TÉCNICO LISBOA

Especificação de Interrogações para Recuperação 3D em Ambiente Imersivo

Sara Beatriz Nunes Victorino Martins

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Informática e de Computadores

Orientador: Prof. Alfredo Manuel dos Santos Ferreira Júnior

Júri

Presidente: Prof. Mário Jorge Costa Gaspar da Silva
Orientador: Prof. Alfredo Manuel dos Santos Ferreira Júnior
Vogal: Prof. Joaquim Armando Pires Jorge

Maio 2015

Agradecimentos

Apesar da sua natureza individual, a realização de uma dissertação nunca é uma jornada individual. Há diversas pessoas que nos acompanham e sem as quais não seria possível chegar ao fim da estrada. Por esse motivo não poderia deixar de as mencionar, e de lhes agradecer.

Começo por mencionar a instituição que é o Instituto Superior Técnico, pelos seus valores que permitiram que o meu esforço, trabalho e dedicação me fizessem alcançar este patamar de educação.

Não posso deixar de agradecer ao Daniel Mendes, ao Pedro Pascoal e ao Fernando Fonseca pelo seu acompanhamento, orientação e ideias. Agradeço ao João Guerreiro pelo seu esforço na ferramenta EnContRA. Agradeço também ao meu orientador Professor Doutor Alfredo Ferreira pelas suas opiniões, correcções e acompanhamento que concedeu ao longo deste trabalho.

A todas as pessoas que participaram nas sessões de testes, o meu sincero obrigado, forneceram um importante contributo neste trabalho.

Agradeço à minha família e amigos pelo seu apoio, compreensão e disponibilidade, nestes momentos tão difíceis.

Agradeço à minha mãe, por ter tornado possível a minha educação e a minha formação, com todo o seu esforço. Agradeço as suas tentativas de me transmitir calma e, sobretudo, por todo o colírio que teve de usar.

Agradeço ao meu pai pelo apoio que me deu e pela sua presença nos momentos mais pesados.

Agradeço ao meu melhor amigo Pedro Duarte, por toda a preocupação que teve comigo e a ajuda que deu, mesmo sem perceber do assunto.

Por último, mas não o menos importante, agradeço do fundo do coração ao Vasco, pela sua presença e apoio incondicionais. Por caminhar lado a lado incansável, pela sua força que dividiu comigo quando eu não a tinha. Na realidade, não há palavras que possam algum dia expressar o quão grata estou por todo o seu apoio, ou que consigam sumarizar todas as suas acções. Obrigado por seres da minha equipa.

Resumo

Com o desenvolvimento de diversas ferramentas de modelação e captura, a criação de objectos 3D tem vindo a aumentar. Consequentemente, a área de recuperação de modelos 3D tem sido cada vez mais explorada, como resposta aos desafios decorrentes do armazenamento e da pesquisa destes objectos.

Contudo, os avanços que têm surgido não tiram partido de ambientes imersivos para pesquisar objectos 3D. Com a realização deste trabalho propusemo-nos criar um sistema de especificação de interrogações em ambiente imersivo, com a respectiva exploração de resultados.

O nosso objectivo foi explorar uma nova abordagem para a especificação de interrogações para a recuperação de objectos 3D por esboço, que permitisse uma interacção natural. Os utilizadores encontram-se imersos num ambiente de realidade virtual e definem uma interrogação através de esboços obtendo objectos semelhantes, recorrendo a mecanismos de pesquisa.

Para validar o nosso protótipo foram realizados testes com utilizadores, comparando-o com um sistema de especificação de interrogações através de esboços em 2D. Os resultados obtidos nos testes com utilizadores permitiram concluir a validade da nossa abordagem e afirmar que esta linha de investigação permitirá encontrar soluções viáveis no contexto da recuperação de modelos 3D.

Palavras-chave: Ambiente Imersivo, Esboços, Especificação de Interrogações, Navegação, Recuperação de Objectos 3D, Visualização.

Abstract

With the development of several modeling and capturing tools, the creation of 3D objects has increased. Hence, the retrieval area of 3D models has been widely explored, as an answer to the resulting challenges from storing and searching for objects.

However, the latest works on this subject do not use natural interaction nor an immersive environment to search and explore 3D objects. By executing this work, our purpose was to create a query specification for 3D object retrieval system, in an immersive environment.

Our goal was to explore a new approach to search methods using sketching retrieval, that would allow a natural interaction. The users are immersed in a virtual reality environment and define a sketch query that retrieves similar objects using search mechanisms.

To validate our prototype we performed tests with users, comparing it to an query specification system that uses 2D sketches. The results obtained with the performed tests allow us to conclude the validity of our approach, and understand that this route of investigation will allow to discover viable solutions on the 3D object retrieval context.

Keywords: 3D Object Retrieval, Immersive Environment, Query Specification, Sketches, Visualization.

Conteúdo

Agradecimentos . . . iii
Resumo . . . v
Abstract . . . vii
Lista de Tabelas . . . xiii
Lista de Figuras . . . xvi

1 Introdução **1**
1.1 Motivação . . . 1
1.2 Problema . . . 2
1.3 Abordagem . . . 2
1.4 Contribuições . . . 3
1.5 Estrutura do Documento . . . 3

2 Trabalho Relacionado **5**
2.1 Recuperação de Objectos 3D por Exemplo . . . 5
2.2 Recuperação de Objectos 3D por Esboço ou Gestos . . . 7
2.3 Exploração de Resultados . . . 14
2.4 Navegação e Visualização em Ambientes Imersivos . . . 16
2.5 Discussão . . . 19

3 Especificação de Interrogações para Recuperação de Objectos 3D **23**
3.1 Configuração do Hardware . . . 23
3.2 Arquitectura . . . 24
3.2.1 Módulo de Recuperação . . . 26
3.2.2 Módulo de Interacção . . . 28
3.2.3 Módulo de Seguimento e Módulo de Visualização . . . 29
3.3 Menu em Paleta . . . 30
3.4 Lista de Sugestões . . . 31
3.5 Auxiliares de Desenho . . . 32
3.5.1 Suavização do Traço . . . 33
3.5.2 Best Fit Plane . . . 34
3.5.3 CALI . . . 36

3.5.4 Convex Hull . . . 37
3.6 Modelação . . . 38
3.6.1 Integração de Técnicas . . . 38
3.6.2 Cenário de Interacção . . . 40
3.7 Resumo . . . 45

4 Avaliação **47**
4.1 Sistemas Avaliados . . . 47
4.1.1 3D Model Search Engine . . . 47
4.2 ASfOR . . . 49
4.3 Metodologia . . . 50
4.3.1 Tarefas . . . 51
4.4 Aparato e Participantes . . . 54
4.4.1 Ambiente de Testes . . . 54
4.4.2 Participantes . . . 55
4.5 Análise de Resultados . . . 55
4.5.1 Análise Quantitativa . . . 55
4.5.2 Análise Qualitativa . . . 63
4.5.3 Observações . . . 65
4.6 Resumo . . . 66

5 Conclusões e Trabalho Futuro **67**

Bibliografia **73**

A Avaliação **75**
A.1 Guião de Testes . . . 75
A.1.1 Introdução . . . 75
A.1.2 Material . . . 75
A.1.3 Procedimento . . . 76
A.1.4 Medidas a Obter . . . 77
A.1.5 Descrição do Sistema ASfOR . . . 77
A.1.6 Descrição do Sistema 3D Model Search Engine . . . 78
A.2 Questionário Inicial . . . 79
A.2.1 Questionário . . . 79
A.2.2 Resultados . . . 81
A.3 Instruções das Tarefas . . . 84
A.4 Questionário Final . . . 89
A.4.1 Questionário do Sistema 3D Model Search Engine . . . 89
A.4.2 Resultados do Questionário do Sistema 3D Model Search Engine . . . 91
A.4.3 Questionário do Sistema ASfOR . . . 93

