, realizar as alterações num modelo cópia, para o caso de aparecerem erros no futuro, e assim conserva-se em reserva o modelo original intacto. Nesta etapa, procura-se recuperar a integridade dos objetos, começando por se fechar quaisquer buracos que subsistam ainda na malha. Recorrendo-se da ferramenta de *modify topology*, aplica-se o *close holes*, para fechar automaticamente essas fendas.

Segue-se a seleção das *brushes* de *masking* para aplicação em toda a área onde não se queria interferir para assegurar que não seriam afetadas por alterações acidentais. Com a *brush* de *smooth*, e numa intensidade baixa suavizam-se as novas faces criadas pelo *close holes*, e com o apoio da *brush move topology*, procura-se dar uma maior coerência ao modelo relativamente à sua forma real. Assinala-se que alguns objetos podem ainda ter ainda malha desnecessária em torno do objeto, “flutuando”. Nestas situações utiliza-se a ferramenta de *polygroups* para isolar essas peças, juntamente com a ferramenta de *visibility* para posteriormente eliminá-las. Após todos erros arranjados, e as alterações desejadas aplicadas, prepara-se o modelo para executar a retopologia. A retopologia define-se como a forma de recriar uma superfície 3D de grande quantidade de polígonos em geometrias menores, mais limpas e ideais, de forma a permitirem a sua utilização em animação e jogos digitais.

Esta fase é indispensável na criação de *assets* para videojogos. Os motores de jogos não iriam aguentar com *assets* de milhões de polígonos. Na figura 39 observa-se a diferença entre a quantidade de faces de um modelo *high poly* para o mesmo com retopologia aplicada (*low poly*):

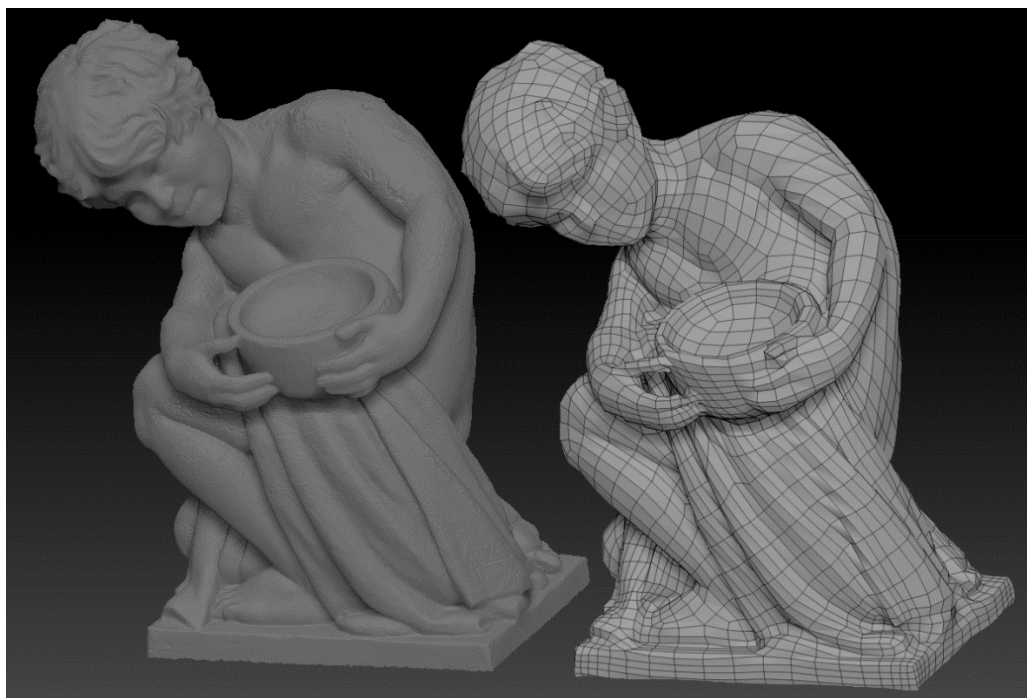


Figura 39- Exemplo de retopologia aplicada a um objeto. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)

Utilizando-se o Zbrush na retopologia não há necessidade exportar e importar para outro software. Com o modelo arranjado, é duplicado, mais uma vez pela razão da boa prática em se conservar um backup intacto. Nesta cópia aplica-se então a ferramenta do Zremesher, determinando-se a contagem de polígonos entre os valores de mil a 3 mil polígonos, e explora-se o quão baixo se consegue definir o valor até se ao pondo em que perde demasiado detalhe no modelo. Note-se que a perda de detalhes é inevitável, uma vez que se está a reduzir drasticamente a superfície de malha do objeto, porém, tal não se apresenta como um

problema, visto que se pretende recuperar a qualidade perdida nos processos seguintes mantendo o número de polígonos reduzido. A complexidade do objeto é fundamental na execução destas etapas que se trataram das mais desgastante em todo o processo de criação de *assets*. O mau tratamento em retopologia pode resultar na perda de detalhes que não podem ser recuperados, como o autor Poznanski (2014) destaca:

“You need to be really skilled at geometry optimization and retopology to create relatively low poly mesh that will carry over most of original scan geometry fidelity”.

No final da retopologia exporta-se o modelo *low poly*, e o modelo *high poly* arranjado.

4.5- UV layout e Bakes

Na continuidade da fase anterior, importa-se o modelo *low poly* gerado, assim como o *high poly* retificado, para o programa de modelação, Blender. Primeiro, importa criar o mapeamento *UV* dos objetos, que consiste no processo de projeção de imagens 2D num modelo 3D, tendo como finalidade gerar texturas³⁵. Existindo vários mapas de texturas, como se pode verificar na figura 40, cada um apresenta a sua funcionalidade específica.

Depois, surge o *baking*, que se trata do ato de pré-computar algo para acelerar algum outro processo posteriormente³⁶. Estas etapas servem para pré-renderizar as texturas de cor, sombras, detalhes, ou outros, para um mapa 2D, de forma a poupar recursos, processamento e economizar o tempo de renderização do motor de jogo com: cálculos de sombras, iluminação, refletividade e outras.

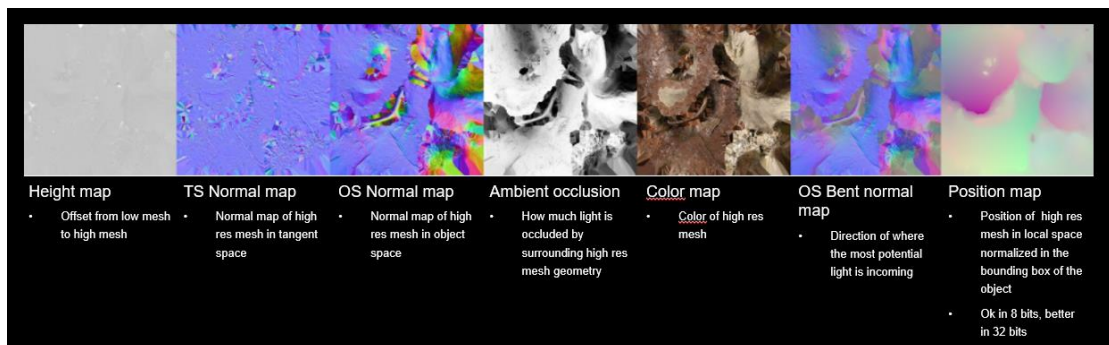


Figura 40- Possíveis mapas de ser renderizados. Imagem facultada por Lachambre et al. (2017).

³⁵ Tradução do autor. Do original: “UV mapping is the 3D modelling process of projecting a 2D image to a 3D model’s surface for texture mapping. The letters “U” and “V” denote the axes of the 2D texture because “X”, “Y” and “Z” are already used to denote the axes of the 3D object in model space”. (Mullen, 2009).

³⁶ Tradução do autor. Do original, facultado pelo software Blender Foundation (2019): “Baking, in general, is the act of pre-computing something in order to speed up some other process later down the line.”

No Blender divide-se a interface em duas janelas, uma com vista 3D e 2D para a planificação do objeto. Cria-se os UV's no *low poly* com a aplicação de *mark seams*³⁷, de forma manual, ou por *smart UV*³⁸, automático, dependendo da complexidade do objeto em questão. Em peças com disposição de malha com formas simples, a opção reside pelo smart UV, por acelerar o processo, porém, mantendo-se uma boa segmentação do mapa; nos casos mais compostos é essencial aplicar os cortes manualmente, *com mark seams*, nas áreas que se pretende separar. Note-se que caso se deseje mais tarde efetuar alterações nos mapas UV, ou texturas, o *mark seams* apresenta-se como o mais adequado e melhor organizado, no entanto, é necessária mais experiência com o software para se conseguir separar a informação que se deseja. Ainda neste ponto, projeta-se a malha do objeto em UV, guardando-se numa resolução de 4096 x 4096 para garantir que se consegue suportar as texturas resultantes das fotografias. Tendo-se os UV's, inicia-se os *bakes* com o propósito de se criar mapas que ajudem a dar a aparência do *high poly* ao *low poly*, e recuperando todos os detalhes que foram perdidos na retopologia do modelo, embora mantendo baixa a contagem de polígonos.

Com ambos modelos importados, executa-se o *bake* das texturas selecionando-se o *high poly* primeiro, e o *low* depois. Esta necessidade de ordem na colocação, advém de se querer transmitir a informação do modelo mais detalhado para o outro, que tem menos, e não ao contrário. Os mapas que se criam maioritariamente são: *albedo*, *ambient occlusion* e *normals*; porém, dependendo do tipo de objeto, acontece a necessidade de se criar outros: *displacement*, *metallic*, *specular* e *shadow*. Na figura 41 observa-se um exemplo de um mapa de *ambient occlusion* a ser gerado:

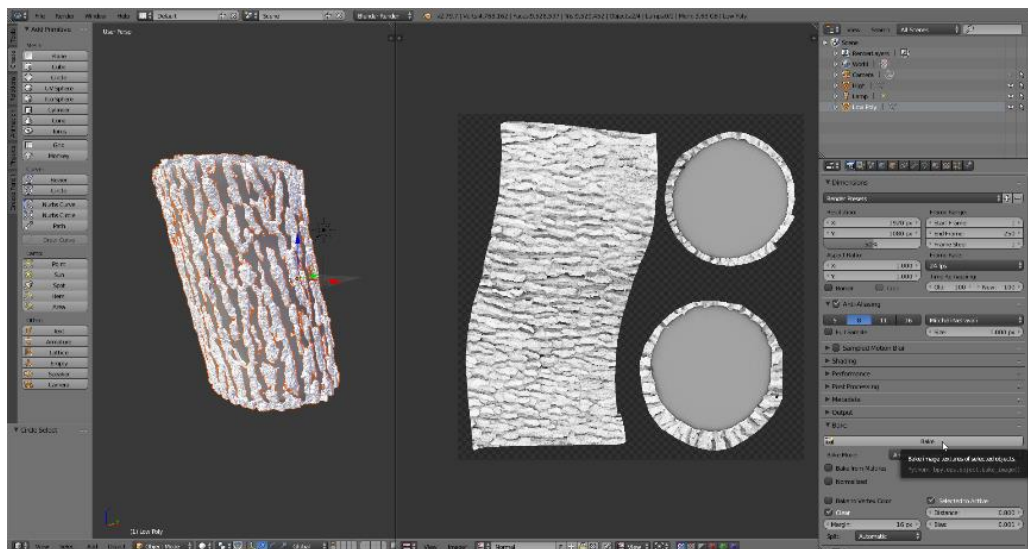


Figura 41- Baking de mapa de *ambient occlusion*. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- março de 2019)

³⁷ Com base na definição facultada pelo software Blender Foundation (2019): Ferramenta que permite a criação de linhas que indicam ao programa onde cortar o UV, de modo ao utilizador ter um maior controlo de como a planificação do seu objeto vai ficar.

³⁸ Com base na definição facultada pelo software Blender Foundation (2019): Ferramenta que automatiza a criação de um mapa UV para o objeto em questão, segundo um algoritmo próprio.

Na conclusão desta fase, exportam-se todos os mapas em formato PNG para uma pasta de arquivo.

4.6- Pós-Processamento

Existindo diferenças nas malhas entre os modelos *high* e *low poly*, acontecem regularmente discrepâncias nos mapas de texturas provenientes da renderização dos *bakes*. Nestas circunstâncias, torna-se necessário corrigir esses mapas, e tal é feito editando-se os erros, como é o caso dos buracos e falhas de malha que são comuns nos limites dos cortes dos *mark seams*, acrescentando os que surgem nas zonas de malha cortadas da reconstrução, como é exemplo as bases giratórias do método de captura *turntable*.

Os mapas que contêm incorreções são importados para o Photoshop, onde são corrigidos através das ferramentas que replicam a textura presente. Salienta-se que não se deve utilizar nenhuma *brush* de pintura sobre os mapas, mesmo que se procure tentar utilizar as mesmas cores, isto para não se perder os detalhes realistas da reconstrução fotográfica. As únicas ferramentas utilizadas neste trabalho na correção dos mapas foram a *healing brush* e a *patch* do *content aware*, como também o faz o Kuzmin (2018):

“The best tool for this purpose is the Healing Brush and Patch from Content-Aware tools in Photoshop. These allow you to clone and fuse a texture from another part of the image to the part we want to restore/recreate.”

Nestes casos circunscreve-se a zona à afetada do mapa com a ferramenta de seleção, de modo a não se alterar partes desnecessárias, de seguida, com a *healing brush*, fixa-se uma zona do mapa devidamente renderizada. Esta área substitui a textura da zona afetada no intuito de replicar a textura original, e assim manter a sua consistência.

Nas situações em que o objeto não apresenta textura, como bases ou recortes feitos durante a reconstrução, executa-se a replicação através das *brushes* indicadas, e em simultâneo executa-se a adição e manipulação de imagens que completem a coerência do objeto, utilizando-se neste caso o *photobashing*³⁹. Um exemplo deste cenário pode ser observado na figura 42, que representa um objeto sem topo nem base, que foi retificado, e ao qual se adicionou um cepo, com o objetivo de se manter a coesão e veracidade das cores, luz e sombras.

³⁹ Técnica em que os artistas editam e fundem fotografias ou recursos 3D, enquanto os pintam e compõem em um produto finalizado. É utilizado por artistas conceptuais para acelerar o fluxo de trabalho e/ou para obter um estilo mais realista de textura.



Figura 42- Exemplo de correção das bases de um mapa de textura. (captura de ecrã pessoal, Lisboa-março de 2019)

4.7- Motor de jogo

A última etapa do processo de criação do *asset* fotorrealista consiste em verificar se os objetos estão aptos para serem implementados. Realizado o pós-processamento, e obtido o modelo *low poly*, assim como os seus mapas, estes são importados para o motor de jogo Unity. Arrasta-se o modelo *low poly* para a *scene*⁴⁰, coloca-se a transformação dos eixos em (0,0,0), isto no sentido melhorar a visualização do objeto em questão e, por fim, roda-se para ter a base assente no eixo correto devido ao fato de alguns objetos poderem vir deitados ou inclinados do programa de reconstrução. Estando neste momento o modelo em *scene*, cria-se um novo material na pasta de projeto, aplicando-se então os mapas de texturas, e alterando as suas definições conforme o necessário. Estabelecidas as modificações ao material criado, este aplica-se ao objeto *low poly*, para verificar a integridade do *asset* final.

Para terminar este processo desloca-se o objeto da *scene* para a pasta de projeto, criando-se assim um *prefab*⁴¹ para exportação e replicação do objeto, e confirmando-se que o mesmo estava pronto para ser implementado em qualquer motor de jogo e projeto futuro.

⁴⁰ Com base na definição facultada pelo software Technologies, U. (2019): “Scenes contain the objects of your game. They can be used to create a main menu, individual levels, and anything else. Think of each unique Scene file as a unique level. In each Scene, you will place your environments, obstacles, and decorations, essentially designing and building your game in pieces.”

⁴¹ Com base na definição facultada pelo software Technologies, U. (2019): “Unity’s Prefab system allows you to create, configure, and store a GameObject complete with all its components, property values, and child GameObjects as a reusable Asset. The Prefab Asset acts as a template from which you can create new Prefab instances in the Scene.”

5 - Apresentação dos resultados

Durante a realização deste projeto elaborou-se um cronograma de tempo de trabalho para sistematizar e organizar todo o processo realizado, e que se representa na seguinte tabela:

Tabela 4- Cronograma de trabalho aplicado a este projeto dos meses de fevereiro a julho de 2019.

Fevereiro			
1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
Delineamento da Pesquisa	Testes de softwares para reconstrução	Software 2: ReCap	Software 3: Reality Capture
	Software 1: 3DF Zephyr		
Março			
1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
Software 4: Metashape	Testes de Capturas e aprendizagem do software Reality Capture em objetos pessoais		
Abril			
1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
Processo do Cavaleiro Medieval		Processo do Anjo Turiferário	Processo da Predela de Cristo
Maio			
1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
Processo da Predela de Cristo			
	Processo do Vaso Chinês		Processo do Tronco de árvore
Junho			
1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
Processo do Tronco de árvore	Processo do Cepo de árvore		Processo da Estátua Criança
Julho			
1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
Processo da Estátua da Criança	Testes de Software Substance Painter	Processo Tradicional na Estátua Criança	

Foram executados no mês de fevereiro de 2019 múltiplos testes em diversos locais de Lisboa, Coimbra, Alcobça, e Loures, que visaram compreender e dominar a aplicação da técnica de fotogrametria. Procurou-se primeiramente interiorizar o processo de captura e reconstrução por fotogrametria, visto que se tratava de uma nova técnica para o autor. Após a pesquisa inicial dos pipelines de execução, selecionaram-se vários objetos, como vasos, cómodas, cadeiras, automóvel pessoal, estátuas de rua, entre outros, seguindo-se os passos indicados no capítulo 4. Os testes estenderam-se ao longo de três semanas sob o intuito em se conhecer a interface de certos softwares, como foi caso, do Reality Capture e o Substance Painter, registar dados, e observar a resposta do software em determinadas situações. Alguns dos resultados destes testes estão representados nas figuras 43, 44 e 45:

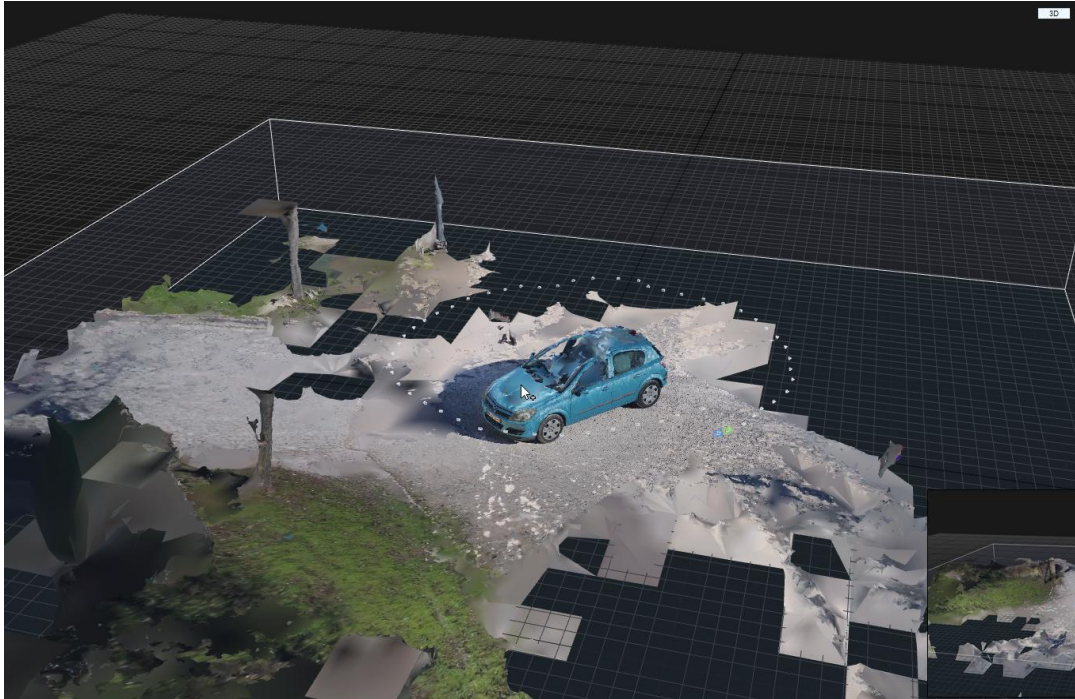


Figura 43- Teste de reconstrução em objeto de larga escala. Automóvel pessoal (captura de ecrã pessoal, Lisboa- fevereiro de 2019)



Figura 44- Teste de reconstrução de uma estátua de rua. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- fevereiro de 2019)



Figura 45- Testes de reconstrução de objetos de pequeno e médio porte. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- fevereiro de 2019)

No decorrer destas experiências foi possível identificar algumas limitações da própria técnica, e os procedimentos adequados a ter em conta. Por exemplo, na execução da técnica em objetos refletivos, como se fez no caso do automóvel, e num dos vasos testados, visíveis nas figuras 43 e 45, respetivamente, notou-se que o software de reconstrução apresentou grandes dificuldades em reconhecer a informação das capturas nas zonas onde incidia excesso de luz. Mesmo recorrendo-se à edição das imagens o software não conseguiu criar ligações, deixando vários buracos nas malhas.

Esta fase de testes serviu de suporte inicial à seleção dos objetos finais. As limitações levantadas à escolha dos mesmos assentaram na escolha de objetos baços, dada a limitação apresentada pela técnica à reflexão de luz, e a restrição de objetos de grande porte, em virtude da inexistência de equipamento como drones ou *photo booth studios*.

Nestas circunstâncias os objetos selecionados, como já referidos, foram os seguintes:

- Estátua do cavaleiro medieval, Coimbra, março 2019, Museu Machado dos Reis;
- Anjo Turiferário; Coimbra; março 2019; Museu Machado dos Reis;
- Predela da Paixão de Cristo; Coimbra; março 2019; Museu Machado dos Reis;
- Vaso chinês; Lisboa; 2019; residência particular;
- Tronco de árvore; Alcobaça; 2019; campo;
- Cepo de árvore; Alcobaça; 2019; campo.
- Estátua da criança; Lisboa; março 2019; Jardim Campo Grande;

A contenção a sete objetos assentou na necessidade em se delimitar o projeto num período de tempo realístico de produção Neste âmbito considerou-se constituir este conjunto um número

suficiente para as distintas análises a realizar. Importa salientar que o objeto estátua da criança foi selecionado para análise entre duas técnicas.

Os pontos que se seguem apresentam o resultado da aplicação da técnica por cada objeto, e na sequência ordenada de construção dos mesmos: cavaleiro medieval, anjo turiferário, predela da paixão de cristo, vaso chinês, tronco de árvore, cepo de árvore e estátua da criança.

5.1- Cavaleiro Medieval

Esta escultura, que representa um cavaleiro medieval, começou a ser reconstruído no mês de abril, após a realização de uma visita ao museu Machado dos Reis, em Coimbra. A sua seleção assentou por apresentar as seguintes características: pequenas dimensões, textura em pedra de mármore, cor singular, e o potencial que sugeria como personagem para um videojogo. Note-se que continha pequenas rachas e falhas, porém não eram muito salientes ou significativas. Este objeto pode ser observado na figura 46:



Figura 46- “Cavaleiro Medieval do século XIV, Mestre Pero. Capela dos Ferreiros, Oliveira do Hospital” (fotografia pessoal tirada no museu machado dos Reis, Coimbra- abril de 2019).

Sendo um objeto de exposição, tal fato criou vários problemas, tais como: controlo de iluminação, dificuldade de recapturas, limitação dos tempos de registos e contacto direto com o objeto. Dito de outra forma, não houve possibilidade de movimentar o objeto de sítio, nem de colocar equipamento de luz, ou qualquer outro, que ajudasse a melhorar as capturas da sua imagem. Esta situação revelou-se num desafio no processo de reconstruir um objeto sem estarem reunidas condições adequadas. Realizaram-se várias capturas de fotografia utilizando o método *walk around* representado na figura 47. Foi ainda capturado vídeo, para backup, visto que não iria existir a possibilidade de regresso ao local para recapturar.



Figura 47- Captura por método de walk around do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)

Reforce-se que a iluminação da sala do museu constituiu séria dificuldade por ser fraca e apresentar diferentes tons de luz, que provocaram imagens amareladas e ligeiramente subexpostas (escuras) num lado, e mais brancas noutra. Foram tiradas 357 fotografias do objeto para posteriormente, e em fase de pré-processamento serem editadas, e se retificar a má iluminação e coloração das mesmas. No entanto, não foram utilizadas máscaras nesta edição, visto não existir suporte de green screen, o que obrigava mais tarde à criação de masking manual. Tendo em conta que a quantidade das fotografias foi elevada, e que teriam de ser editadas individualmente, optou-se pelo aumento do tempo de renderização.

Na fase de alinhamento quase todas as capturas foram trabalhadas pelo software. As exceções consistiram em quatro fotografias que falharam a entrada no *overlapping* dos 30% da fotografia anterior. Contudo as coberturas das restantes fotos do objeto eram suficientes para não haver necessidade em se procurar recuperar essas imagens.

A etapa de meshing, exigiu alguns testes de reconstruções, de cerca de quatro a cinco horas por cada renderização. Na criação do modelo final, acresceram-se perto de duas horas, na coloração e texturização. Observa-se o progresso da reconstrução final na figura 48, expondo da esquerda para a direita as fases de alinhamento, meshing e texturização.

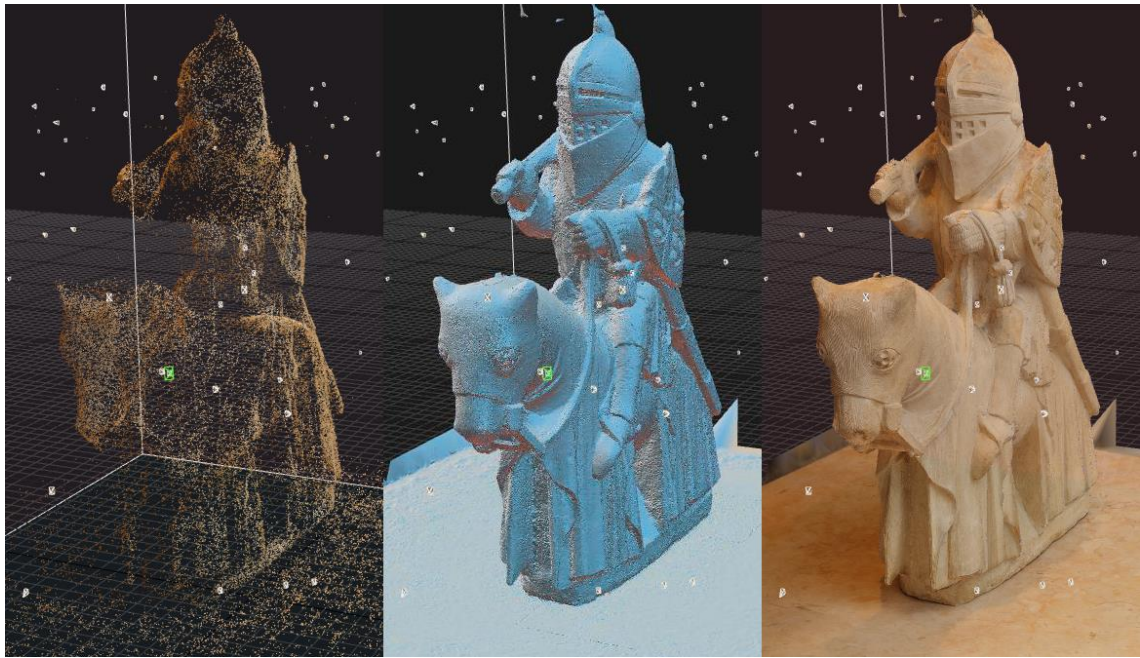


Figura 48- Visualização das três primeiras fases de reconstrução do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)

A reconstrução exposta, trouxe vários elementos do cenário ao redor, como segmentos de malha a sobrevoar o objeto e, em particular, a superfície onde o objeto estava assente, que pode se observar na figura 49.

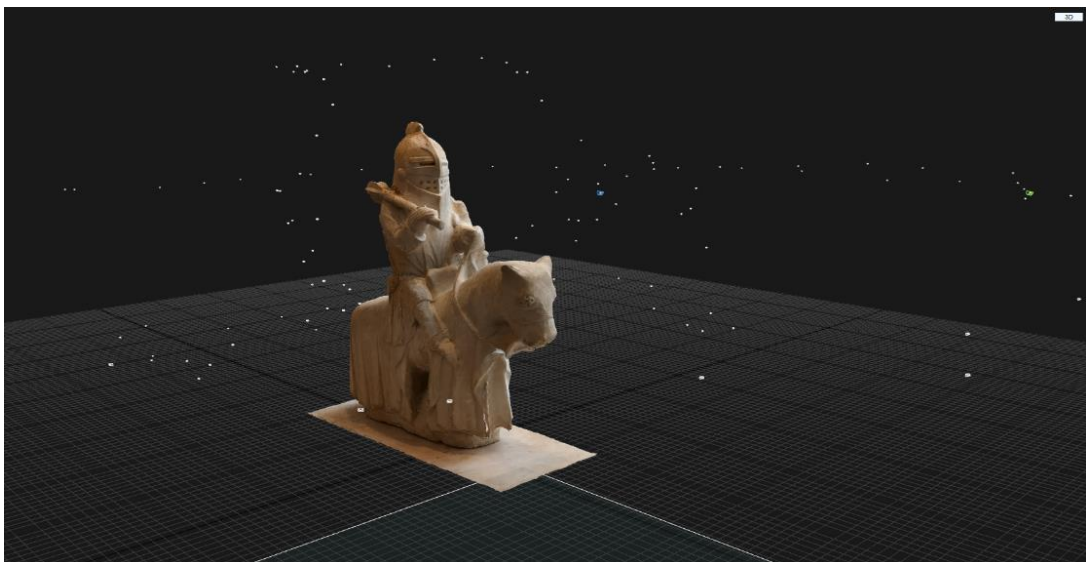


Figura 49- Elementos extra da fase de reconstrução do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)

Para eliminar esses elementos extra do modelo, recorreu-se à ferramenta de laço para os extrair manualmente. A superfície, onde o modelo, estava sustentado, foi também removida durante essa simplificação, contudo deixou um buraco na sua base, devido à *mesh* do objeto se encontrar unida ao mesmo. Foi exportado com esse pequeno defeito, dado que era mais simples ajustar no software Zbrush.

Na fase seguinte de *sculpting* o objetivo foi arranjar este defeito, e fechar. Foi utilizada a ferramenta *close holes* que fechou automaticamente o buraco. Com ele selado foram realizados uns retoques com a *brush clay buildup* para recuperar a forma, e criar uma transição mais suave na malha. Após os arranjos foi aplicada a retopologia. Os arranjos, e aplicação da retopologia no modelo, podem ser observados na figura 50. À esquerda, encontra-se o modelo low poly com retopologia aplicada; à direita o modelo high poly com os arranjos, ambos com a base já remendada.



Figura 50- Retopologia do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)

No prosseguimento da aplicação da técnica não foram levantados mais obstáculos, não se produzindo mais nenhum erro, e o fluxo de trabalho tornou-se bastante linear e rápido. Na sua fase de *bakes* foram produzidos os mapas de textura observados na figura 51, apresentados da esquerda para a direita, começando de cima para baixo: ambient occlusion, UV map, normal map e albedo.

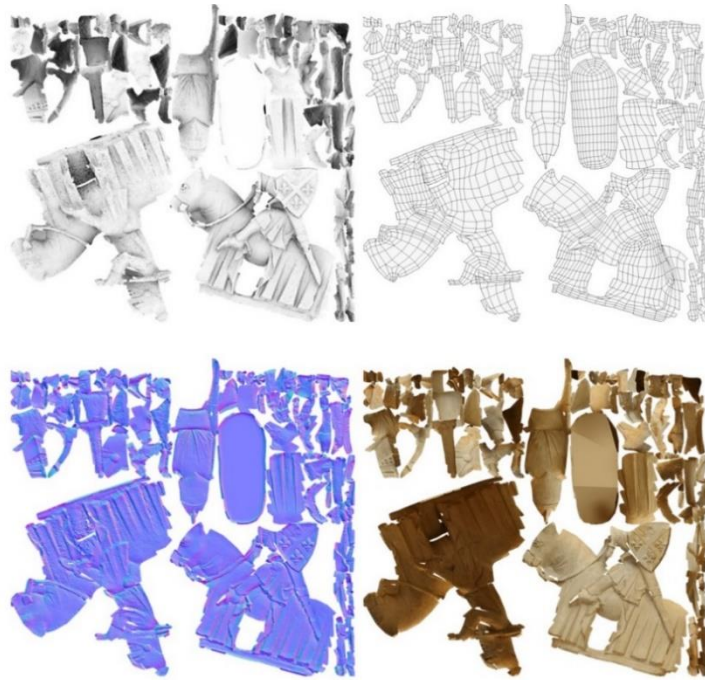


Figura 51- Mapas de texturas do objeto Cavaleiro Medieval. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)

Na fase final de implementação criou-se o *prefab* no motor de jogo Unity, confirmando-se que o *asset* estava apto para a implementação em qualquer projeto. Pode ser observado na figura 52, por ordem da esquerda para a direita em *wireframe*, *shaded wireframe* e *shaded*.

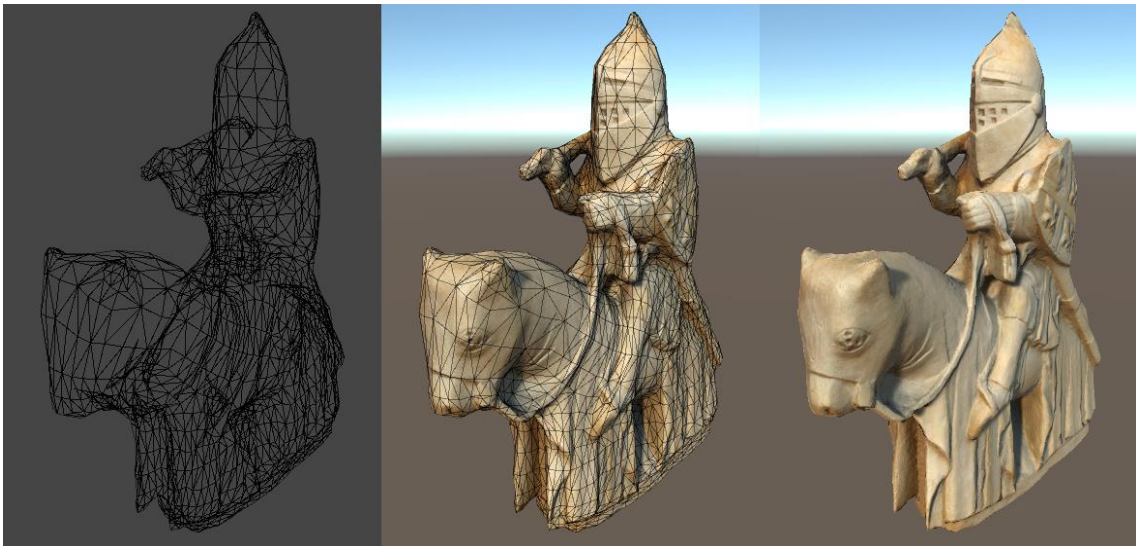


Figura 52- Visualização final do objeto Cavaleiro Medieval implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- abril de 2019)

Na tabela que se segue encontram-se apresentadas as anotações da aplicação, e tempos de produção, juntamente com alguns comentários mais pormenorizados de cada fase do percurso do modelo final do objeto em questão.