A.4.4 Resultados do Questionário do Sistema ASfOR 96

Lista de Tabelas

2.1 Tabela comparativa dos métodos apresentados. 21

3.1 Resultado da aplicação de cada algoritmo. 33

4.1 Imagens apresentadas nas tarefas e objectos resultantes possíveis. 52
4.2 Exemplos de esboços dos utilizadores. 53
4.3 Resultados às perguntas dos questionários finais, comuns a ambos os sistemas. 64
4.4 Resultados às perguntas do questionário final, relativas aos auxiliares de desenho. 64

Lista de Figuras

2.1 Sistema de recuperação de objectos de Tangelder e Veltkamp [28]. 6
2.2 Utilizador a interagir com a interface do Masterpiece [19]. 6
2.3 Diferentes métodos de interrogação, por Funkhouser et al. [8]. 7
2.4 Exemplo de geração de vistas 2D (Pu e Ramani [22]). 8
2.5 Processo de recuperação no sistema de Cao et al. [3]. 8
2.6 Magic Canvas [27]: Exemplo da construção de uma cena 3D a partir de um esboço. 9
2.7 Pesquisa de uma peça no sistema LSketchIt (Santos et al. [25]). 10
2.8 Descrição gestual de um objecto no sistema Data Miming [12]. 11
2.9 Correspondência entre um esboço e um contorno sugestivo no sistema STELA [23]. 11
2.10 Modelo de recuperação 3D do sistema de Shao et al. [26]. 12
2.11 Criação de um objecto no sistema de Xie et al. [29]. 13
2.12 Processo de reconstrução no sistema de Xue et al. [30]. 13
2.13 Estudo de Grandhi et al. [10], sobre influências na interacção. 14
2.14 Ambiente de interacção do 3D MARS[20]. 15
2.15 Interacção no Im-ORet [21]. 15
2.16 Modos para a visualização de resultados no sistema de Henriques et al. [11]. 16
2.17 Poses associadas o sistema de Ghirotti e Morimoto [9]. 17
2.18 Exploração natural imersiva no 3D FOX [17]. 17
2.19 Interacções multi-toque e mãos livres no sistema de Iacolina et al. [13]. 18
2.20 Mockup Builder [4]: escala. 19

3.1 Equipamentos utilizados durante o desenvolvimento do sistema. 24
3.2 Arquitectura do sistema. 25
3.3 Computação de descritores de forma que usam harmónicas esféricas (Kazhdan et al. [14]). 26
3.4 Arquitectura do sistema EnContRA, desenvolvido por Dias et al. [5]. 27
3.5 Utilizador a interagir com o sistema. 30
3.6 Menu e ambiente virtual do sistema. 31
3.7 Lista de resultados da interrogação. 32
3.8 Exemplo de traço realizado com e sem suavização. 34
3.9 Polígono criado a partir de um esboço, através do Best Fit Plane. 35
3.10 Traço criado a partir de um esboço, através do Best Fit Plane. 36

3.11 Resultado do CALI criado a partir de um esboço. 37
3.12 Convex Hull criado a partir de um esboço. 38
3.13 Comunicação entre os algoritmos existentes no componente Auxiliares de Desenho. 39
3.14 Primeira visão do sistema pelo utilizador. 40
3.15 Utilizador começa o seu esboço. 40
3.16 Cálculos auxiliares apresentados a cada alteração do esboço. 41
3.17 Substituição de esboço por sugestão do Best Fit Plane. 41
3.18 Substituição de esboço por sugestão do CALI. 42
3.19 Substituição de esboço por sugestão do Convex Hull. 42
3.20 Colocação de um sólido. 43
3.21 Utilizador terminou a colocação de um sólido: um prisma. 43
3.22 Utilizador faz um pedido de uma interrogação. 44
3.23 Utilizador observa os resultados mais semelhantes. 44
3.24 Utilizador substitui o seu esboço pelo resultado. 45

4.1 Pesquisa de um avião, utilizando o 3D Model Search Engine. 48
4.2 Visualização de diferentes vistas do resultado 12 da pesquisa efectuada. 49
4.3 Esboço e pesquisa de um avião, utilizando o ASfOR. 50
4.4 Ambiente de testes: o utilizador testa ambos os sistemas. 54
4.5 Resultados da tarefa do avião. 56
4.6 Resultados da tarefa da bicicleta. 57
4.7 Resultados da tarefa da caixa do correio. 58
4.8 Resultados da tarefa da casa. 59
4.9 Resultados da tarefa da tartaruga. 60
4.10 Resultados globais relativos a todas as tarefas. 62
4.11 Distribuição do tempo nos sistemas ASfOR e 3D Model Search Engine. 63

Capítulo 1

Introdução

Nos últimos anos, a quantidade de objectos 3D em repositórios digitais tem vindo a aumentar. Tal deve-se aos avanços da tecnologia, que permite criar objectos tridimensionais com maior facilidade, tirando partido das diversas ferramentas existentes.

Com o aumento do número de objectos 3D, as colecções onde estes se encontram também cresceram. Isto traz o problema da procura numa grande colecção. As pesquisas actuais usam principalmente meta-informação, muitas vezes não definida no objecto. Diversas vezes um objecto não é devolvido porque a sua meta-informação (anotações, nome do ficheiro, etc.) não está correcta. Um objecto pode também não ser devolvido quando se utilizam palavras-chave nas pesquisas, uma vez que estas nem sempre são as mais correctas.

Outro dos métodos utilizados é a pesquisa por exemplo (QBE - *Query By Example*), onde é necessário possuir uma imagem que represente o objecto que se quer encontrar. Os resultados devolvidos dependem das características presentes nessa imagem e do ângulo em que o objecto é apresentado corresponder ao ângulo de algum objecto da colecção de modelos.

Outro dos problemas é a forma como os resultados são apresentados. O método de visualização mais comum em pesquisas de objectos 3D é baseado numa lista de miniaturas de imagens no ecrã, o que pode não permitir observar por completo o objecto.

Estes problemas apresentam-se em motores de pesquisa 3D conhecidos, tais como o 3D Model Search Engine [8, 18] e o 3D Warehouse [1].

1.1 Motivação

A necessidade de um sistema de especificação de interrogações para recuperação de objectos 3D surge maioritariamente das limitações dos métodos de especificação de interrogações e visualização de resultados existentes.

A possibilidade de não obter resultados significativos em interrogações por texto, devido a meta-informação em falta ou incorrecta, é uma limitação, a par com a possibilidade de uma imagem não possuir as características necessárias para encontrar um objecto nas interrogações por exemplo. Ainda,

[1] Disponível em https://3dwarehouse.sketchup.com/

a visualização dos objectos devolvidos numa lista de miniaturas pode não permitir analisar todas as suas caraterísticas, por estar dependente do ponto de vista do objecto nessas imagens.

Com o avanço das tecnologias houve um crescimento das interfaces de utilizador naturais (NUI - *Natural User Interfaces*), sendo possível encontrá-las em cada vez mais equipamentos. Exemplo disso são os dispositivos multi-toque, como *smartphones* e *tablets*, sistemas de reconhecimento de gestos/movimentos para jogos, sistemas de reconhecimento de voz, entre outros. A par destes avanços também se encontram os ambientes imersivos, cada vez mais acessíveis ao público em geral. Já disponíveis estão os HMDs Oculus Rift e HTC Vive, bem como a sala imersiva CAVE.

Tirando partido de todas as opções ao nosso alcance, o nosso objectivo passou por criar um método de especificação de interrogações para recuperação de objectos fiável e eficiente num ambiente imersivo, que permite mesmo a utilizadores inexperientes procurar e encontrar objectos 3D de forma natural.

1.2 Problema

Os métodos de pesquisa e visualização de objectos 3D têm sido objecto de estudo nos últimos anos. Diversas abordagens têm sido propostas, contudo não é ainda possível encontrar uma solução que permita liberdade ao utilizador para criar e observar de diferentes ângulos os objectos 3D. Para pesquisar por um objecto 3D, as abordagens tradicionais baseiam-se na simples procura por texto numa janela. Esta possui algumas lacunas, uma vez que o seu sucesso depende da informação fornecida pelo utilizador, tanto na pesquisa como na identificação do objecto (meta-informação). Consequentemente os resultados não serão totalmente satisfatórios, pois existe uma grande probabilidade de diversos objectos ficarem fora do conjunto de resultados, por não estarem definidos ou não corresponderem ao termo utilizado na pesquisa.

A maioria das soluções apresenta como resultados a comum abordagem da imagem 2D. Apesar da imagem poder fornecer bastante informação, contudo, em imagens pouco detalhadas ou com vistas mal escolhidas, é possível não se conseguir ver a forma e as propriedades do objecto 3D.

Estes tipos de interacção com os sistemas para procurar objectos e visualizar resultados não se mostram naturais, uma vez que a interface dos sistemas não é invisível. Assim, não permite que os sistemas possam ser usados por qualquer tipo de utilizador.

Desta forma, pretendeu-se com este trabalho **compreender a viabilidade da especificação de interrogações para recuperação de objectos 3D num ambiente imersivo**. Com este objectivo quis-se verificar se é possível criar uma abordagem para a especificação de interrogações para recuperação de objectos 3D que ofereça um método natural.

1.3 Abordagem

Para abordar o problema identificado, relativo à especificação de interrogações de objectos 3D num ambiente tridimensional imersivo e natural, foi necessário definir um contexto. Considerou-se a criação de um cenário simples imersivo correspondente a uma sala, com um menu representado por uma metáfora de uma paleta, e um comando para interagir no espaço 3D. Tornou-se essencial desenvolver um método

de interacção que permitisse criar os objectos tridimensionalmente, alterá-los de acordo com o desejo do utilizador e alterar o ponto de vista do espaço que o rodeia, de forma a criar o objecto desejado. De igual importância foi a possibilidade de observar livremente cada resultado da pesquisa realizada. Com a utilização deste cenário pretendeu-se ter um ambiente natural que permitisse a qualquer pessoa, independentemente da sua idade ou experiência com objectos 3D, sentir-se à vontade e agir de forma natural e familiar.

Alicerçando-nos no conjunto de informações encontradas e nas ideias definidas para o estudo da especificação de interrogações e visualização de resultados num ambiente imersivo, desenvolveu-se então o protótipo para a pesquisa de objectos 3D. Usando um HMD Oculus Rift, um comando Wiimote e um sistema de seguimento de movimentos, o utilizador possui liberdade de se movimentar pelo cenário, observando-o através do HMD e podendo interagir com o mesmo através do Wiimote. Neste protótipo foram implementadas diferentes ferramentas para a criação de esboços tridimensionais, de modo a tornar a criação o mais completa possível para o utilizador. Essas ferramentas permitem criar traços, sólidos e planos no esboço. O objecto criado permitirá encontrar o resultado mais próximo do pretendido.

1.4 Contribuições

A grande contribuição deste trabalho foi a criação de uma abordagem de especificação de interrogações com esboços para recuperação de objectos 3D usando *input* espacial, num ambiente imersivo. Este sistema permite uma especificação de interrogações natural, conjugando os benefícios de poder mostrar visualmente o pensamento do utilizador, com a realidade virtual. Com a possibilidade de esboçar em 3D, o sistema não se submete às restrições físicas que estão presentes nos sistemas já desenvolvidos.

Ainda, como resultado deste trabalho, foram desenvolvidos dois pacotes para Unity 3D que podem ser reutilizados de forma independente. No pacote Cálculo do Convex Hull, dado um conjunto de pontos definidos por coordenadas tridimensionais, é devolvido um objecto 3D resultante da união por arestas e faces dos pontos mais exteriores. No pacote Cálculo do Best Fit Plane em 3D, dado um conjunto de pontos definidos por coordenadas tridimensionais, é devolvido um polígono resultante da união por arestas dos pontos mais exteriores, rebatidos no plano mais aproximado. É também devolvido o conjunto de pontos rebatidos nesse plano.

1.5 Estrutura do Documento

A dissertação apresenta-se estruturada em 5 capítulos. O Capítulo 2 apresenta trabalhos relacionados, relativamente à especificação de interrogações, à exploração de resultados e à navegação e manipulação em ambientes imersivos. No Capítulo 3 é apresentada a solução proposta que culminou no sistema desenvolvido, descrevendo a arquitectura e os seus componentes. O Capítulo 4 apresenta as avaliações com os utilizadores realizadas para validar a solução desenvolvida. Por fim, o Capítulo 5 apresenta uma discussão geral do trabalho, delineando conclusões e introduzindo perspectivas de trabalho futuro.

Capítulo 2

Trabalho Relacionado

Ao longo dos anos os estudos e os esforços para desenvolver métodos de recuperação de objectos têm aumentado com o avanço da tecnologia. Com o aumento da quantidade dos modelos 3D, são necessários métodos mais eficientes de recuperar esse conteúdo, que não se baseiem apenas em texto. Diversas soluções têm surgido como resposta, destacando-se a utilização de esboços e exemplos para a recuperação, com uma forma diferente de exploração de resultados mais natural e permissiva, em termos de funcionalidades.

2.1 Recuperação de Objectos 3D por Exemplo

Na recuperação de objectos 3D, para encontrar um objecto, são necessárias duas fases: indexação e recuperação. Os descritores são retirados de cada modelo para se construir um índice que é depois usado na recuperação. Tangelder e Veltkamp [28] focaram os seus estudos na comparação entre os diversos métodos de recuperação de objectos de 3D, tendo como objectivo usar as propriedades da forma do objecto para procurar mais eficientemente. Um método, para ser eficiente, deve ser capaz de capturar as propriedades que diferenciam um objecto. Há a possibilidade de aplicar uma correspondência parcial, quando os objectos 3D não estão completos. Uma vez que os objectos 3D podem ter orientações e posições diferentes no espaço tridimensional, deve ser possível alinhar o modelo de acordo com um sistema de coordenadas canónico.

O sistema de recuperação de objectos de Tangelder e Veltkamp [28], representado na Figura 2.1, consiste numa colecção indexada criada *offline* e um subsistema de interrogações *online*. Cada objecto 3D está identificado por um ID, que permite obter uma descrição global da forma (os padrões) desse modelo. Para procurar numa grande colecção *online*, é necessário um gestor de interrogações, para além da colecção indexada. O subsistema de interrogações *online* calcula o descritor da interrogação e modelos semelhantes ao modelo da interrogação são devolvidos a partir da colecção indexada. Para especificar uma interrogação pode-se explorar para seleccionar um modelo, pesquisar directamente fornecendo um descritor ao gestor de interrogações ou pesquisar por exemplo, fornecendo um modelo 3D através de um esboço 3D ou projecções 2D de um objecto 3D.