Tabela 5- Anotações da criação final do objeto Cavaleiro Medieval

Fase	Realizado (sim/não)	Duração	Notas
Captura	sim	1 dia	367 fotografias. 2 filmagens de backup.
Pré-Processamento	sim	1 dia	Editada a exposição e balanceamento das cores
Reconstrução	sim	3 dias	
• Alinhamento	sim	4h	Todas as fotografias exceto 4 fotografias foram alinhadas.
• Pontos de Controlo	não	0	Sem necessidade de recuperar as 4 fotografias em falta.
• Meshing	sim	4h	
• Texturização	sim	2h	Aplicação do Coloring (1h) e Texturing (1h);
• Simplificação	sim	3h	Filtrados vários elementos indesejados a sobrevoar, e a base com a lasso tool;
• Exportação	sim	40m	
<i>Sculping</i>	sim	4h	Foi fechado o buraco consequente da remoção do chão na fase de simplificação;
Retopologia	sim	1h	Redução de 14.08 mil polígonos para 2.2 mil polígonos;
UV e <i>Bakes</i>	sim	2h	Criação do UV e baking dos mapas de albedo, <i>normal</i> e <i>ambiente occlusion</i> ;
Pós-Processamento	sim	2h	Foi editada a textura de albedo para adicionar textura à parte de baixo do cavaleiro;
Motor de Jogo	sim	1 dia	Criação de um <i>prefab</i> . Verificação que o modelo foi implementado com sucesso e está apto para ser utilizado.
Tempo total de produção deste <i>asset</i>			6 dias

5.2- Anjo Turiferário

Este objeto foi trabalhado durante a terceira semana de abril. Foi escolhido por apresentar as seguintes características: porte médio, textura de madeira, cor singular, e expor potencial para personagem de videogame. No entanto, exibia várias fendas na sua estrutura, e uma quantidade de detalhe superior. Face a estas contrariedades, procurou-se determinar da viabilidade da sua execução em função da capacidade de a fotogrametria trabalhar o detalhe, bem como, apurar se o software recolhia e reconstruía os pequenos defeitos presentes na madeira. Pode ser observado o objeto na figura 53:



Figura 53- Anjo Turiferário, de 1501 d.C.- 1525 d.C. Escultura em madeira (fotografia pessoal tirada no museu Machado dos Reis, Coimbra- fevereiro de 2019).

Decorrendo do fato de ser um objeto de exposição no museu, replicaram-se as mesmas adversidades do objeto anterior: iluminação, impossibilidade de recapturas, limitação dos tempos de registos, e contacto direto com o objeto. O posicionamento desta estátua dificultou uma captura por *walk around* em 360°, dado se encontrar sobre uma superfície perto da parede, e, simultaneamente, por ser um objeto de porte médio, complicou a captura da sua zona posterior, e topo. Tratou-se de mais um exemplo de dificuldade de se aplicar a técnica em contexto amador. O objeto que se pretende trabalhar não se encontra em condição perfeita de registo, pelo que se torna necessário encontrar alternativas para aplicar-se o processo no mesmo.

Para este objeto foram capturadas 134 fotografias, e feitas duas filmagens. A iluminação da sala tinha menor diferenciação de cores que a anterior, porém, a zona posterior estando mais

próxima da parede encontrava-se mais escura. Durante o pré-processamento procurou-se retificar essa má iluminação, e por ser menor a quantidade de fotografias realizou-se a criação de máscaras deforma a economizar os tempos de renderização.

Diverso da reconstrução anterior, este objeto rapidamente demonstrou falhas na sua fase de alinhamento, com trinta e duas fotografias a falharem. Estas eram referentes à zona posterior esquerda do objeto, que terá falhado no momento de registo das fotografias por lapso na entrada do *overlapping* dos 30% das fotografias anteriores, e, também, devido à iluminação demasiado escura dessas áreas, que subsistiu mesmo após correção. Estas falhas sobrepunham-se demasiado ao modelo, como se observam na figura 54.

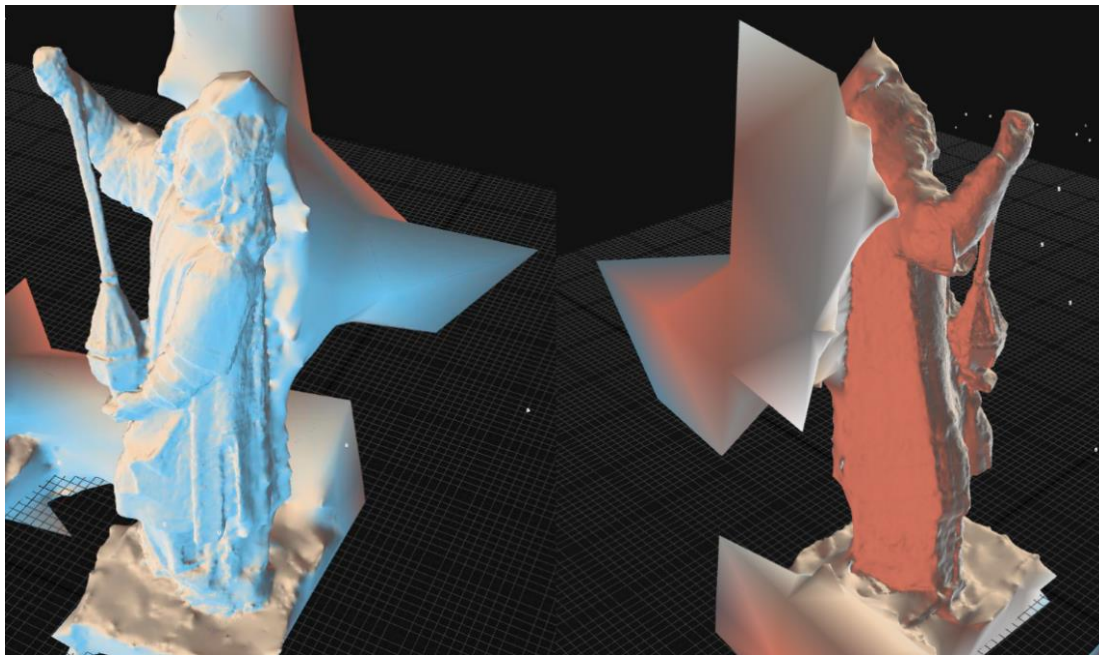


Figura 54- Visualização dos erros produzidos no objeto Anjo turiferário, frente e verso. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- fevereiro de 2019)

Neste contexto tentou-se aplicar os pontos de controlo manualmente escolhendo-se as fotografias, no sentido de se explorar a hipótese de recuperar essas zonas, contudo tal não foi possível. A solução passava pela captura de novas imagens, o que implicava o regresso ao espaço de captura. O lugar já não estava disponível.

Avaliou-se a hipótese de se arranjar posteriormente na fase de escultura, mas tal operação dependeria tempo da fase de sculping. Concluiu-se que o tempo que levaria ao arranjo desses erros seria demasiado elevado para o tempo de produção do projeto. Note-se também que o objetivo consistia em reconstruir através da técnica de fotogrametria, e não em utilizar a técnica tradicional, mesmo tendo em conta tratar-se de apenas 15% do objeto em falta. Salienta-se que o erro, também, implicava a falta de texturas dessas áreas, e tal, igualmente, iria obrigar a depender mais tempo na fase de pós-processamento a colorir e texturizar. Por estas razões foi determinado colocar o objeto de parte, e seguir para o próximo.

Ainda assim, fica apresentado na tabela 6, as anotações da aplicação e tempos de produção, juntamente com comentários mais pormenorizados, de cada fase do percurso do modelo em questão.

Tabela 6- Anotações do percurso do objeto Anjo Turiferário

Fase	Realizado (sim/não)	Duração	Notas
Captura	sim	1 dia	134 fotografias registadas. 2 filmagens de backup;
Pré-Processamento	sim	1 dia	Editada a exposição e balanceamento das cores
Testes de Reconstrução	sim	4 dias	Realizados 7 testes para reconstruir este objeto;
• Alinhamento	sim	3h	Todas as fotografias, com a exceção de 32, foram alinhadas;
• Pontos de Controlo	sim	4h	Não foi possível recuperar 32 registos;
• Meshing	sim	3h	
• Texturização	sim	2h	Aplicação do Coloring (1h) e Texturing (1h);
• Simplificação	não	0	Não foi possível simplificar pois piorava a zona onde encontrava-se a falha de reconstrução;
• Exportação	sim	40m	
<i>Sculping</i>	sim	5h	Foi iniciado a reparação da área em falta;
Retopologia	não	0	O trabalho sobre o objeto foi cancelado.
UV e Bakes	não	0	
Pós-Processamento	não	0	
Motor de Jogo	não	0	
Tempo total despendido na tentativa de produção deste <i>asset</i>			7 dias

5.3- Predela da Paixão de Cristo

O trabalho com este objeto foi realizado no final do mês de abril, e terminado a meio do mês de maio. Constituiu o processo mais moroso deste projeto. A sua escolha assentou nas características que apresentava: dimensão de grande porte, textura em pedra de mármore com ligeira coloração, enorme quantidade de detalhe. Não apresentava potencial como personagem para videogame, mas sim como um *asset* de cenário. Pode ser observado na figura 55:



Figura 55- Predela da Paixão de Cristo de 1530-1540, João de Ruão Mosteiro das Celas (fotografia pessoal tirada no museu machado dos Reis, Coimbra- abril de 2019).

Foi o último objeto escolhido na exposição do museu Machado dos Reis, e apresentou menos adversidades que os objetos anteriores. Apenas aconteceu a impossibilidade de recapturas, limitação dos tempos de registos, e contacto direto com o objeto. A iluminação da sala onde se achava, e a viabilidade de capturas à sua volta não constituíram problemas. O objeto foi capturado por método de walk around com 550 fotografias. Não foi necessário aplicar o pré processamento por existir uma boa iluminação e cobertura das fotografias, e também pelo fato de ser elevada a quantidade de imagens para edição. Apesar de ter sido definido a limitação de objetos de grande porte, este tratava-se de um objeto de grandes dimensões, mas não em demasia, como o automóvel utilizado durante os testes. Ao mesmo tempo continha um bastante detalhe e variações de cor, que o tornou no objeto mais complexo de ser concebido.

Nas primeiras tentativas de reconstrução foram efetuados vários testes com definições diferentes. Todos tiveram com resultados negativos face à falta de memória Ram, e espaço em cache. As tentativas de recriação deste modelo estenderam-se por uma semana e meia, e equacionou-se colocar este objeto de parte, e continuar para o próximo por estar a estender demasiado o tempo de produção, devido aos seus elevados tempos de renderização.

Entendeu-se, entretanto, que ao contrário do objeto do Anjo Turiferário, existia a hipótese de o terminar. Como se observa na figura 56, o objeto não estava totalmente recriado, não por problemas de capturas ou edição, mas sim de falha de equipamento. Foi então obtido hardware capaz de aguentar o processo, o segundo computador identificado no subcapítulo de hardware, e libertou-se a cache do software que estava cheia com informação temporária com testes prévios de objetos.



Figura 56- Visualização do objeto predela da paixão de cristo, na sua fase de reconstrução. (captura de ecrã pessoal, alcobaça- abril de 2019)

Obtido o equipamento necessário, foi então possível reconstruir o objeto. A reconstrução trouxe vários segmentos de malha a sobrevoar o objeto e, novamente, a superfície onde o objeto estava assente. Foi aplicada a simplificação, mas dada a densidade de polígonos que o objeto continha, alguns desses erros, passaram despercebidos.

Na etapa seguinte de escultura, estes foram descobertos com o auxílio dos *polygroups* e removidos, utilizando a *brush*, e a *TrimRect* para cortar e remover os mesmos, no topo, base e costas do modelo. Estes erros podem ser observados na figura 57:



Figura 57- Visualização do objeto predela da paixão de cristo, na sua fase de sculping. (captura de ecrã pessoal, alcobaça- maio de 2019)

Após a remoção não foram produzidos novos problemas, pelo que foi iniciada a retopologia e na sequência a fase de *baking*. Os mapas produzidos durante esta fase apresentam-se na figura 58, da esquerda para a direita, começando de cima para baixo: ambient occlusion, UV map, normal map e albedo.

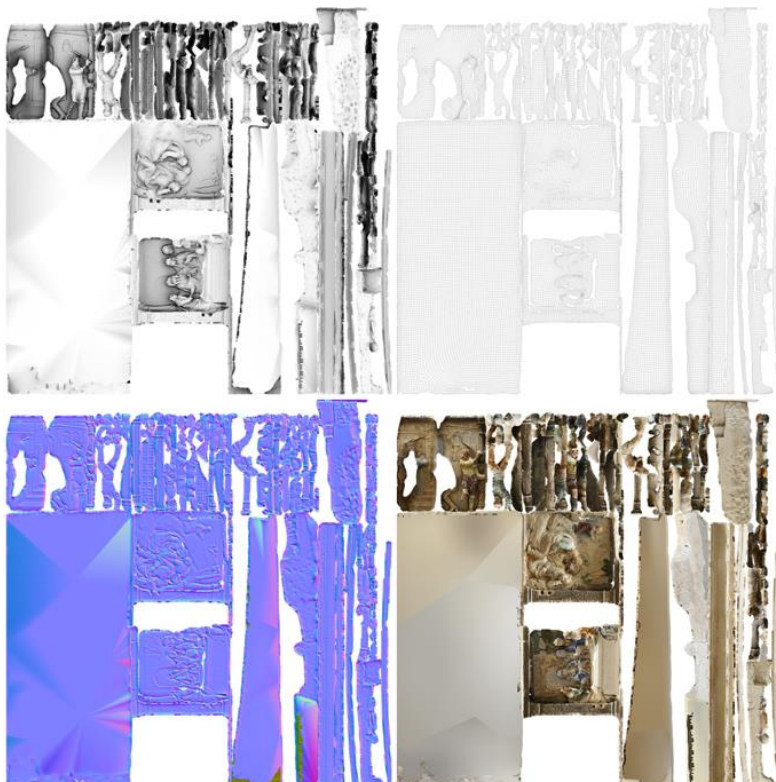


Figura 58- Mapas de texturas da fase de baking do objeto predela da paixão de cristo. (captura de ecrã pessoal, alcobaça- maio de 2019)

A fase final de criação de *prefab* pode ser observada na figura 59, por ordem de cima para baixo: Wireframe, Shaded Wireframe e Shaded. Confirmou-se então que o *asset* estava pronto para implementação em qualquer projeto.



Figura 59- Visualização final do objeto predela da paixão de cristo implementado no motor de Unity.
(captura de ecrã pessoal, alcobaça- maio de 2019)

Na tabela 7 serão apresentadas as anotações da aplicação e tempos de produção, juntamente com alguns comentários mais pormenorizados, de cada fase do percurso do modelo final do objeto em questão.

Tabela 7- Anotações da criação final do objeto Predela da paixão de cristo

Fase	Realizado (sim/não)	Duração	Notas
Captura	sim	1 dia	550 fotografias registadas. 1 filmagem de backup;
Pré-Processamento	não	0	

Reconstrução	sim	4 dias	
• Alinhamento	sim	7h	Sem falhas de alinhamento;
• Pontos de Controlo	não	0	
• Meshing	sim	8h	Falha nas primeiras tentativas de reconstrução por falta de <i>Ram</i> e Espaço de disco;
• Texturização	sim	11h	Aplicação do Coloring (5h) e Texturing (6h);
• Simplificação	sim	3h	Filtrados vários elementos indesejados a sobrevoar, e a base com a lasso tool;
• Exportação	sim	1h	

<i>Sculping</i>	sim	2h	Removidas partes extra nas bordas da predela e topo;
Retopologia	sim	1h	Redução de 500 mil polígonos para 34 mil polígonos;
UV e <i>Bakes</i>	sim	2h	Criação do UV e baking dos mapas de <i>albedo</i> , <i>normal</i> e <i>ambiente occlusion</i> ;
Pós-Processamento	sim	2h	Foi editada a textura de albedo para adicionar textura à parte de trás da predela;
Motor de Jogo	sim	1 dia	Criação de um <i>prefab</i> . Verificação que o modelo foi implementado com sucesso e está apto para ser utilizado.

Tempo total de produção deste <i>asset</i>	8 dias
--	--------

5.4- Vaso Chinês

O trabalho do objeto Vaso Chinês foi executado durante o mês de maio de 2019, tendo sido escolhido pelas suas dimensões pequenas, textura de porcelana rústica e áspera, grande detalhe com adornos pintados e padrões de coloração variados. Encontra-se-lhe potencial como um *asset* de cenário, e pode ser observado na figura 60:



Figura 60- Vaso Chinês, objeto particular (fotografia pessoal, Lisboa- maio de 2019).

O trabalho com este objeto procurou averiguar as características que diferenciam as capturas em ambiente mais controlado. Posto isto, salienta-se que foi o processo de registo que apresentou menores dificuldades em todo o projeto. A razão para tal reside no fato da sessão de captura ter sido efetuada em ambiente controlado: pertença particular, e sem restrição ao seu acesso. Neste contexto utilizou-se o método de *turntable*, e construiu-se um estúdio adaptado com iluminação de três pontos, através do qual se registaram 173 fotografias. Registe-se que o objeto Anjo turiferário com tão capturas tinha falhado, no entanto, neste caso não ocorriam as mesmas limitações, o que possibilitava recapturas caso fosse necessário.

A disposição de estúdio permitiu saltar a fase de pré-produção, porque se procurou eliminar durante a sessão de captura qualquer elemento indesejável, como sombras ou alterações de cor. Durante o processo de reconstrução do vaso surgiram novamente os extras da base giratória onde estava colocado o objeto, assim como, grande parte do cenário em seu redor. Foram

removidos por filtragem pelo *lasso tool* do Reality Capture, como se pode observar na figura 61.

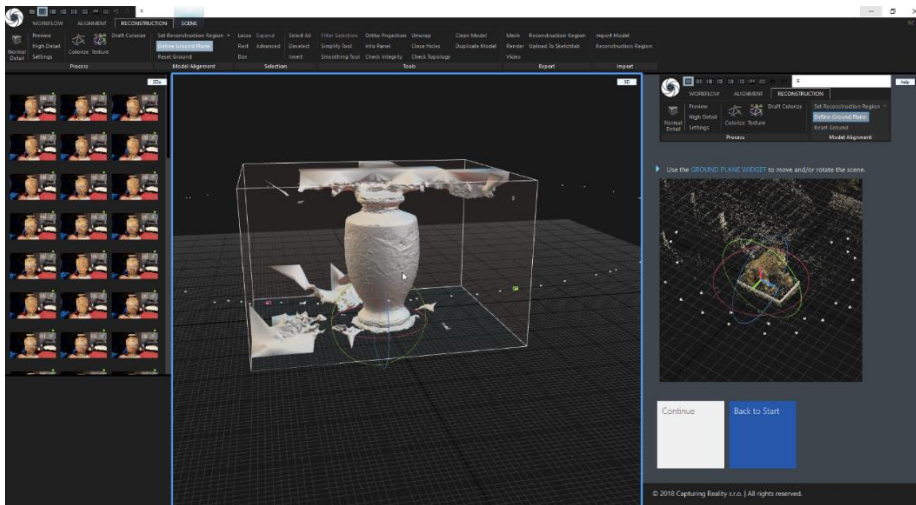


Figura 61- Início da remoção das partes extras que apareceram na fase de reconstrução do objeto Vaso Chinês (fotografia pessoal, Lisboa- maio de 2019).

O vaso tinha uma parte interior com profundidade que não foi possível ser registada, e tal fato traduziu-se numa ligeira deformação do seu topo. Procedeu-se então à remoção do topo e base do objeto, ação que pode ser observada na figura 62.



Figura 62- Visualização da remoção da base e topo, na fase de reconstrução, do objeto Vaso Chinês. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- maio de 2019)

Na fase de sculping recorreu-se à ferramenta *close holes* que fechou automaticamente os buracos. Com estes fechados, foram realizados ajustes utilizando uma *standart* e *smooth brushes* na malha, de forma a se criar uma transição mais suave na malha. Após os arranjos foi

aplicada a retopologia com o intuito de se reduzir o número de polígonos, como se demonstra na figura 63.

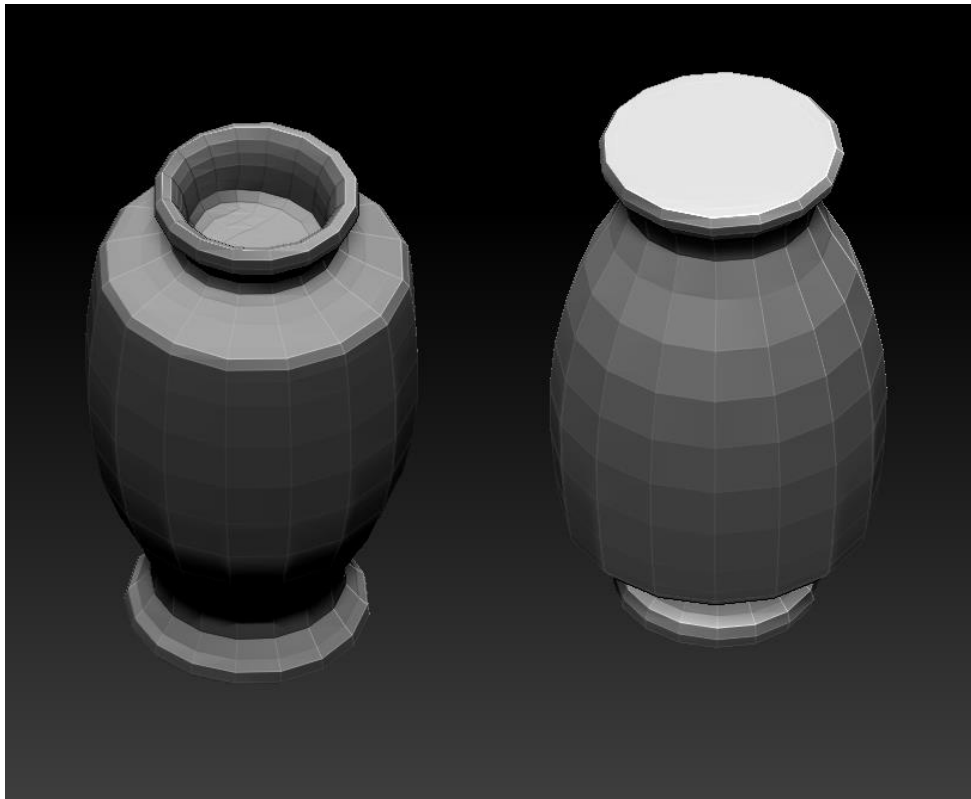


Figura 63- Topo e base do objeto Vaso Chinês após a fase de retopologia. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- maio de 2019)

O topo, e a base do vaso, não apresentavam textura por não ser possível fazer a captura da parte de baixo, e interior, do objeto. Atendendo a essa adversidade, e após os *bakes*, editaram-se os mapas em Photoshop, e adicionou-se a textura em falta com a *healing brush*, e a *patch content-aware tool*, fixando-se uma zona do mapa devidamente renderizada, e replicando para as zonas em falta. Os mapas de texturas criados encontram-se representados na figura 64, da esquerda para a direita, começando de cima para baixo: *ambient occlusion*, *UV map*, *normal map* e *albedo*.

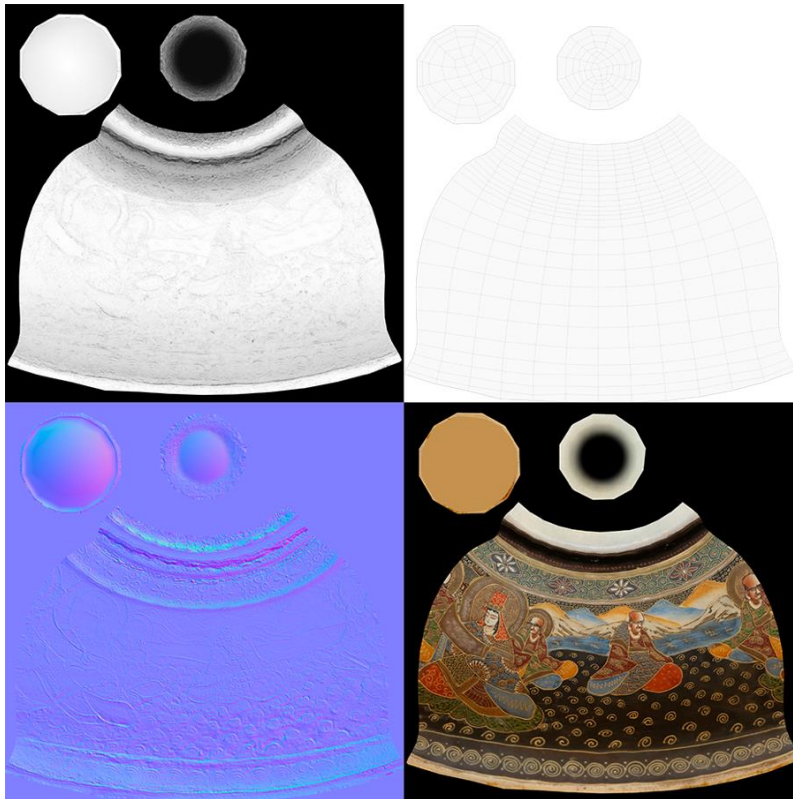


Figura 64- Mapas de texturas da fase de *baking* do objeto Vaso chinês. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- maio de 2019)

Na fase final de criação do *prefab* não ocorreu nenhum imprevisto, o que confirmou estar o *asset* pronto para implementação em qualquer projeto. Conseguiu-se o resultado final que se pode observar na figura 65, por ordem da esquerda para a direita: *wireframe*, *shaded wireframe* e *shaded*.

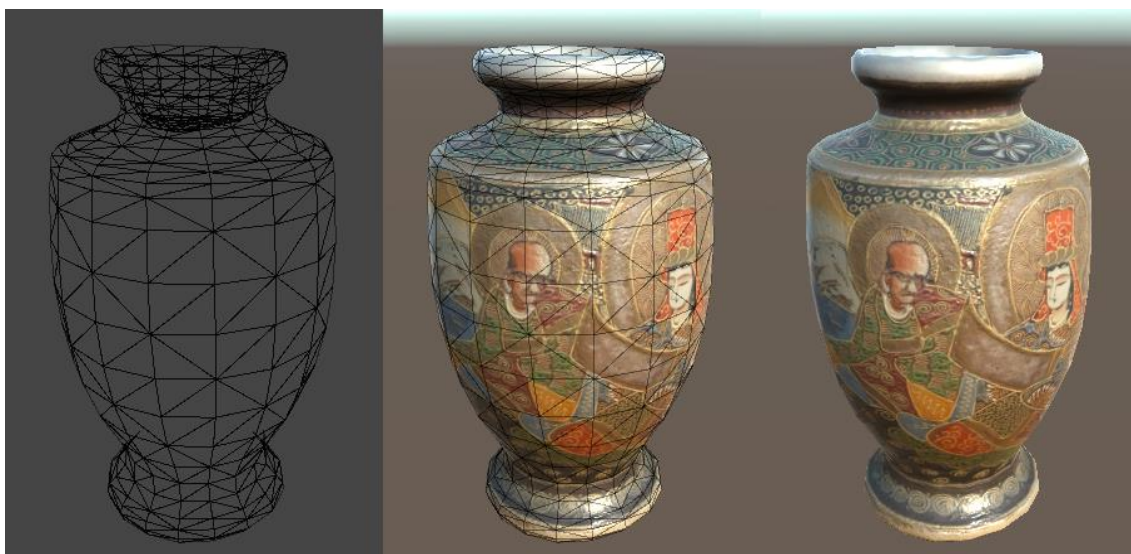


Figura 65- Visualização final do objeto Vaso Chinês implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- maio de 2019)

Na tabela em baixo encontram-se apresentadas as anotações da aplicação, e tempos de produção, juntamente com alguns comentários mais pormenorizados de cada fase do percurso do modelo final do objeto em questão.

Tabela 8- Anotações da construção final do objeto Vaso Chinês

Fase	Realizado (sim/não)	Duração	Notas
Captura	sim	1 dia	173 fotografias tiradas. Sem filmagem de backup;
Pré-Processamento	não	0	
Reconstrução	sim	2 dias	
• Alinhamento	sim	2h	Sem falhas de alinhamento;
• Pontos de Controlo	não	0	
• Meshing	sim	3h	
• Texturização	sim	4h	Aplicação do Coloring (2h) e Texturing (2h);
• Simplificação	sim	1h	Filtrados vários elementos indesejados de cenário, o topo e base do vaso, com a lasso e trim tools;
• Exportação	sim	40 m	
<i>Sculping</i>	sim	3h	Houve necessidade de corrigir o topo e a base do Vaso;
Retopologia	sim	1h	Redução de 4.7 mil Polígonos para 445 polígonos;
UV e Bakes	sim	2 h	Criação do UV e baking dos mapas de <i>albedo</i> , <i>normal</i> e <i>ambiente occlusion</i> ;
Pós-Processamento	sim	2 h	Foi editada a textura de albedo para adicionar textura ao topo e base do vaso;
Motor de Jogo	sim	1 dia	Criação de um <i>prefab</i> . Verificação que o modelo foi implementado com sucesso e está apto para ser utilizado.
Tempo total de produção deste <i>asset</i>			5 dias

5.5- Tronco de árvore

Este objeto foi trabalhado durante a última semana de maio de 2019, e primeira semana de junho. A sua seleção residiu nas seguintes características que apresentava: pequenas dimensões, textura rugosa e áspera de grande relevo, e saliências com cor singular. Neste caso, procurou-se apurar da afinidade e acuidade do software de reconstrução para com o relevo vegetativo. Este objeto foi o primeiro dos que se encontravam em espaço exterior a ser processado, e o que registou mais fotografias em *close up*, com o objetivo de se dispor do máximo a resolução das imagens. O objeto pode ser observado na figura 66:



Figura 66- Fotografia do tronco de árvore utilizado para a reconstrução (fotografia pessoal tirada em Alcobaça- maio de 2019).

O fato de se encontrar em espaço exterior condicionou a iluminação face às condições atmosféricas, contudo existiu a liberdade de se circular à sua volta, o que permitiu uma captura por método *walk around*. O céu encontrava-se sem nuvens e com sol intenso, o que causou em algumas fotografias a superexposição. Estas foram editadas, corrigindo-se a exposição e o balanceamento das cores, para contornar essa adversidade. No processo de reconstrução não surgiram dificuldades, e o software conseguiu separar automaticamente o cenário do objeto em foco. Assim, não foi necessário fazer ajustes ou simplificações de malha, como se representa na figura 67.

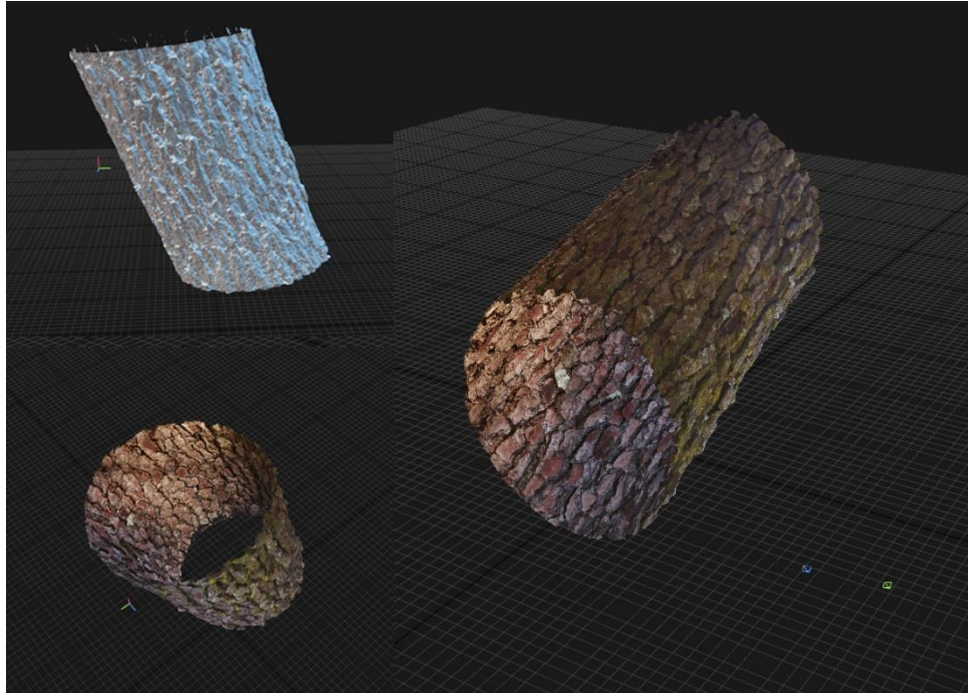


Figura 67- Modelo final da fase de reconstrução do objeto tronco de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

No entanto, na fase de sculping, surgiram vários buracos visíveis na malha que tiveram de ser fechados. Esta ocorrência deveu-se em grande parte ao grande relevo e saliências do tronco, que são zonas pouco iluminadas. A existência de zonas escuras conduziu a que o software tivesse dificuldade em reconhecer o que existia naquele espaço, e daí não conseguiu preencher a malha na sua totalidade, deixando buracos como se observa na figura 68, assinalados pelos círculos azuis.

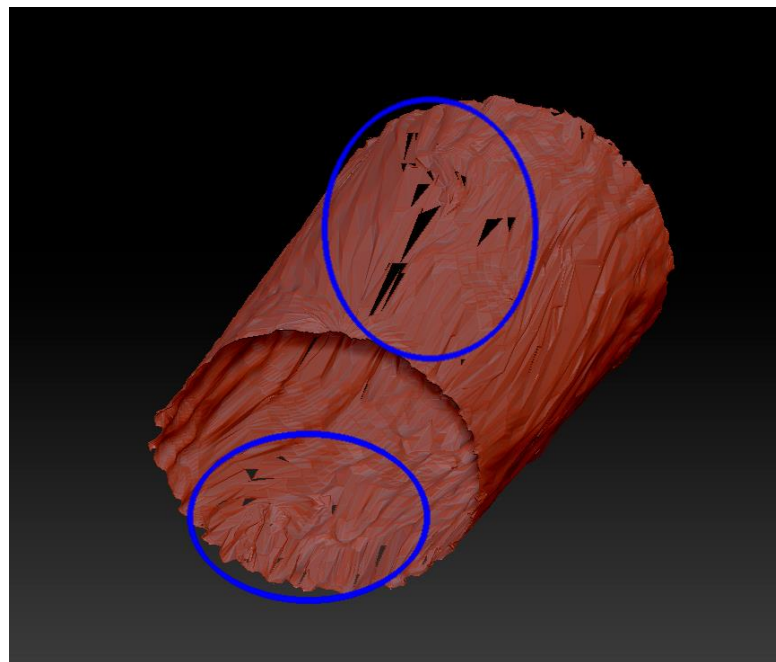


Figura 68- Erros visíveis na fase de sculping do objeto tronco de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

Ainda durante a fase de *sculpting* foram arranjados os buracos, e fechou-se o topo, e base do objeto, como se representa na figura 69. Foi utilizada a ferramenta *close holes* que automaticamente fechou os buracos, e em seguida, efetuaram-se ajustes com a *standart* e *smooth brushes* criando-se uma melhor transição na malha.