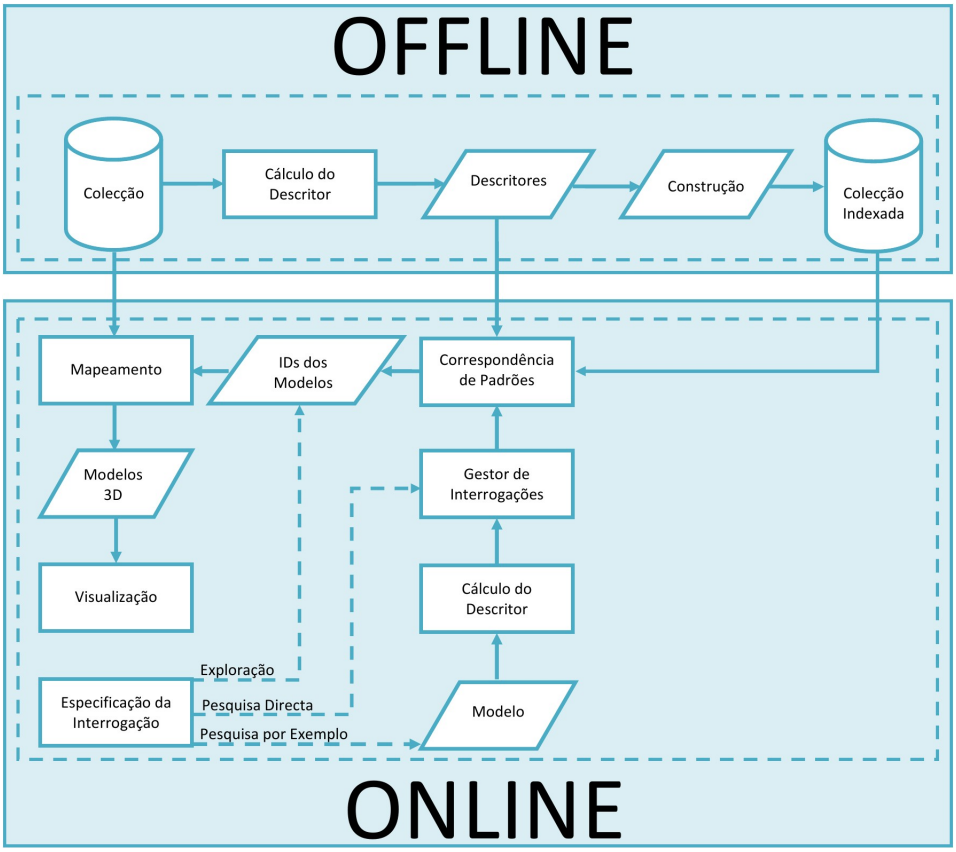


Figura 2.1: Sistema de recuperação de objectos utilizado por Tangelder e Veltkamp [28].

Ainda no campo da recuperação por exemplo, Moustakas et al. [19] criaram o Masterpiece. O Masterpiece permite montar objectos, procurar objectos 3D utilizando esboços, deformar esses objectos para gerar objectos mais complexos e pesquisar objectos 3D, usando como exemplo um objecto em cena ou outro modelo montado pelo utilizador. Permite ainda manipular objectos 3D num ambiente 3D, como é possível ver na Figura 2.2. Os resultados do Masterpiece mostraram-se superiores em termos de imersão, usabilidade e eficiência na manipulação 3D. O modo de pesquisa utilizando esboços reduziu bastante o tempo de procura de conteúdo 3D.

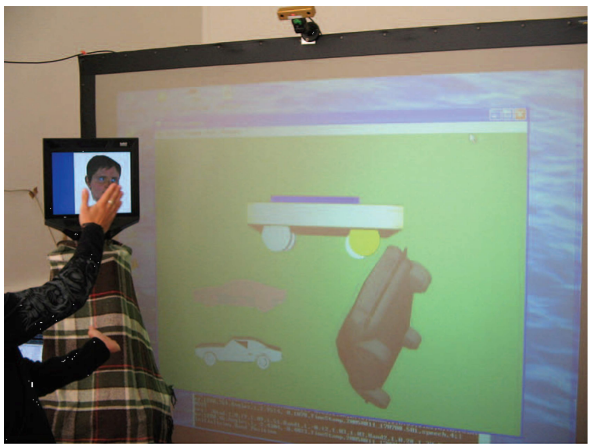


Figura 2.2: Utilizador a interagir com a interface do sistema Masterpiece, de Moustakas et al. [19].

Outra solução para a pequisa de objectos 3D passa pela pesquisa por esboços e gestos. Ao recorrer ao uso de esboços e gestos para especificar o objecto que o utilizador tem em mente, os resultados obtidos estarão próximos do pretendido pelo utilizador. O esboço ou objecto criado por gestos especificado pelo utilizador pode possuir detalhes que poderiam estar em falta num objecto utilizado numa pesquisa por exemplo.

2.2 Recuperação de Objectos 3D por Esboço ou Gestos

Com a impossibilidade de recuperar um objecto por exemplo, a recuperação por esboço permite ao utilizador descrever o objecto e usar essa descrição para o obter.

Funkhouser et al. [8], Min [18] focaram a sua investigação nos diferentes métodos de interrogação. Implementaram um sistema híbrido (presente na Figura 2.3), permitindo o reconhecimento de objectos 3D através de esboços, texto e ambos. Durante os testes efectuados, foi possível concluir que o texto complementa os esboços. Apesar de sozinho não permitir identificar um modelo entre outros na colecção, permite refinar a pesquisa, categorizando o objecto. Esta combinação produziu mais resultados do que os métodos isolados.

Figura 2.3: Diferentes métodos de interrogação, por Funkhouser et al. [8], Min [18].

Pu e Ramani [22] desenvolveram um método para recuperar modelos 3D medindo a semelhança entre um esboço e vistas ortogonais 2D, geradas a partir dos modelos 3D. Este método realiza três passos: determinação da pose de um modelo 3D, geração da vista ortogonal 2D para cada orientação, como se pode ver na Figura 2.4, e medição da semelhança entre o esboço do utilizador e essas vistas 2D. Os utilizadores podem fornecer à pesquisa até 3 vistas, o que imita as três vistas principais em esboços de engenharia. Ao contrário dos outros métodos conhecidos que necessitam no mínimo de 13 vistas, Pu e Ramani [22] apenas necessitam de 3. O sistema é insensível a ruído geométrico, invariante à translação, rotação e escala, e ainda suporta interrogações com esboços.

Figura 2.4: Exemplo de vistas 2D geradas pelo método de Pu e Ramani [22].

Com o objectivo de desenvolver uma interface de fácil utilização, Cao et al. [3] criaram um sistema de recuperação de objectos 3D a partir de esboços 2D de linhas. Este permite ao utilizador criar linhas curvas e linhas rectas. Para refinar os resultados obtidos, Cao et al. [3] desenvolveram uma representação, o gráfico de *feedback*. O sistema realiza três passos para reconstruir um objecto 3D a partir do esboço: transformar o esboço de um objecto curvo no esboço de um objecto planar, reconstruir o objecto planar a partir do esboço modificado, e gerar as faces curvas com curvas de Bézier e fragmentos de superfície baseados no objecto planar reconstruído e no esboço original. O processo da recuperação pode ser visto na Figura 2.5. Após a reconstrução do objecto 3D, o próximo passo é pesquisar a colecção por objectos com formato semelhante. É utilizado um processo de refinamento para melhorar os resultados apresentados, baseado na técnica de relevância de *feedback* para recuperação de imagens 2D. Neste caso, apenas se consideram as formas 3D e não as cores e texturas. O sistema utiliza harmónicas esféricas como descritores das formas 3D, devido à invariância nas translações e rotações.

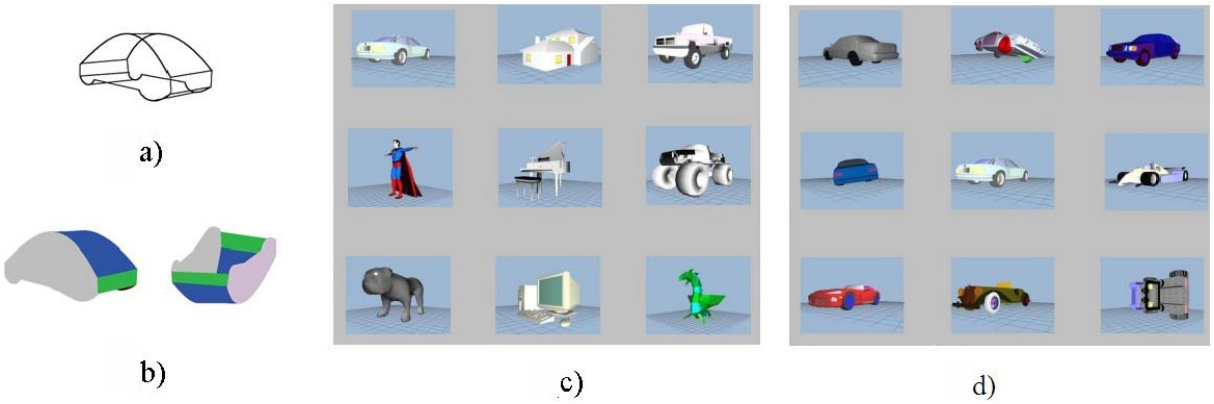


Figura 2.5: Processo de recuperação no sistema de Cao et al. [3]: a) esboço realizado pelo utilizador; b) objecto reconstruído em 3D; c) objectos devolvidos considerados semelhantes à pesquisa; d) resultados refinados após *feedback*.

Shin e Igarashi [27] criaram a interface baseada em esboços Magic Canvas, que permite construir cenas 3D formadas por diversos objectos de uma colecção, como se pode ver na Figura 2.6. O utilizador cria uma cena realizando um esboço 2D do seu aspecto, com esboços dos modelos desejados. O sistema procura pelos modelos mais apropriados na colecção de modelos e ajusta a posição e pose dos modelos para que correspondam aos esboços do utilizador. O sistema é composto por três painéis: o Painel

de Esboço, onde é mostrada a cena 3D e os esboços do utilizador; o Painel de Modelos Candidatos, onde são mostrados os objectos resultado da recuperação; e o Painel da Pose do Modelo, que mostra diferentes poses candidatas do modelo seleccionado. Primeiramente o utilizador faz um esboço no Painel de Esboço. Após terminar o esboço faz a interrogação e o sistema apresenta os candidatos por ordem mais provável no Painel de Modelos. O modelo com maior semelhança é posicionado automaticamente no esboço. O utilizador pode riscar em traços feitos ou em modelos para os apagar. O sistema permite ao utilizador escolher outras poses no Painel de Poses ou substituir o modelo, clicando noutro modelo no Painel de Modelos. Nos testes realizados, os resultados apresentavam um objecto errado se o esboço fosse muito simples, o que confundiu os participantes. Foi também difícil para o sistema reconhecer pequenos esboços. Contudo, os participantes acharam vantajoso poder examinar modelos semelhantes e consideraram a montagem de uma cena bastante rápida.

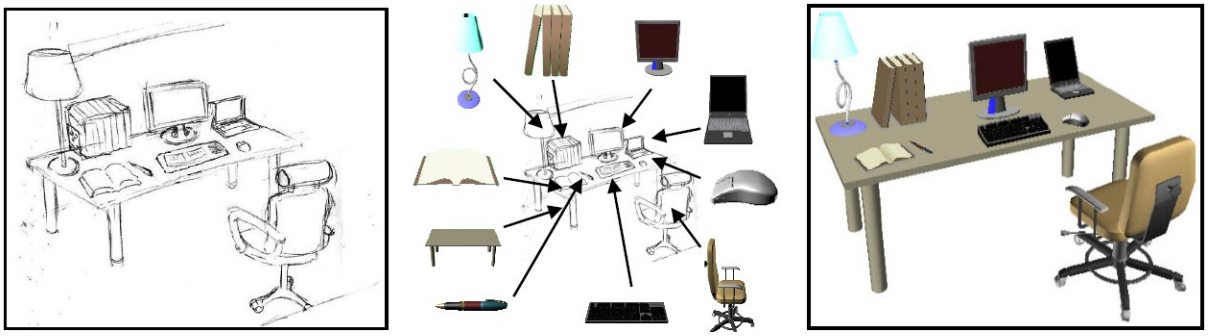


Figura 2.6: Exemplo da construção de uma cena 3D a partir de um esboço no sistema Magic Canvas [27].

Utilizando um descritor de formas baseado em seccionamento esférico, Lee et al. [16] desenvolveram uma interface de interrogações baseada em esboços. O utilizador cria um esboço 2D a partir do qual é feito um cálculo de semelhanças, para pesquisar na colecção os modelos mais semelhantes. Os testes realizados permitiram concluir que a interface ajuda a minimizar as diferenças semânticas entre os sistemas de interrogações existentes baseados em formas e o sistema visual humano. Os utilizadores sentiram facilidade em criar esboços na interface, sendo o sistema rápido e robusto. Contudo, os utilizadores sentiram dificuldades quando tentaram realizar esboços demasiado rigorosos.

Como resposta às dificuldades dos mecanismos de manipulação e recuperação existentes, Santos et al. [25] criaram o sistema LSketchIt, que permite criar modelos de LEGO através de esboços. Os esboços são comparados com as peças armazenadas pelas suas dimensões, como se pode ver na Figura 2.7. Após uma interrogação, o utilizador selecciona a peça desejada a partir da lista, podendo depois manipulá-la como se fosse uma peça real, uma vez que o LSketchIt é capaz de detectar as posições das peças (criando ligações se estas estiverem umas sobre as outras), detectar colisões, mover conjuntos de peças quando apenas uma está seleccionada e ainda impedir as peças de ficarem no ar caso as inferiores sejam eliminadas (gravidade). É ainda possível refinar a interrogação, através de esboços sobre as peças devolvidas, modificando-as. O processo de interrogação e manipulação de peças pode ser feito através de esboços contínuos ou incrementais. Estes últimos são usados para especificar a largura e a profundidade de uma peça, sendo a altura alterada normalmente após a peça ter sido devolvida. Por fim, para verificar o

desempenho do LSketchIt, foram realizados estudos comparativos com o LeoCAD, uma ferramenta de desenho assistido por computador para criar modelos LEGO virtuais. Estes revelaram que o tempo de construção de um modelo e os tempos de interrogação foram menores para o LSketchIt.

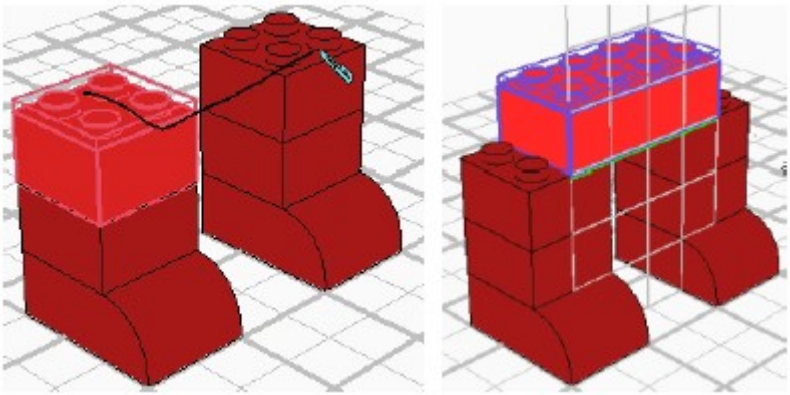


Figura 2.7: Pesquisa de uma peça no sistema LSketchIt [25], especificando a sua altura e largura.