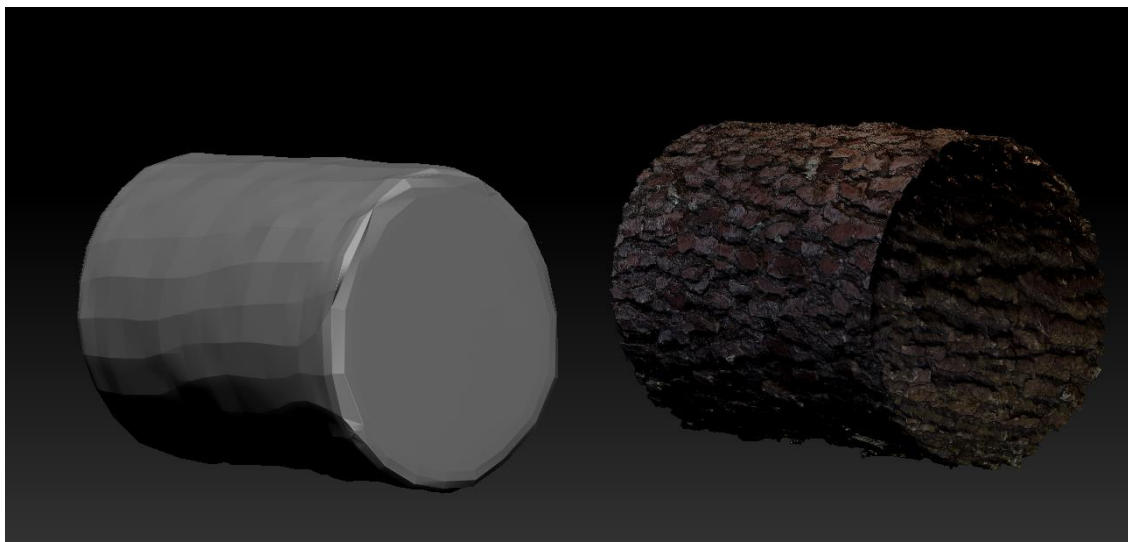


Figura 69- Fase final da retopologia do objeto tronco de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

Criaram-se os mapas na fase de bakes, e depois foram editados para acomodar a base e o topo do objeto, que não apresentavam textura devido à impossibilidade da captura do cepo do tronco, com a aplicação de *photobashing* e auxílio da *healing brush*, que replicou as zonas em falta. Apresentam-se na figura 70 os mapas renderizados, da esquerda para a direita, começando de cima para baixo, e por último o singular à direita: ambient occlusion, UV map, normal map, albedo e displacement map. Apenas para este objeto foi renderizado o mapa de *displacement*, de modo a procurar dar ênfase às rugosidades e saliências características da vegetação do tronco.

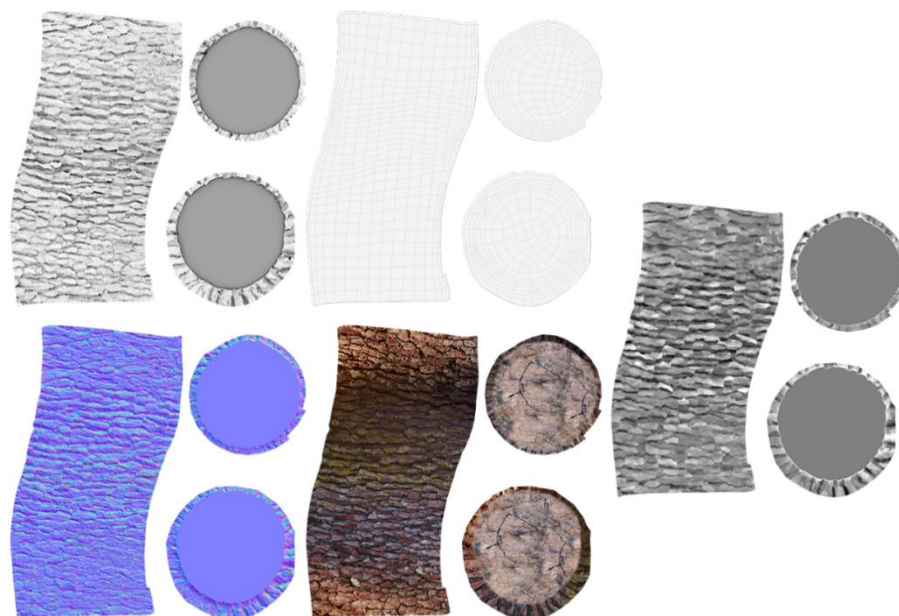


Figura 70- Mapas de texturas da fase de baking do objeto tronco de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

Por fim, o modelo foi importado para o motor de jogo, e criou-se o prefab sem que quaisquer problemas surgissem, confirmando-se assim que o objeto se encontrava em condições de ser implementado em qualquer projeto. Pode-se observar o seu resultado final na figura 71, apresentado por ordem da esquerda para a direita: *wireframe*, *shaded wireframe* e *shaded*.

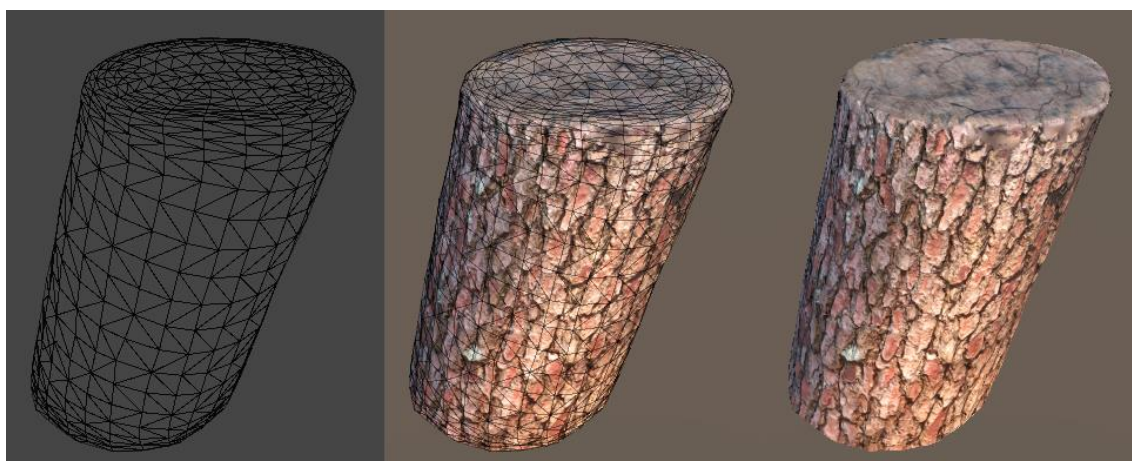


Figura 71- Visualização final do objeto tronco de árvore implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

Na tabela 9 representam-se as anotações da aplicação e tempos de produção, juntamente com alguns comentários mais pormenorizados, de cada fase do percurso do modelo final do objeto em questão.

Tabela 9- Anotações da construção final do objeto Tronco de árvore

Fase	Realizado (sim/não)	Duração	Notas
Captura	sim	1 dia	80 fotografias tiradas. Sem filmagem de backup;
Pré-Processamento	sim	1 dia	Editada a exposição e balanceamento das cores. Algumas fotografias verificavam se superexpostas;

Reconstrução	sim	1 dia	
• Alinhamento	sim	2h	Sem falhas de alinhamento;
• Pontos de Controlo	não	0	
• Meshing	sim	2h	
• Texturização	sim	2h	Aplicação do Coloring (1h) e Texturing (1h);
• Simplificação	não	0	
• Exportação	sim	40m	

<i>Sculping</i>	sim	4h	Houve necessidade de corrigir os buracos na mesh;
Retopologia	sim	1h	Redução de 4.7 mil polígonos para 887 polígonos;
UV e <i>Bakes</i>	sim	2h	Criação do UV e baking dos mapas de <i>albedo</i> , <i>normal</i> , <i>ambiente occlusion</i> e <i>displacement</i> ;
Pós-Processamento	sim	2h	Foi editada a textura de albedo para adicionar textura ao topo e base do tronco;
Motor de Jogo	sim	1 dia	Criação de um <i>prefab</i> . Verificação que o modelo foi implementado com sucesso e está apto para ser utilizado.

Tempo total de produção deste <i>asset</i>	5 dias
--	--------

5.6- Cepo de Árvore

Este objeto, do mesmo modo que o anterior, foi escolhido pelo enfoque na reconstrução de vegetação e folhagem, saliências e rugosidade, mas apresentava maior detalhe e complexidade de formas. Foi realizado no mês de junho de 2019, e pode ser observado na figura 72:



Figura 72- Cepo de árvore (fotografia pessoal tirada em Alcobaça- junho de 2019).

O fato de se encontrar no exterior viabilizou a captura por método de *walk around*. Foram registadas 80 capturas, e todas nas mesmas condições do objeto anterior, porque foram executados no mesmo dia. Assim, as fotografias deste objeto também ficaram superexpostas, o que obrigou à edição da exposição e balanceamento das cores. As capturas ficaram mais pesadas pela quantidade informação da paisagem, o que conduziu a tempos de renderizações mais altos: cerca de 4 a 5 horas em cada fase, mas sem impedimentos na sua reconstrução. Foram produzidos vários elementos do cenário ao redor como segmentos de malha a sobrevoar o objeto, assim como, a vegetação que se encontrava assente no chão, e o próprio chão. que pode se observar na figura 73.

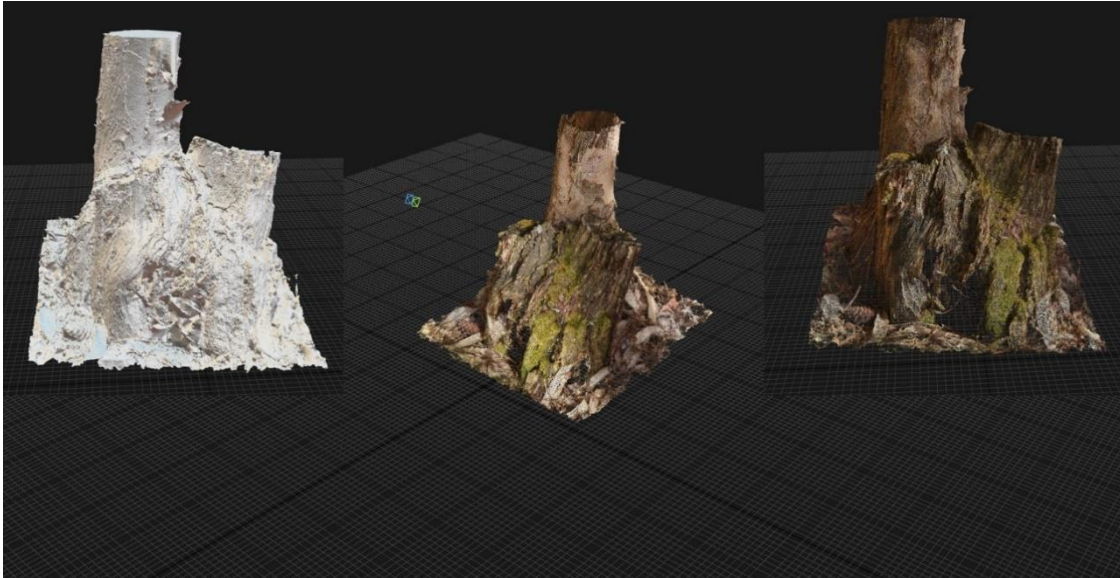


Figura 73- Resultado final da fase de reconstrução do objeto cepo de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

Alguns desses erros foram filtrados com a *lasso tool* do Reality Capture, contudo, na fase de sculping ainda se notavam segmentos de malha a sobrevoar o objeto. Neste caso, com o auxílio dos *polygroups*, como se observa na figura 74, assinalados dentro dos círculos azuis, utilizou-se a *brush*, *TrimRect*, assim como a seleção de *polygroups*, para os eliminar por *hidden objects*, e desta forma cortar-se, e remover os extras do modelo.



Figura 74- Visualização dos fragmentos de mesh indesejados do objeto cepo de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

No entanto, e apesar dos extras a sobrevoar o objeto terem sido removidos, a ferramenta de *close holes*, do Zbrush, não conseguiu fechar todos os buracos da malha automaticamente, como se observa na figura 75, assinalados dentro dos círculos azuis.

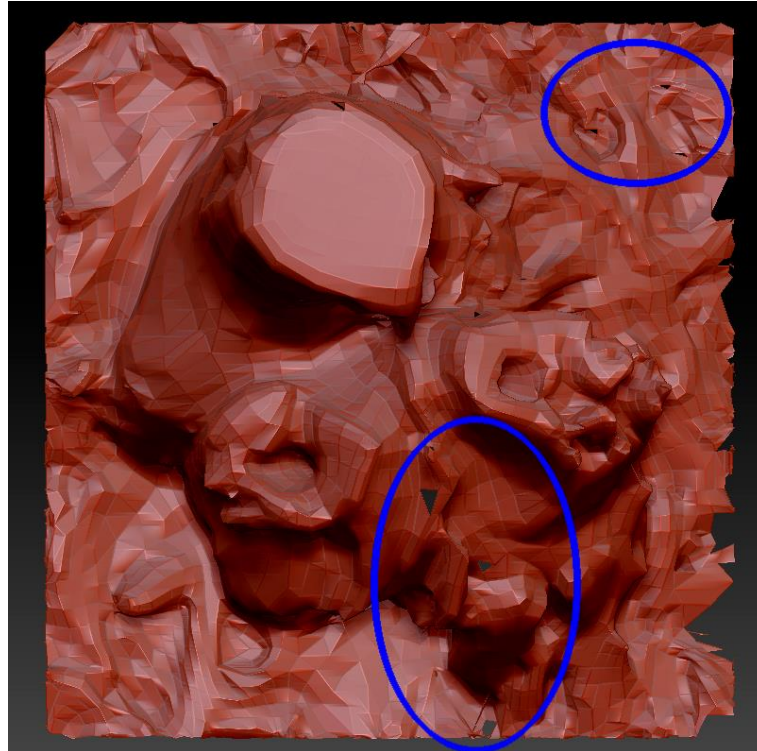


Figura 75- Visualização dos erros criados na fase de retopologia do objeto cepo de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

Devido a este problema, grande parte da reparação e retopologia deste objeto teve que ser executada manualmente no Blender. Esta correção manual conduziu ao aumento do tempo de produção para este asset. Após os arranjos no modelo foram criados os mapas de texturas. Estes foram editados para acomodar as correções, como a falta do cepo do tronco, que não apresentava textura devido à impossibilidade da captura do interior do mesmo. Foi aplicado o *photobashing* com o auxílio da *healing brush*, para replicar as zonas em falta, no Photoshop. Os mapas finais podem ser observados na figura 76, apresentados da esquerda para a direita, começando de cima para baixo: ambient occlusion, UV map, normal map e albedo.

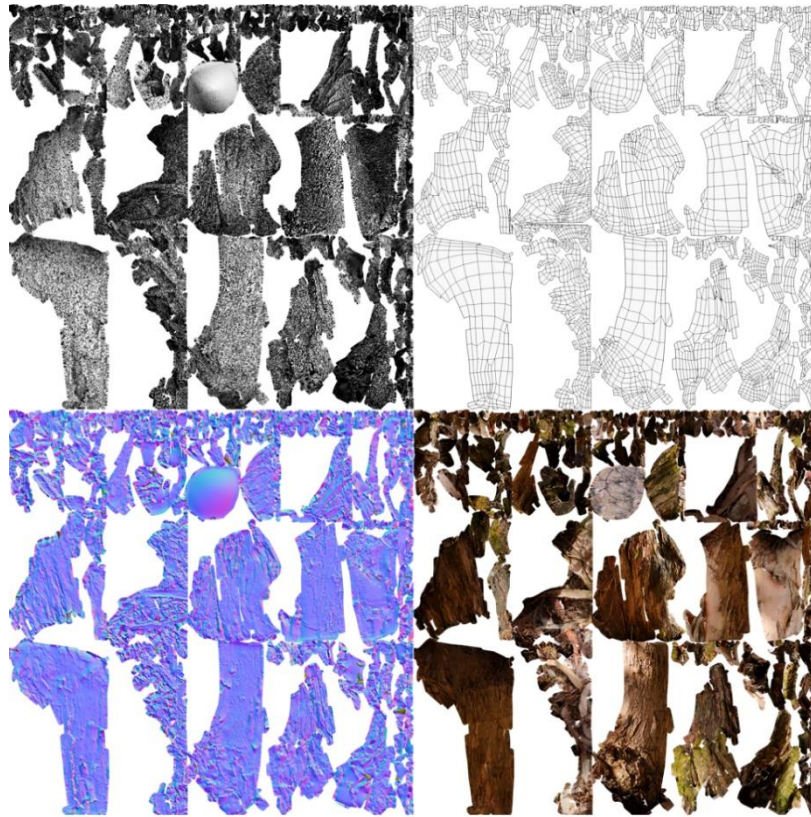


Figura 76- Mapas de texturas da fase de baking do objeto Cepo de árvore. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

Na fase final de implementação foi criado o *prefab* no Unity, confirmando-se que o *asset* estava apto para implementação em qualquer projeto. Pode ser observado na figura 77, por ordem da esquerda para a direita em *wireframe*, *shaded wireframe* e *shaded*.