Lee e Funkhouser [15] desenvolveram um sistema de modelação baseado em esboços para compor objectos 3D. Os traços desenhados são interpretados como pesquisas de semelhança numa colecção de objectos 3D e ainda como guias de disposição para colocar e compor os objectos na cena. O utilizador esboça o contorno do objecto que quer incluir na cena na posição pretendida, o sistema pega no esboço e faz uma pesquisa na colecção dos objectos e mostra os resultados da interrogação. O utilizador selecciona um objecto e o sistema determina a relação geométrica do objecto com o resto da cena a partir do esboço do utilizador, realizando as rotações, translações e escalas necessárias para o colocar na cena. Testes realizados mostraram que o processo é intuitivo, de fácil aprendizagem e que os utilizadores ficaram satisfeitos com os resultados das interrogações e da colocação automática das partes pelo sistema. Com o sistema de *undo* (desfazer) infinito, os utilizadores podem experimentar várias ideias com pouco esforço.

Um dos estudos mais recentes sobre como descrever objectos gestualmente para, a partir dessa descrição, poder recuperar objectos de uma colecção, foi realizado por Holz e Wilson [12]. Data Miming tem como objectivo permitir aos utilizadores descreverem um objecto 3D a um computador, de forma natural. No primeiro estudo, foram observados os participantes a descrever objectos a outra pessoa, através de gestos. Registaram-se os padrões utilizados pelas pessoas para descrever os limites e as dimensões dos objectos. Os participantes mantiveram proporções relativas das partes de cada objecto, mantendo também a sua escala. Estes usaram maioritariamente uma aproximação *top-down*, descrevendo partes mais largas antes de partes mais pequenas. A maioria usou ambas as mãos, paralelamente, ao definir partes simétricas de objectos. Os participantes utilizaram também as suas mãos abertas para traçar os objectos. Em superfícies com curvatura, adaptaram a forma das suas mãos para corresponder à forma da parte do objecto. Através destas conclusões, foi possível implementar o protótipo do sistema, que observa o utilizador e faz a correspondência da representação virtual da imagem mental do utilizador com objectos da colecção, como se pode ver na Figura 2.8. O protótipo utilizou o Microsoft Kinect, permitindo criar uma representação virtual da descrição do utilizador num volume 3D. Por fim, é feita

uma correspondência entre o modelo descrito e os modelos da colecção.

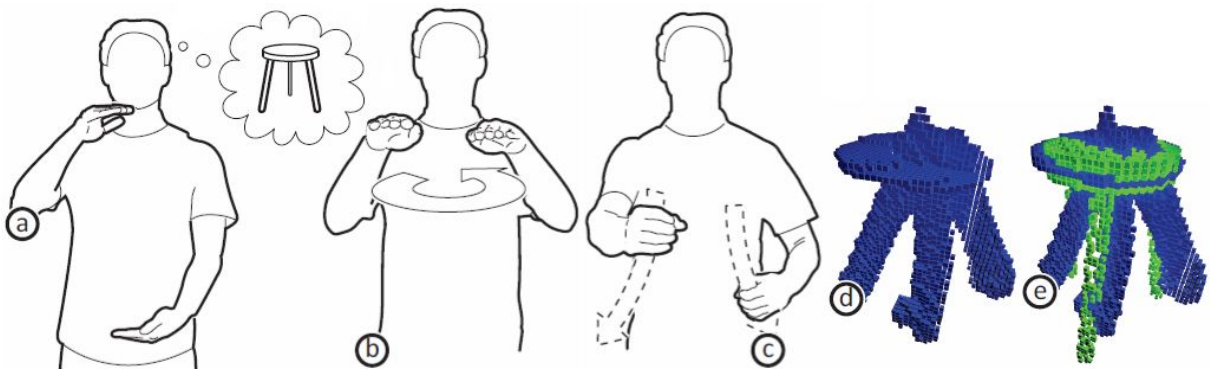


Figura 2.8: Descrição gestual de um objecto no sistema Data Miming: a) o utilizador imagina o objecto, b) descreve a parte superior do objecto, c) descreve as partes inferiores do objecto, d) o objecto é formado pelo sistema, e) o objecto mais parecido é encontrado na colecção dos modelos.

Saavedra et al. [23] criaram STELA, um sistema que permite recuperar modelos 3D através de uma interrogação com um esboço simples. O seu método baseia-se na detecção de *keyshapes* de um objecto, como se pode ver na Figura 2.9. Isto permite representar um objecto com um maior nível de abstracção e lidar com o ruído, o que melhora a tarefa de recuperação. Esta aproximação local é combinada com uma global, obtendo vantagem da semelhança global para reduzir o número total de comparações entre um esboço e os modelos da colecção. O sistema realiza os seguintes passos: formar uma imagem abstracta que represente de forma simples um esboço, detectar as *keyshapes* dessa imagem, calcular os descritores locais que criam uma assinatura para cada *keyshape* e por fim fazer a correspondência entre os descritores locais do esboço e os contornos sugestivos de um determinado *viewpoint* de um modelo 3D. O sistema tem uma *performance* acima da média, trazendo bastantes melhorias para a maior parte das classes de modelos 3D.

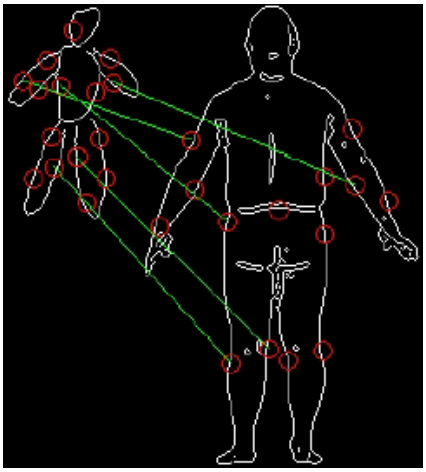


Figura 2.9: Correspondência entre um esboço (esquerda) e um contorno sugestivo (direita) no sistema STELA, de Saavedra et al. [23].

Shao et al. [26] apresentaram a sua solução de recuperação de objectos, visando especificamente mo-

delos de maior complexidade geométrica. Propuseram um sistema de recuperação de formas 3D baseado em esboços. Esta abordagem combina uma representação baseada em contornos 2D de formas com um esquema de correspondências baseado em modelos, como se pode ver pelo diagrama da Figura 2.10. O algoritmo é robusto contra ruído e utiliza transformações afim para lidar com pequenas distorções, tais como escalamento não uniforme. A afinidade limitada diminui a necessidade de esboços de alta qualidade, aumenta o poder discriminativo do algoritmo de procura e evita possíveis confusões nos resultados das interrogações. Nos testes realizados, os utilizadores consideraram os resultados de interrogações do sistema satisfatórios, por terem sido devolvidos sempre os objectos pretendidos. Contudo, desenhar curvas com um rato mostrou-se complicado por ser uma tarefa difícil de realizar com precisão.

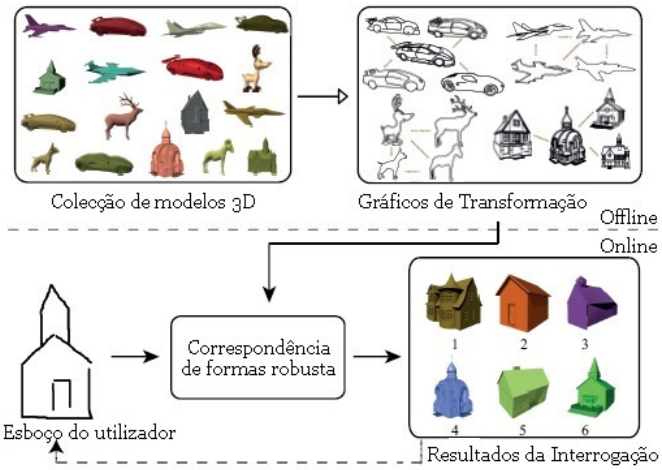


Figura 2.10: Modelo de recuperação 3D do sistema de Shao et al. [26].