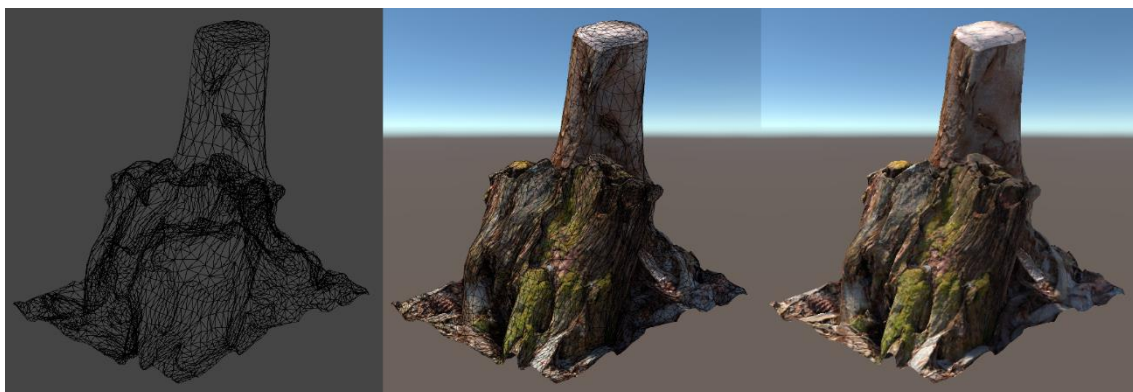


Figura 77- Visualização final do objeto cepo de árvore implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

Na tabela em baixo apresentam-se as anotações da aplicação, e tempos de produção, juntamente com alguns comentários mais pormenorizados de cada etapa do modelo final.

Tabela 10- Anotações da construção final do cepo de árvore

Fase	Realizado (sim/não)	Duração	Notas
Captura	sim	1 dia	80 fotografias registadas. Sem filmagem de backup;
Pré-Processamento	sim	1 dia	Editada a exposição e balanceamento das cores. Algumas fotografias verificavam se superexpostas;
Reconstrução	sim	2 dias	
• Alinhamento	sim	4h	Sem falhas de alinhamento;
• Pontos de Controlo	não	0	
• Meshing	sim	5h	
• Texturização	sim	4h	Aplicação do Coloring (2h) e Texturing (2h);
• Simplificação	sim	2h	Filtrados vários elementos indesejados a sobrevoar, com a lasso tool;
• Exportação	sim	1h	
<i>Sculping</i>	sim	6h	Houve necessidade de remover partes extra do cenário e erros na mesh;
Retopologia	sim	5h	Houve necessidade de retopologia manual em certas zonas pela complexidade da malha do modelo. Redução de 501 mil polígonos para 5 mil polígonos; redução manual em blender para 4 mil polígonos;
UV e Bakes	sim	2h	Criação do UV e baking dos mapas de <i>albedo</i> , <i>normal</i> , <i>ambiente occlusion</i> ;
Pós-Processamento	sim	2h	Foi editada a textura de albedo para adicionar textura ao topo do tronco do cepo;
Motor de Jogo	sim	1 dia	Criação de um <i>prefab</i> . Verificação que o modelo foi implementado com sucesso e está apto para ser utilizado.
Tempo total de produção deste <i>asset</i>			7 dias

5.7- Estátua da criança

Este objeto foi o último a ser trabalhado. Foi produzido durante o final do mês de junho, e durante o mês de julho de 2019. Determinou-se aplicar a sua reconstrução utilizando ambas as técnicas, a de fotogrametria, e a tradicional. O objetivo assentou em suportar a análise do potencial da fotogrametria na modelação 3D, e permitir aferir a diferença dos tempos de produção, assim como, a qualidade final produzida das texturas. A sua seleção consistiu nas características que apresentava: pequenas dimensões, textura em pedra e metal, cor singular, inexistência de qualquer fenda na sua estrutura, e, por fim, a correlação com a anatomia humana, que permitem a sua construção por método tradicional. O objeto pode ser observado na figura 78:



Figura 78- Estátua Criança (fotografia pessoal tirada no Parque do Campo Grande, Lisboa- junho de 2019).

Por se encontrar em espaço exterior permitiu o método de captura por *walk around*. Apresentou como restrições a iluminação, e condições as atmosféricas. O cenário foi semelhante ao dos anteriores objetos capturados no exterior, e, também neste caso, foi necessário editar a exposição e o balanceamento das cores de algumas fotografias.

A reconstrução foi iniciada, mas os primeiros testes foram negativos, e não se conseguiu definir o objeto, como é perceptível na figura 79:

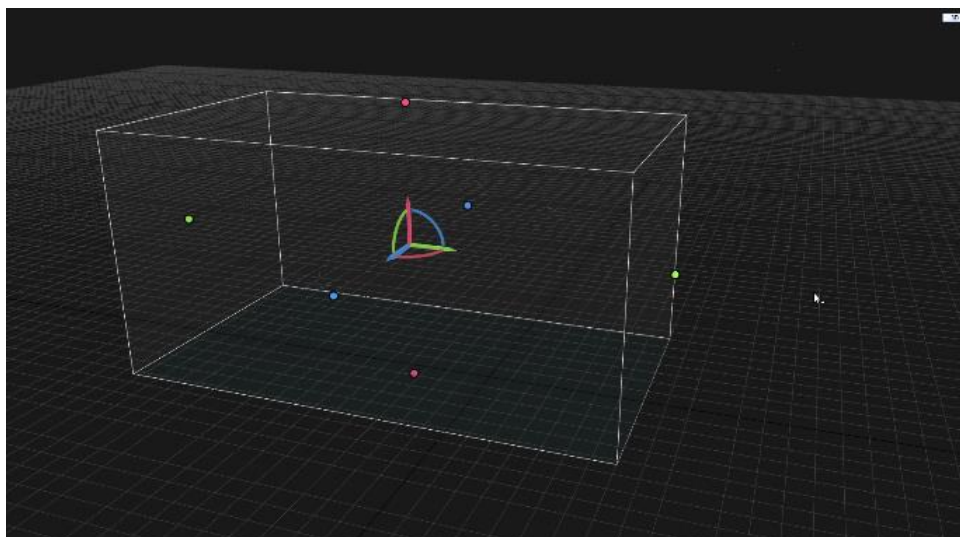


Figura 79- Visualização da falha de alinhamento do objeto estátua da Criança. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- junho de 2019)

Este problema não foi possível identificar a sua causa. Foi explorada a possibilidade de ter resultado de má captura inicial, ou de resultar de diferentes componentes do Reality Capture, no entanto nenhuma destas hipóteses esclareceu o porquê do resultado. Posto isso, e como existia a possibilidade de se recapturar, graças à proximidade ao local, foi feita uma nova visita. e registadas novas capturas. Com estas, a segunda reconstrução foi produzida sem qualquer tipo de advertência, conforme se pode verificar na figura 80:

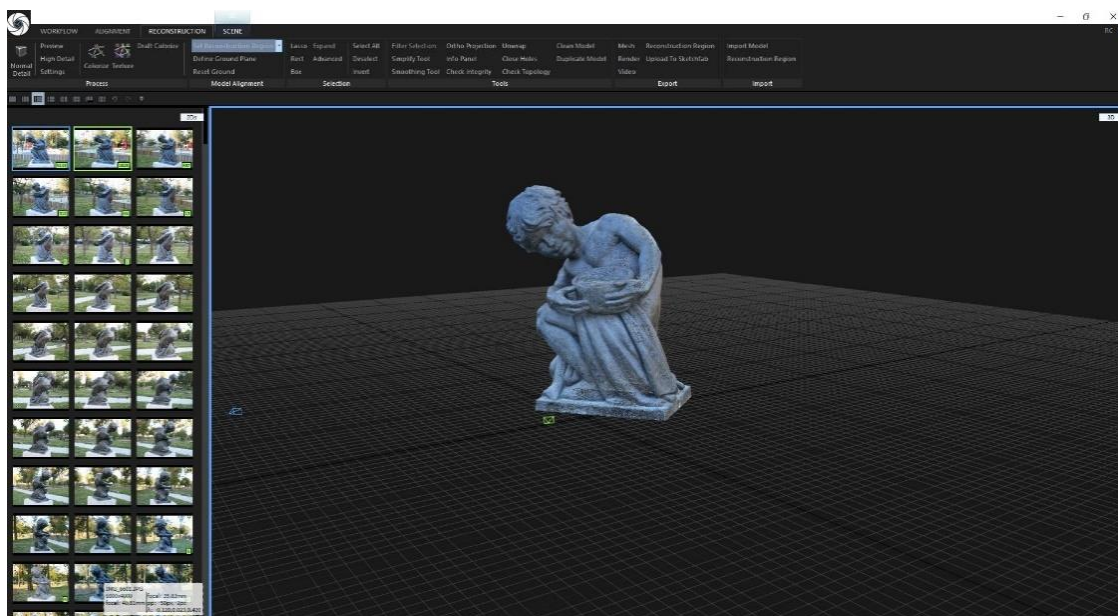


Figura 80- Modelo final da fase de reconstrução do objeto estátua da criança. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Durante o processo de reconstrução da estátua, e em contraste com os anteriores, conseguiu-se eliminar o cenário por completo, sem se ter criado fragmentos a sobrevoar o mesmo. Apenas surgiu como extra indesejável a superfície onde se encontrava o objeto. Esta, removeu-se por

filtragem com a *lasso tool*, como se pode observar na figura 81, criando um buraco na base do modelo.

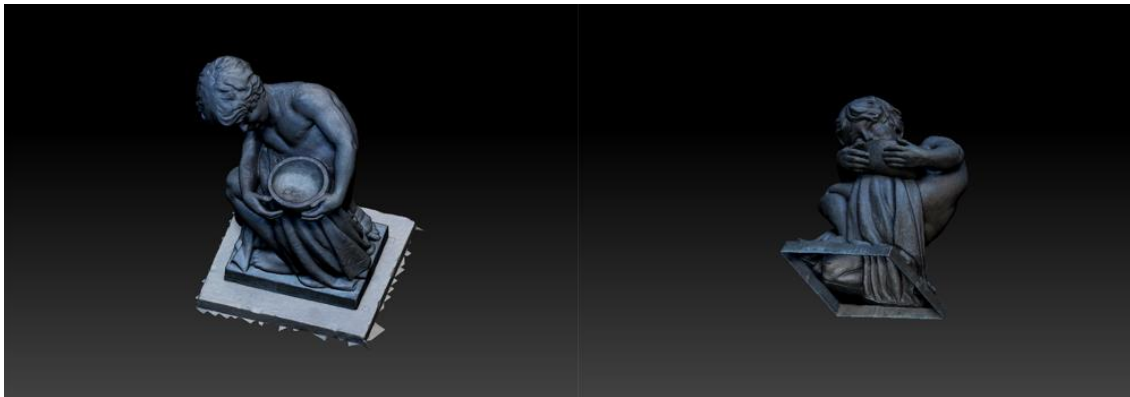


Figura 81- Visualização do erro e remoção da base do objeto estátua da criança durante a fase de reconstrução. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Na fase de *sculpting* procurou-se arranjar e fechar o buraco. Foi utilizada a ferramenta *close holes*, e realizadas as retificações com a *brush clay buildup* de modo a recuperar a forma, e criar uma transição mais suave na malha, obtendo-se o resultado representado na figura 82:

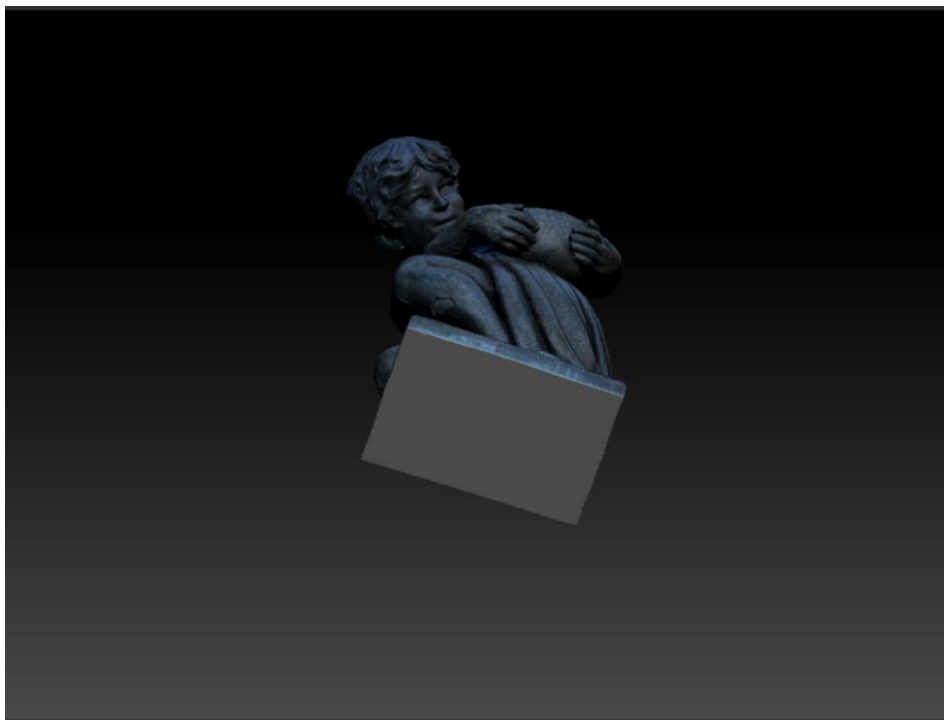


Figura 82- Visualização do arranjo da base do objeto estátua da criança durante a fase de sculpting. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Executados os arranjos aplicou-se a retopologia, e de seguida criados os UV's. Contudo, na criação dos mapas verificou-se que os braços da estátua se sobrepunham ao corpo, e tal dificultava a execução dos bakes de texturas. Para contornar esta situação, optou-se por gerar os UV's por *light map pack*, isto é, criando mapas divididos por cada face do objeto, conforme

se verifica na figura 83, da esquerda para a direita, começando de cima para baixo: ambient occlusion, UV map, normal map, albedo:

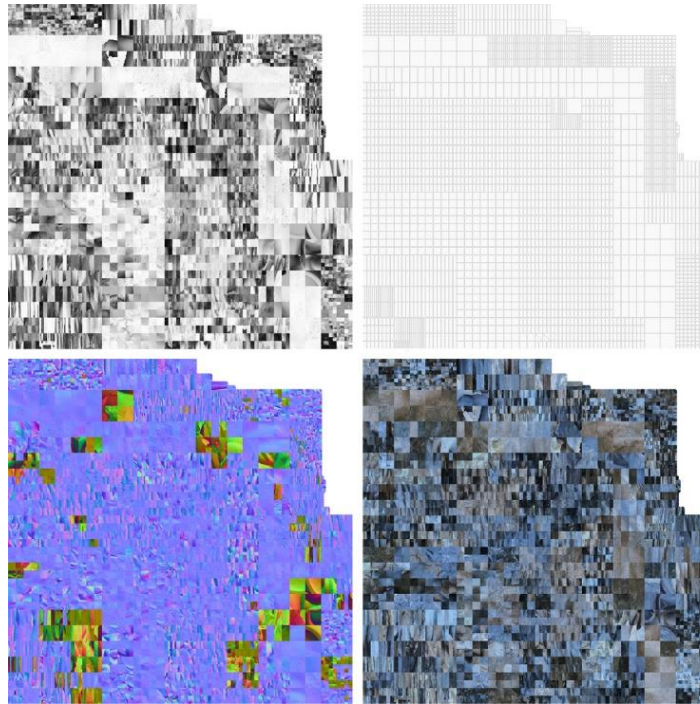


Figura 83- Mapas de texturas da fase de baking do objeto estátua da criança. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Na fase final de implementação criou-se o *prefab* no motor de jogo Unity, confirmando que o *asset* estava apto para implementação em qualquer projeto. Este, pode observado na figura 84, por ordem da esquerda para a direita em *wireframe*, *shaded wireframe* e *shaded*.

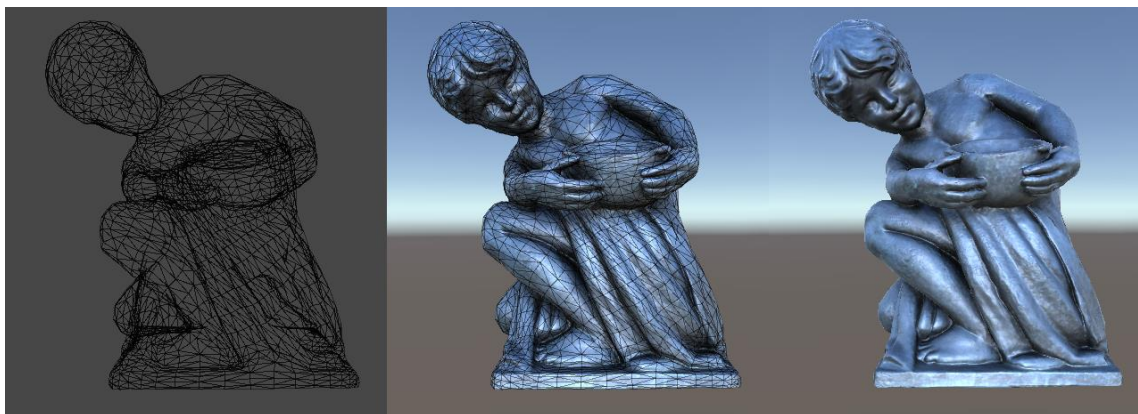


Figura 84- Visualização final do objeto estátua da criança implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Na tabela 11 apresentam-se as anotações da aplicação, e tempos de produção, a que se juntam comentários que pormenorizam cada fase do percurso do modelo final deste objeto.

Tabela 11- Anotações da construção final do objeto estátua da criança

Fase	Realizado (sim/não)	Duração	Notas
Captura	sim	2 dias	230 fotografias tiradas. 112 na primeira captura e 118 na segunda. Sem filmagem de backup;
Pré-Processamento	sim	1 dia	Editada a exposição e balanceamento das cores. Algumas fotografias verificavam se superexpostas;
Reconstrução	sim	2 dias	
• Alinhamento	sim	4h	Primeiro alinhamento falhou (2h) com 112 fotografias, levando a recapturar o objeto por completo. Segundo alinhamento não teve falhas (2h);
• Pontos de Controlo	não	0	
• Meshing	sim	4h	
• Texturização	sim	4h	Aplicação do Coloring (2h) e Texturing (2h);
• Simplificação	sim	2h	Necessidade de remoção da base e extras;
• Exportação	sim	3h	Problemas na exportação, foi necessário retexturizar;
<i>Sculping</i>	sim	2h	Houve necessidade de corrigir a base da mesh;
Retopologia	sim	1h	Redução de 508 mil polígonos para 4 mil polígonos;
UV e <i>Bakes</i>	sim	2h	Criação do UV e baking dos mapas de <i>albedo</i> , <i>normal</i> , <i>ambiente occlusion</i> ;
Pós-Processamento	sim	2h	Foi editada a textura de albedo para adicionar textura a base da estátua;
Motor de Jogo	sim	1 dia	Criação de um <i>prefab</i> . Verificação que o modelo foi implementado com sucesso e está apto para ser utilizado.
Tempo total de produção deste <i>asset</i>			7 dias

5.7.1- Técnica tradicional

Explorando a aplicação técnica tradicional através do objeto estátua da criança, salienta-se que, como já referido no workflow de fotogrametria, as fases de aquisição e reconstrução, são inerentes à técnica de fotogrametria. Tendo isso em conta, o processo prático iniciou-se na fase de sculping.

Foram necessárias imagens de referência para se começar a construir o objeto, e utilizaram-se as capturas prévias da técnica anterior. Note-se que, em outra situação, seria necessário despende tempo a capturar, ou a procurar imagens de orientação. Assim, utilizaram-se as capturas como base para se encetar a escultura. Iniciou-se com *zspheres*, para conceber-se uma malha inicial para esculpir, como demonstra a figura 85:

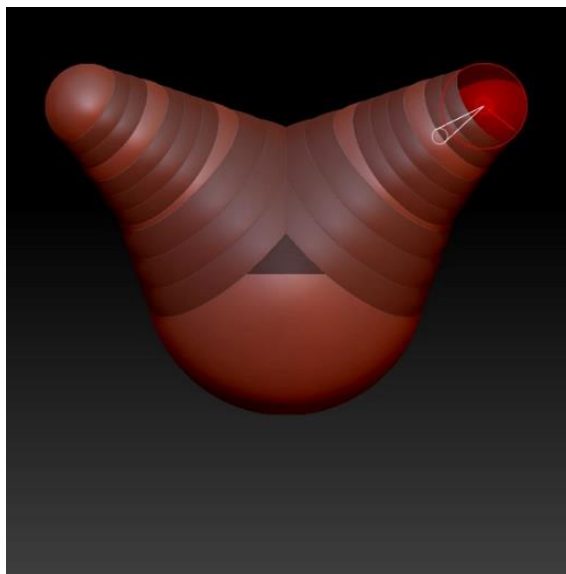


Figura 85- Início da construção do modelo, por método tradicional, utilizando zspheres. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Na primeira etapa, procurou-se reproduzir a silhueta do objeto de forma a ficar o mais semelhante possível, isto antes de começar a subdividir o modelo. Neste sentido, utilizaram-se as imagens das capturas em fundo como referência do objeto. Foi criada com as *zspheres* uma figura linear, relacionada à coluna da estátua, e aplicou-se a *adaptive skin*, transformando as *spheres* em malha de polígonos. Criaram-se subdivisões no sentido de dispor mais malha, para se poder continuar a adicionar mais forma ao modelo com as *brushes*. Particularizando: a *clay buildup* para dar altura e forma a áreas; a *inflat* para criar altos mais drásticos, avolumando a malha; a *move para* agarrar elementos, e deslocar ou rodar de sítio; a *smooth para* suavizar os movimentos executados pelas outras *brushes*, e reparar estragos que estivessem a ser aplicados; a *trim adaptive* para alisar a superfície, e especificamente foi utilizada durante a criação da base; e a *dam standart* para criar as covas, e estreitar partes da malha. Alterou-se várias coisas, e verificou-se, a todo o momento, a correspondência para com a forma original, conforme se representa na figura 86:

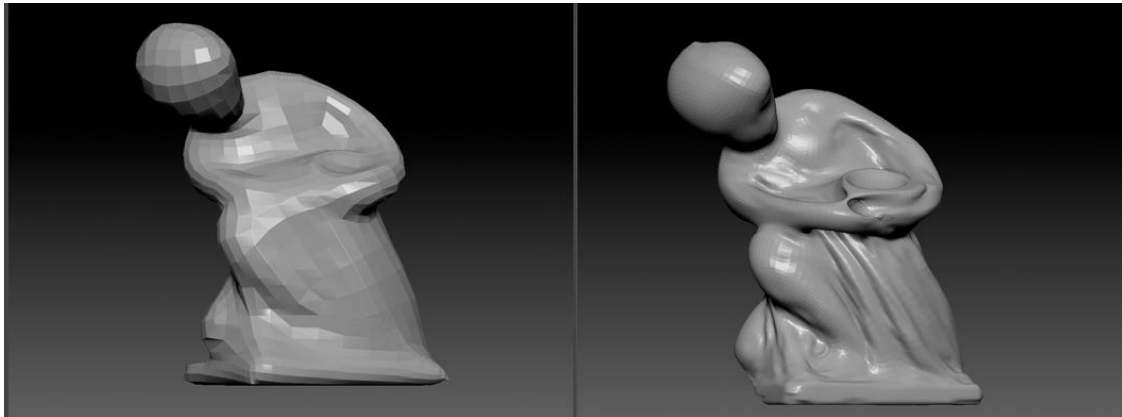


Figura 86- Visualização do processo de criação da estátua da criança por método tradicional. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Modificar as malhas é mais fácil quando a contagem de polígonos ainda é baixa, por esse motivo, elaboraram-se aberturas de forma a compor a silhueta, e serem esculpidos os braços e posteriormente os dedos. Estas criaram-se mascarando-se as áreas em questão com a *masking tool*, e, invertendo-se a seleção das mesmas, extraíndo-as. Criou-se uma nova sub-ferramenta com as peças que selecionadas. Os buracos foram tapados com a ferramenta de *close holes* formando-se os *loops* que se pretendiam.

Com a forma e posicionamento definidos, iniciaram-se mais subdivisões para se passar a introduzir mais detalhe. Procurou-se delinear a taça que surge na mão, visto que este pormenor ajudaria no processo de criação das mãos e dedos. Definiu-se depois a cara, e o formato do cabelo, assim como as feições dos vincos da túnica. Este processo prolongou-se com o subdividir aprofundado da malha, e com a constante adição de detalhe, como se pode observar na figura 87:



Figura 87- Visualização do processo de adição de detalhe da estátua da criança por método tradicional. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Com o modelo terminado, duplicou-se, e aplicou-se a retopologia na cópia. Ambos os modelos, high e low poly, foram exportados. Sucedeu a criação das texturas. Podia-se optar por apenas executar a *photobashing* das capturas fotográficas, e aplicar e este modelo, contudo, preferiu-se considerar que este objeto seria criado sem fatores da aplicação da técnica fotogramétrica,

para coerência, e uniformidade das análises dos tempos de produção. Tendo isto em conta, foi necessário criar novas texturas. Importou-se o modelo high poly criado, para o software Substance Painter, e criaram-se as texturas aproximadas às imagens referência, como se representam na figura 88, da esquerda para a direita, começando de cima para baixo, e singular: ambient occlusion, UV map, normal map, albedo e metallic. Apenas para este objeto foi renderizado o mapa de *metallic*, de modo a procurar dar a textura metalizada da estátua.

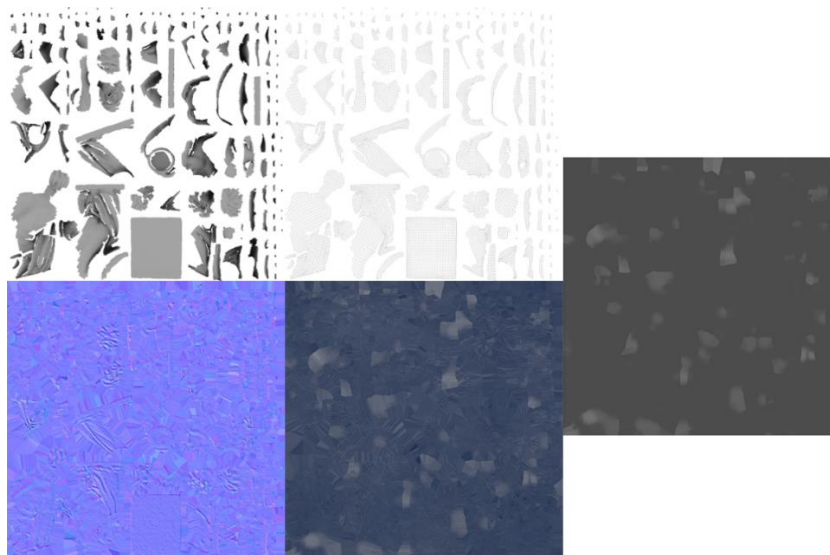


Figura 88- Mapas de texturas da fase de baking do objeto estátua da criança por método tradicional. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Por fim, o modelo foi importado para o motor de jogo, e criou-se o *prefab* sem que quaisquer problemas surgissem, confirmando que o objeto estava apto para ser implementado em qualquer projeto, como se observa na figura 89, por ordem da esquerda para a direita: wireframe, shaded wireframe e shaded:

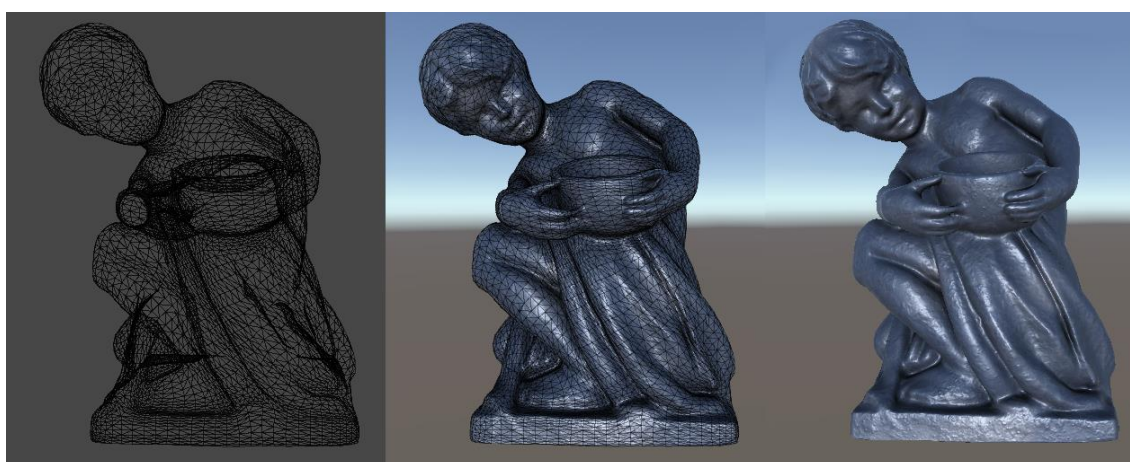


Figura 89- Visualização final do objeto estátua da criança, por método tradicional, implementado no motor de Unity. (captura de ecrã pessoal, Lisboa- julho de 2019)

Na tabela 12 apresentam-se as anotações da aplicação, e tempos de produção, juntamente com alguns comentários mais pormenorizados de cada fase do percurso de trabalho do objeto em questão.

Tabela 12- Anotações da construção final do objeto estatua da criança por método tradicional

Fase	Realizado (sim/não)	Duração	Notas
Captura	sim	2 dias	Foram utilizadas as capturas e edições das fotografias já realizadas no processo de fotogrametria deste objeto;
Pré-Processamento	sim	1 dia	
Sculping	sim	4 dias	Iniciou-se o processo nesta fase
Retopologia	sim	2 dias	Redução de 477 mil polígonos para 9 mil polígonos;
<i>UV e Bakes</i>	sim	2h	Criação do UV e baking dos mapas de <i>albedo, normal, ambiente occlusion e metallic</i> ;
Pós-Processamento	sim	3 dias	Foi criada as texturas novas no Substance Painter;
Motor de Jogo	sim	1 dia	Criação de um <i>prefab</i> . Verificação que o modelo foi implementado com sucesso e está apto para ser utilizado.
Tempo total de produção deste <i>asset</i>			14 dias

5.8- Observações finais

A partir dos dados obtidos, torna-se possível confrontar os modelos finais com os seus objetos reais das capturas fotográficas. Os modelos finais gerados pela técnica de fotogrametria apresentam feições e traços idênticos aos originais, e não é perceptível qualquer diferença de proporções. No que corresponde às suas texturas, todos os objetos exibem qualidade de fotorrealismo, sem aparências e indícios de pintura ou de imitação. Assinala-se diferenciações de coloração originadas pela não otimização dos processos de pré-produção das fotografias, que não foram removidas na sua totalidade de forma a se aproximarem das cores ambientais. São exemplo os casos consequentes da luz solar, ou luzes de outras fontes artificiais, falha de equipamentos, e utilização de *greenscreen*. Nota-se que a simetria entre as texturas, e as suas capturas, foram uniformes, e reproduziram-se réplicas nítidas das fotografias dos objetos reais. Na seguinte tabela apresenta-se o levantamento dos tempos de produção final de cada objeto, e a contagem final da quantidade de polígonos.

Tabela 13- Tabela comparativa dos assets gerados por técnica de fotogrametria, durante este projeto.

	Cavaleiro	Predela	Vaso Chinês	Tronco	Cepo
Tempos finais de produção	6 dias	8 dias	5 dias	5 dias	7 dias
Número de polígonos	2.264	34.007	1286	867	4.188

Constata-se que a média de tempo de produção dos *assets* por técnica fotogramétrica foi de 6 dias, e que os valores de polígonos são admissíveis para a implementação num jogo fotorrealista. Salienta-se, que a fase de retopologia, referente à redução do número de polígonos, não foi otimizada devido a restrição do tempo existente para a produção deste projeto. A aplicação manual da retopologia produziria melhores resultados na disposição das malhas, à custa de maiores tempos de produção.

Apona-se ainda, que o objeto do Anjo Turiferário foi removido destas análises por não ter sido possível a sua finalização.

Sobre o objeto estátua da criança, este foi utilizado com o intuito de aplicar ambas as técnicas, e na intenção de inferir sobre as capacidades que a fotogrametria apresenta para o campo da modelação 3D. Ambos os *assets* encontram-se otimizados e funcionais, contudo apresentam entre si pequenas diferenças de qualidade e aparência. Ao nível do detalhe, constata-se que o modelo produzido por técnica de fotogrametria apresenta um ligeiro nível superior de feições e traços, e exhibe traços e proporções mais idênticos, e assim, exhibe maior semelhança ao objeto real. Na tabela 13 expõe-se o levantamento dos tempos de produção final, e a contagem final da quantidade de polígonos entre ambas as técnicas.

Tabela 13- Tabela comparativa do asset da Estátua da Criança, gerado por ambas as técnicas, durante este projeto.

	Estátua da Criança (Fotogrametria)	Estátua da Criança (Tradicional)
Tempos finais de produção	7 dias	14 dias
Número de polígonos	4.257	9.559

No que respeita à malha, ambos evidenciam uma diferença relativa à contagem de polígonos, porém não significativa, expondo ambos valores aceitáveis para implementação num jogo fotorrealista. O fator de maior diferença assenta nos tempos de produção. O tempo de produção do objeto trabalhado através da técnica de fotogrametria foi de aproximadamente uma semana. O tempo criado por técnica tradicional levou perto de duas semanas. Leva-se em conta, nesta leitura, a produção dos vários testes realizados em cada uma das reconstruções por fotogrametria, em que o tempo médio foi de dez dias.

Em suma, infere-se que a média de tempo de criação de um asset fotorrealista utilizando-se a técnica de fotogrametria é inferior em cerca de metade do tempo. Ao se examinar, e desconstruindo ambos os processos, observa-se que a técnica tradicional despende muito tempo na fase inicial de escultura, e na fase de criação de novas texturas, onde ambas estão dependentes da experiência do artista, já a fotogrametria acelera o processo correspondente a essas fases ao reconstruir o objeto, e as texturas do mesmo, na sua fase inicial.

6- Conclusão

A pergunta de investigação deste projeto assentou no objetivo de aferir da viabilidade, e qualidade, do método de fotogrametria no desenvolvimento de assets 3D, em ambiente amador, e no propósito de poderem ser implementados em futuros projetos de videojogos. Neste sentido, empregou-se uma metodologia de trabalho assente em cinco fases, e orientadas para o método de estudo de caso: definição do problema; delineamento da pesquisa; recolha de dados; análise dos dados; composição e apresentação dos resultados.

Procedeu-se a uma pesquisa da evolução histórica da técnica de fotogrametria, assim como, do estado da arte da técnica fotogramétrica. A literatura analisada revelou novas questões, que se tornaram pertinentes como objetivos: criar registo de apoio à aplicação da técnica de fotogrametria; analisar a viabilidade, e capacidade, da fotogrametria em comparação com a técnica tradicional. Com esse intuito, procurou-se primeiramente sistematizar os passos do método de criação de modelos 3D através de fotografias. Este processo ficou definido num *workflow*, nas seguintes fases: planeamento; aquisição; reconstrução; sculping e retopologia; pós-processamento e motor de jogo.

Executaram-se todas as etapas, de forma detalhada, na construção de sete objetos selecionados, para melhor entender as características, regras, limitações, tempos de trabalho, resultados e qualidade produzidos pela técnica de fotogrametria.

Estes objetos foram, e na sua ordem de execução: cavaleiro medieval, anjo turiferário, predela da paixão de cristo, vaso chinês, tronco de árvore, cepo de árvore e estátua da criança. A aplicação dos procedimentos resultou em que foram concluídos seis, os quais vieram a ser preparados para implementar em projetos futuros de videojogos.

A reconstrução proposta do objeto anjo turiferário não foi possível de finalizar. Esta exceção resultou de lapsos na sua captura inicial, e da impossibilidade de deslocação para recaptura, visto tratar-se de um objeto de exposição no museu Machado dos Reis o que limitou os tempos de registos e contacto direto com o objeto na sala em que se encontrava. Outro consistiu na impossibilidade de captura por *walk around* em 360°, que complicou a captura das zonas posteriores e topo. Juntam-se aos anteriores as condições de controlo de luz, e o equipamento disponível. Estes obstáculos acabaram por ser sentidos de forma acentuada durante a fase de meshing, ao se constatar falhas de malha que obrigaram a remendos, e consequentemente a tempos de produção demasiado elevados, e que conduziu a se determinar cancelar da sua execução.