Saavedra et al. [24] desenvolveram um sistema que permite a recuperação de modelos 3D baseados em esboços através de uma estratégia de filtragem e refinamento na recuperação. Cada modelo da colecção possui 14 figuras de contorno sugestivo correspondentes a pontos de vista específicos. O primeiro passo é a filtragem, no qual o descritor global HKO determina a projecção mais apropriada para cada modelo 3D a partir do esboço dado. De seguida é realizado o refinamento, que permite determinar a posição ordenada por semelhança dos modelos. Após representar um esboço a partir de um conjunto de traços, descobrem-se as chamadas *keyshapes*. Cada traço do esboço é decomposto em linhas rectas (*keyshapes*), sendo o esboço representado pelas *keyshapes*. O descritor final é calculado a partir da orientação destas *keyshapes*. Por fim, o esboço é comparado com o contorno de cada modelo 3D. A correspondência é feita pelos descritores locais correspondentes ao mesmo tipo de *keyshape*. Nos testes realizados, comparando o sistema com outros sistemas como HELO e STELA, Saavedra et al. [24] puderam concluir que a eficácia foi superior na maioria das classes de objectos. O sistema devolve objectos significativos para a interrogação, sendo que houve melhorias em comparação com os outros sistemas em mais de 50% na maioria das classes de objecto.

Xie et al. [29] propuseram um sistema interactivo de esboços para construir objectos. O utilizador realiza um esboço num objecto 3D inicial da mesma categoria do objecto que pretende obter. Os traços do esboço são analisados individualmente e são apresentadas sugestões de formas relevantes, acabando por

se combinar estas formas (extraídas de outros objectos 3D) no objecto 3D. É possível ver este processo na Figura 2.11. À medida que o utilizador vai selecionando mais partes, as formas compatíveis com o objecto a ser formado vão sendo menos. Xie et al. [29] descrevem o sistema como um completar automático de modelos 3D. O sistema permite também modelação 3D com sugestões contínuas baseadas nos traços do utilizador. Os testes com utilizadores efectuados ao sistema permitiram concluir que o tempo de modelação é menor e que o espaço de resultados é mais denso.

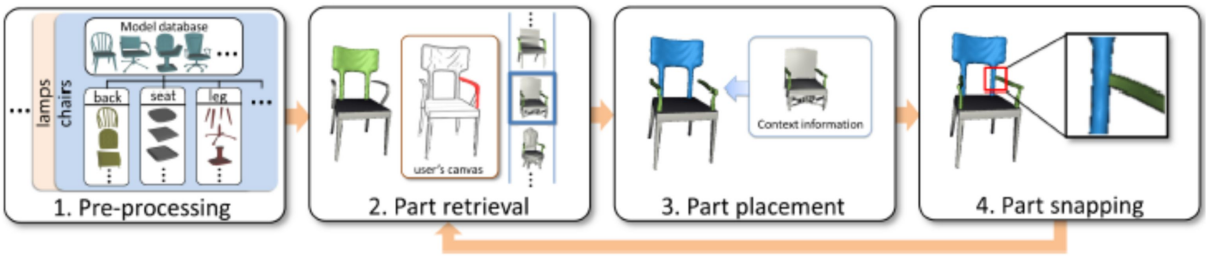


Figura 2.11: Criação de um objecto no sistema de Xie et al. [29].

Xue et al. [30] desenvolveram um sistema de reconstrução de objectos 3D a partir de esboços 2D. Dado um esboço 2D, este é decomposto em diversos esboços mais pequenos, e diversos candidatos são seleccionados a partir da colecção de objectos 3D para cada pequeno esboço. De seguida, um modelo gráfico sem direcção é construído, onde cada nó possui um pequeno esboço 2D. A reconstrução 3D, exemplificada na Figura 2.12, é efectuada utilizando uma estimativa *maximum-a-posteriori* (MAP) que selecciona os melhores candidatos para que a reconstrução encaixe no esboço. Este método é robusto contra erros de desenho. Nos testes realizados, o sistema foi comparado com outros sistemas do género, tais como PBO e DAC. O sistema é capaz de recuperar objectos muito melhores a partir dos esboços 2D. Contudo, existem modelos que não podem ser compostos com outros modelos, tais como icosaedros e bolas de futebol.

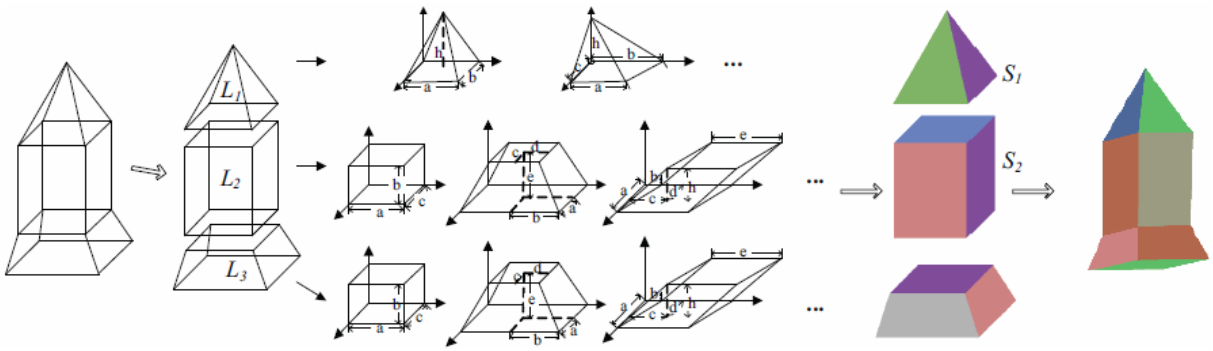


Figura 2.12: Processo de reconstrução no sistema de Xue et al. [30].

Mais recentemente, foi realizado um estudo por Grandhi et al. [10] para compreender as diferenças entre as comunicações gestuais com pessoas e com tecnologia (Figura 2.13). O objectivo era tornar a comunicação com máquinas mais natural. O estudo abordou duas grandes questões: "como é que as pessoas percebem os gestos a realizar para comunicar com tecnologia em comparação com pessoas e

quais as diferenças?”e ”a performance dos gestos varia com o destino da comunicação e se sim, quais as variações?”. Para responder às perguntas, realizaram um estudo com 10 pessoas, às quais se mostrou uma linha de montagem de candeeiros. Estas tinham de comunicar gestualmente como resolver problemas nos candeeiros, primeiro a outra pessoa e depois a um computador. A maioria dos participantes preferiu comunicar com o computador pois sentiram que era mais rápido, mais divertido e não tinham de esperar que o computador estivesse pronto, ao contrário do que sentiram com a outra pessoa. Os participantes que preferiam a comunicação com a pessoa sentiram que os gestos eram mais facilmente reconhecidos e a interacção era mais natural.

Figura 2.13: O alvo da comunicação pode influenciar a interacção por gestos e a experiência do utilizador (estudo de Grandhi et al. [10]).

A utilização de esboços, como apresentado, faz parte de diversos sistemas de recuperação de objectos 3D. Apesar da possibilidade do emprego de gestos para a recuperação de objectos, a utilização de esboços permite uma pesquisa mais poderosa, com a vantagem de o utilizador poder dar um exemplo do objecto que pretende. A utilização de gestos traz maiores possibilidades na navegação e visualização dos resultados da recuperação.