Em resposta à análise comparativa proposta, entre ambas as técnicas, foi definido o último objeto executado, a estátua da criança, onde se aplicou o método da técnica tradicional.

Ao finalizar a componente prática deste projeto, foram apresentados os resultados obtidos da amostra escolhida. Para cada objeto, foram expostas observações de cada etapa, e criado um levantamento de dados quantitativos e qualitativos, do número total de polígonos, e dos tempos de produção e qualidade das texturas.

Concluiu-se, a partir dessa análise, das vantagens da aplicação da técnica de fotogrametria para a área do 3D. Esta técnica viabiliza a construção de melhores *assets* fotorrealistas, mesmo em ambiente amador. Os modelos construídos apresentaram uma maior proximidade às formas reais, assim como, a texturização exibiu melhor qualidade de resolução, e expôs naturalidade aos materiais. Apurou-se ainda, que a técnica permitiu a redução dos tempos de produção em cerca de metade da duração tradicional, em particular, nas fases de construção do high poly, retopologia e de texturização. Este fato auxilia o trabalho dos artistas 3D. Outro ponto a salientar, trata-se da alteração do foco de trabalho, que deixa de estar tão dependente da capacidade artística, ou seja, da escultura e desenho, para se enquadrar mais em aspectos técnico, como as regras e boas condutas de aplicação de capturas fotográficas, e de reconstrução, o que permite maior abrangência de ofícios. Salienta-se ainda, que a técnica pode ter uma função híbrida, por ajudar a componente de criatividade dos artistas, permite a sua utilização na construção de objetos, que serviam apenas como base, ou inspiração, na criação de novos através da técnica tradicional.

A aplicação da fotogrametria, em ambiente amador, traz, contudo, alguns inconvenientes e limitações. Neste projeto, citam-se os custos de equipamento fotográfico, e software informático, que conduziram à privação de ferramentas como *greenscreens* e *farms*, tornando as fases de pré-processamento e *meshing*, mais demorosas. Não houve disponibilidade de recurso a drones, ou estúdios de câmaras, que obstou à prática dos restantes métodos de captura de *aerial*, e *photobooth*, limitando a seleção da amostra, a objetos de pequeno e médio porte. Por fim, a necessidade de tempo de aprendizagem, que se apresentou como uma adversidade, uma vez que se tratou de uma técnica com softwares desconhecidos do autor, e que requer experiência em áreas diferentes da técnica tradicional.

Sobre das desvantagens da própria fotogrametria, e em comparação com a tradicional, observou-se na necessidade de deslocamentos às zonas de captura. Em concreto, as restrições de acesso aos locais onde os objetos se encontravam, no número de sessões de registo, na necessidade em se refazer sessões, e na distância, carregamento de equipamento e custos do transporte. Em todos os objetos, estas situações dificultaram a realização das reconstruções, ao impedir o contacto, ou limitando as condições de espaço e iluminação. Assinale-se também a impossibilidade de se reconstruir objetos refletores em função do software não conseguir definir os objetos, e separá-los das capturas. Some-se também o fato da zona inferior, isto é, a superfície base dos objetos, não se conseguir capturar, obrigando à edição da malha e criação de texturas para as mesmas.

Conclui-se, reconhecendo a técnica da fotogrametria como uma mais valia na área da modelação de 3D, e como tal, na indústria dos jogos digitais. A fotogrametria melhora a representação com naturalidade, e qualidade dos objetos, e acelera o processo de construção de *assets* fotorrealistas. Este trabalho procurou dar um contributo sobre as possibilidades de utilização da fotogrametria em ambiente amador, no contexto da indústria dos jogos digitais, explorando uma técnica, que disponibiliza novos recursos ao artista na criação de *assets fotorrealistas* para jogos.

6.1- Trabalhos futuros

Face aos resultados observados, e com conhecimento desta nova técnica, sobrevem uma oportunidade da sua aplicação em novos trabalhos dentro da área da modelação 3D. Nada ficou terminado, pelo contrário, trata-se de uma porta aberta. Existem muitos caminhos para explorar, em particular, no campo de produção de jogos sérios e educativos, na área da impressão 3D e da realidade virtual. A utilização da técnica de fotogrametria proporciona, como se constatou ao longo deste projeto, pese as suas limitações, uma oportunidade para freelancers, e empresas indie, de usufruírem de uma ferramenta que lhes permite, com menos recursos, e menor tempo de produção, criar objetos fotorrealistas, ou seja, a partir de pequenos orçamentos consegue-se a realização de projectos diversos, que envolvam a criação de novos mundos e *assets* de videojogos e VFX e cinema.

Outros caminhos surgem como possibilidades a explorar, como o desenvolvimento de aplicações, ou estudos futuros, nos quais se encontram a aplicabilidade na documentação da herança cultural em 3D para museus virtuais nas adaptações do espólio histórico para aproveitamento em jogos educativos e sérios, na reconstrução de objetos para aplicação de impressão 3D, e na recriação de zonas históricas e épocas em jogos de realidade virtual.

Outros cenários que importa descobrir, em ambiente amador, são a digitalização de objetos por varrimento de scanner em vez de fotografia. Relativamente a este tipo de aplicações, alguns já são empregues na área dos jogos digitais por empresas triple A, como é o caso do jogo *Assassin's Creed*, da empresa Ubisoft, que utilizou a técnica de fotogrametria para ajudar na reconstrução das texturas e fachada da catedral de Notre Dame para *assets* de jogo.

Para finalizar, importa referir que é complexo entender qual será o caminho que a fotogrametria irá tomar no seu futuro na área do vídeo jogos, uma vez que é uma técnica, que como muitas outras, beneficia da associação com outras, e da evolução científica.

IV. Referências bibliográficas

- 3Dflow SRL. (2019). 3DF Zephyr. [Software]. Disponível em <https://www.3dflow.net/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos/>
- 3D Scanning Guy. (30 de julho de 2013). 3D Scanning - Lara Croft: Tomb Raide. Bēhance. Retirado a 25 agosto, 2019 de <https://www.behance.net/gallery/10107955/3D-Scanning-Lara-Croft-Tomb-Raider>
- Aber, J. S., Marzloff, I., & Ries, J. B. (2nd ED). (2019). Chapter 3 - Photogrammetry. Small-Format Aerial Photography Principles, Techniques and Geoscience Applications, p.23-38. Candice Janco.
- Adobe. (2019). Photoshop (versão 2020) [Software]. Disponível em <https://www.adobe.com/pt/products/photoshop.html>
- Adobe. (2019). Substance Painter (versão 2019.1) [Software]. Disponível em <https://www.substance3d.com/products/substance-painter>
- Agisoft. (2019). Metashape (versão 1.5) [Software]. Disponível em <https://www.agisoft.com/>
- Albertz, J. (2007). A look back. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 73(5), p. 504-506. (Acedido a 17 agosto, 2019)
- Albertz, J.; Attwenger, M.; Barrett, J.; Casley, S.; Dorninger, P.; Dorrer, E.; Ebner, H.; Gehrke, S.; Giese, B.; Gwinner, K.; Heipke, C.; Howington-Kraus, E.; Kirk, R. L.; Lehmann, H.; Mayer, H.; Muller, J.; Oberst, J.; Ostrovskiy, A.; Renter, J.; Reznik, S.; Schmidt, R.; Scholten, F.; Spiegel, M.; Stilla, U.; Wählisch, M.; Neukum, G. & the HRSC Col-Team. (2005) HRSC on Mars Express - Photogrammetric and Cartographic Research. Photogrammetry Engineering & Remote Sensing, Vol.71, nº10, October 2005, pp.1153-1166. (Acedido a 22 setembro, 2019)
- Andreu, J. & Serrano, P. (2019). Contributions of the digital photogrammetry and 3D modelling of Roman inscriptions to the reading of damaged tituli: An example from the Hispania Tarraconensis (Castiliscar, Saragossa). Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, Volume 12, e00091. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00091>
- Aymone, J. L. Otimização do processo de construção e animação de modelos 3D para jogos digitais utilizando técnicas de digitalização 3D e Mocap com Kinect®. [Conference Paper] SBGAMES 2014, pp.351-360. (Acedido a 17 agosto, 2019)
- Biljecki, F.; Ledoux, H. & Stoter, J. (2017). Generating 3D city models without elevation data. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 64, p.1-18. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.001>
- Birdseye, C. H. (1940). Stereoscopic Phototopographic Mapping, Annals of the Association of American Geographers, 30(1), pp. 1-24. Doi: 10.1080/00045604009357193
- Bishop, L., Chris, C., & Michal, J. (2017). Photogrammetry for games: Art, technology and pipeline integration for amazing worlds. [Conference session] GDC 2017. Disponível em <https://www.gdcvault.com/play/1024340/Photogrammetry-for-Games-Art-Technology>
- Blender Foundation. (2019). Blender (versão 2.8) [Software]. Disponível em <https://www.blender.org/>
- Brown, K. & Hamilton, A. (2016). Star Wars: Battlefront and the Art of Photogrammetry. [Conference session]. Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=U_WaqCBp9zo&t=547s

- CapturingReality, s.r.o. (2019). Reality Capture (Versão 1.0.3.6310). [Software]. Disponível em <https://www.capturingreality.com/>
- Dermanis, A. (2017). Photogrammetry: A historical evolution of photogrammetry. [Power Point Slide] p.26. Retirado a 19 agosto, 2019 de <https://docplayer.net/56058161-Photogrammetry-a-dermanis.html>
- Dickinson, P. (2017). Capturing British Beauty with Photogrammetry. [Blog]. Retirado a 3 outubro, 2019 de <https://80.lv/articles/capturing-british-beauty-with-photogrammetry/>
- Doyle, F. (1964). The Historical Development of Analytical Photogrammetry, *Photogrammetric Engineering*, 30 (2), pp. 259-265.
- Fabian. (2018). Top 10 3D Sculpting Programs - The Best Software for Creating Digital Sculptures for 3D Printing. [Blog]. Retirado a 10 outubro, 2019 de <https://i.materialise.com/blog/en/3d-sculpting-programs-for-3d-printing/>
- Figuroa, S. (2017). Resident Evil 7 usou fotogrametria para aumentar o realismo. [Online Magazine]. GameReactor. Retirado a 17 agosto, 2019 de <https://www.gamereactor.pt/resident-evil-7-usou-fotogrametria-para-aumentar-o-realismo/>
- Fischer, L. (Ed.). (2015). *Art Direction and Production Design- a modern history of filmmaking*. Rutgers University Press.
- Fisher, B., Dawson-Howe, K., & O'Sullivan, C. (2001). Virtual and Augmented Architecture (VAA'01): Proceedings of the International Symposium on Virtual and Augmented Architecture (VAA'01), Trinity College, Dublin, 21-22 June 2001. Springer Science & Business Media. Foster, S. & Halbstein, D. (2014). Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. Springer Science & Business Media. Doi 10.10.7/978-1-44471-6329-9
- Graphine. (18 de dezembro, 2014). 3D Scanning for Video Games. [Blog]. Retirado a 10 outubro, 2019 de <https://graphinesoftware.com/blog/2014-12-18-3d-scanning-for-video-games>
- Hellman, T. & Lahti, M. (2018). Photogrammetric 3D Modelling for virtual Reality. Seinäjoki, Finland. Retirado a 6 outubro, 2019 de https://www.researchgate.net/publication/327227913_PHOTOGRAMMETRIC_3D_MODELING_FOR_VIRTUAL_REALITY
- Javaid, M.; Haleem, A. & Kumar, L. (2018). Current status and applications of 3D scanning in dentistry. *Clinical Epidemiology and Global Health*, Volume 7, Issue 2, pp.228-233. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2018.07.005>
- Kinecorp, TM. (d.n.d.) Photogrammetry. [Web page]. Retirado a 17 agosto, 2019 de <http://client.kinecorp.com/forensic-photogrammetry.aspx>
- Konecny, G. (1985). The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - 75 Years Old, or 75 Years Young, Keynote Address, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(7), pp 919-933.
- Kovanto, A. (2003). The Improvements for Indie Game Development, p.63-64. Karelia University of Applied Sciences: Business Information Technology, Game Programming.
- Krsnadeva, C. (2013). Argila Digital. Ferramenta: Zbrush Completo (1st ed.), p. 36. Saquarema, RJ: Clube de Autores, 2009.
- Kurbatov, S. (2019). Metro Exodus Pillars: Photogrammetry, Modelling, PBR Texturing. [Blog]. Retirado a 17 agosto, 2019 de <https://www.artstation.com/artwork/1nX6g2>

- Kuzmin, V. (2018). Full Photogrammetry Guide for 3D Artists. [Blog] Retirado a 25 agosto, 2019 de <https://80.lv/articles/full-photogrammetry-guide-for-3d-artists/>
- Laakso, A. (2016). From reality to 3D model: Post production of photogrammetry-based model. Lahti University of Applied Sciences: Program in Information and Communications Technology
- Lachambre, S., Lagarde, S., & Jover, C. (2017). Photogrammetry Workflow. [PDF]. Unity Technologies. Retirado a 6 novembro, 2019 de https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf
- Lanzi, L. (2009). La photogrammétrie numérique combinée avec la modélisation 3D: applications aux sciences forensiques (Doctoral dissertation, Université de Lausanne, Faculté de droit et des sciences criminelles). Retirado a 10 janeiro, 2020 de https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_7CA99759BFE5.P001/REF.pdf
- Leal, J. S., Aroeira, R. M. C., Gressler, V., Greco, M., Pertence, A. E. M., & Lamounier, J. A. (2019). Accuracy of photogrammetry for detecting adolescent idiopathic scoliosis progression. *The Spine Journal*, 19(2), 321-329. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.06.362>
- López-Martínez, T., García-Bueno, A., & Medina-Flórez, V. J. (2018). New methodology for the assessment of cleaning treatments. Applications of photogrammetry for restoration. *Journal of Cultural Heritage*, 30, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.09.019>
- Major, T. E. (2018). Tomb Raider: Environment Artist. Iloura company. [Blog]. Retirado a 6 novembro, 2019 de <https://timothymajor.art/resume>
- Marquardt, M & Culyba, D. (2019). Inside Video Games. Inside technology (Core Library (Firm)). Minneapolis, Minnesota: Abdo Publishing.
- McGlone, C., Mikhail, E., & Bethel, J. (2004). Manual of photogrammetry: American society for photogrammetry and remote sensing. *Bethesda, MD*. (5th ed.).
- Mcmahan, A. (2003). Immersion, engagement, and presence: A method for analyzing 3-D video games. In the Video Game Theory Reader. Routledge
- Murray, J. H. (1997) Hamlet on the holodeck: The future of narrative in cyberspace. The free press. New York, NY10020.
- OLPC Plane table (d.n.d.). Retirado a 25 agosto, 2019 de OLPC Wiki: https://en.wikipedia.org/wiki/Plane_table
- OLPC Stereoplotter (d.n.d.). Retirado a 25 agosto, 2019 de OLPC Wiki: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoplotter>
- Ostwald, A. M., & Hurtado, J. M. (2017, March). 3D Models from Structure-from-Motion Photogrammetry Using Mars Science Laboratory Images: Methods and Implications. In Lunar and Planetary Science Conference (Vol. 48), p.1787.
- Pixologic, Inc. (2019). ZBrush (version 2020) [Software]. Disponível em <http://pixologic.com/features/>
- Poznanski, A. (2014). Visual Revolution of The Vanishing of Ethan Carter. The Astronauts. [Blog]. Retirado a 17 agosto, 2019 de <http://www.theastronauts.com/2014/03/visual-revolution-vanishing-ethan-carter/>

- Quixel. (2019). [Web page]. Retirado a 6 novembro, 2019 de <https://quixel.com/>
- Rajar, Ales. (2017). Modular Photogrammetry in Environment Design. [Blog]. Retirado a 17 agosto, 2019 de <https://80.lv/articles/modular-photogrammetry-in-environment-design/>
- Remondino, F. (2011). Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sensing*, 3(6), p.1116. <https://doi.org/10.3390/rs3061104>
- Schülé, V. (2016). Path of an object to a game engine via 3D reconstruction. Retirado a 10 de agosto, 2019 de <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112786/VSThesis.pdf?sequence=1>
- Slater, S., & Childs, H. (2016). *Photorealistic rendering utilizing close-range photogrammetry* (Doctoral dissertation, Ph. D. dissertation, University of Oregon). Retirado a 10 de agosto, 2019 de <http://www.cs.uoregon.edu/Reports/UG-201606-Slater.pdf>
- Statham, N. (2018). Use of Photogrammetry in Video Games: A Historical Overview. *Games and Culture*, p.3. <https://doi.org/10.1177/1555412018786415>
- Technologies, U. (2019). Unity (Version 2019.2). [Software] Disponível em <https://unity.com/>
- The Center for Photogrammetry Training. (2008). History of photogrammetry. [PDF]. Retirado a 17 agosto, 2019 de https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photogrammetry.pdf
- Valença, J.; Júlio, E. & Araujo, H. (2008). Aplicações de Fotogrametria, Laser-Scanning e Análise Multi-Espectral no Levantamento Geométrico e de Anomalias em Estruturas. *Construção Magazine*, p.6-10.
- Willis, H. (2016). *Fast Forward: The Future(s) of the Cinematic Arts*. Wallflower Press, p.142.

V. Anexo - CD com modelos finais

Conteúdo do CD

O CD entregue, juntamente com este documento, contém os seguintes elementos:

- Relatório de projeto em versão PDF;
- Pasta de projeto do Unity 3D com assets implementados:
 - Scene com todos os sete objetos alinhados para visualização;
 - Pasta de cada objeto com os seus respetivos mapas.