2.3 Exploração de Resultados

Após recuperar objectos 3D, os utilizadores necessitam de explorar os resultados e manipulá-los. Com os novos dispositivos de interacção que permitem imersividade, é possível apresentar respostas às interrogações de modelos 3D que não sejam apenas miniaturas. Desta forma, a exploração de resultados em ambiente imersivo permite examinar cada modelo mais detalhadamente do que através de imagens.

Um trabalho relevante foi realizado por Nakazato e Huang [20], que propuseram um sistema de recuperação de imagens, chamado 3D MARS. Neste é possível visualizar e pesquisar imagens num ambiente 3D de realidade virtual imersivo (que pode ser visto na Figura 2.14), método que torna possível visualizar mais imagens sem que uma esconda outra. Os resultados visualizados em 3D são dispostos de acordo com

3 eixos (cor, textura e estrutura), podendo assim o utilizador examinar os resultados de acordo com cada critério. À medida que o utilizador se mexe, as imagens rodam para estarem voltadas para o utilizador. O utilizador pode definir imagens como relevantes ou irrelevantes. O sistema recebe o *feedback* e reorganiza o esquema de visualização dinamicamente, o que permite também refinar a pesquisa incrementalmente.

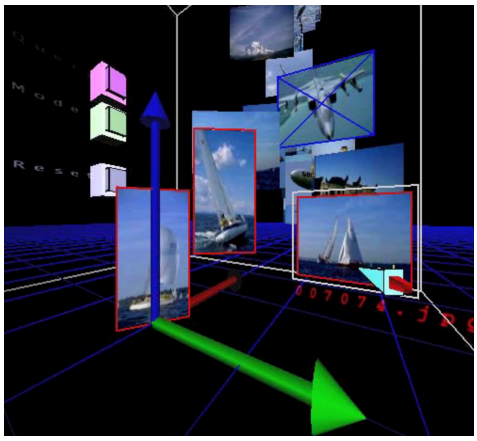


Figura 2.14: Ambiente de interacção do 3D MARS (Nakazato e Huang [20]).

Inspirado no trabalho de Nakazato e Huang [20], Pascoal [21] criou o Im-O-Ret, um novo método de visualização dos resultados de interrogações de modelos 3D. Os resultados são apresentados num ambiente tridimensional imersivo, o que permite ao utilizador percorrer e manipular os resultados (Figura 2.15). A cada eixo é atribuído um algoritmo de comparação de características geométricas, onde os resultados das interrogações são distribuídos no espaço de acordo com a sua semelhança, usando cada algoritmo atribuído. Foram ainda estudadas duas técnicas de disposição de resultados: resultados equidistantes no espaço (sem informação das diferenças entre dois objectos) e aglomerados de resultados, de acordo com o valor retornado pelo algoritmo. Os testes com utilizadores permitiram concluir que, ao utilizar o sistema, as tarefas são realizadas de forma mais rápida e com menos erros, permitindo uma melhor visualização e interpretação dos resultados obtidos, em comparação com outros sistemas de recuperação 3D.

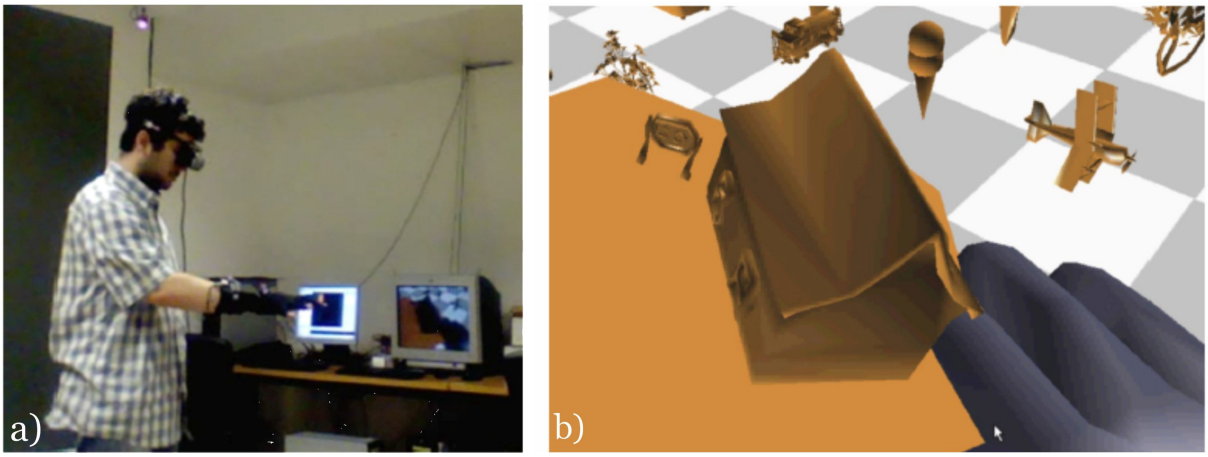


Figura 2.15: Interacção no Im-ORet [21]: a) utilizador a explorar o espaço 3D com um HMD e luvas; b) ponto de vista do utilizador.

Henriques et al. [11] criaram um sistema de visualização imersiva e interacções tridimensionais para

explorar os resultados de interrogações numa colecção de objectos 3D. Este sistema possui uma pesquisa que combina comandos por voz e gestos. Para explorar e analisar resultados, o sistema possui um ambiente tridimensional imersivo, visualizado com o Oculus Rift. Os resultados podem ser dispostos de acordo com quatro modos de visualização (exemplificados na Figura 2.16): Grelha Rectangular (grelha vertical frontal com o objecto mais semelhante no canto superior esquerdo e o menos no canto inferior direito), Grelha Quadrangular (grelha vertical frontal com o objecto mais semelhante no centro) e Grelhas Cilíndrica e Esférica (à volta do utilizador na superfície de um cilindro ou esfera invisível, com o objecto mais semelhante à frente do utilizador, espalhando-se a partir desse ponto). O utilizador navega movendo livremente a cabeça. Para observar detalhadamente o objecto, o utilizador aponta com um dedo para o objecto, o que o traz para perto de si e o roda, permitindo observá-lo de diferentes ângulos.

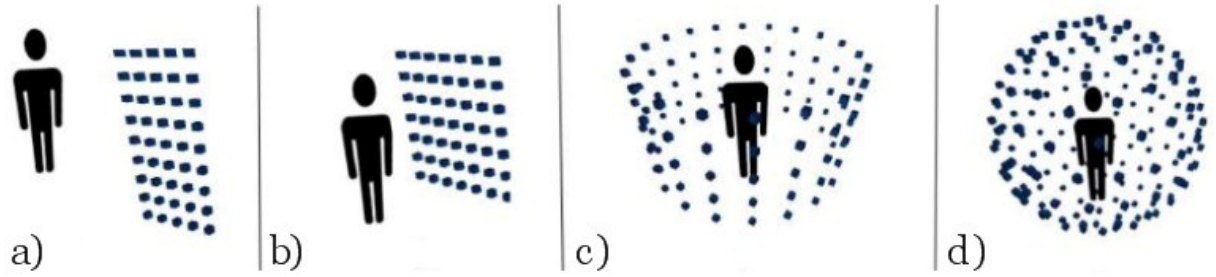


Figura 2.16: Modos para a visualização de resultados num ambiente imersivo: a) Grelha Rectangular, b) Grelha Quadrangular, c) Grelha Cilíndrica, (d) Grelha Esférica. (Henriques et al. [11])

Os estudos realizados permitiram concluir que a interacção tridimensional imersiva e baseada em gestos é melhor do que a tradicional com uma grelha de miniaturas 2D, permitindo procurar e explorar com facilidade objectos 3D. Existem já diversos sistemas que permitem uma navegação e visualização imersiva, facilitando a observação dos objectos 3D. Na secção seguinte serão enunciados alguns desses trabalhos.

2.4 Navegação e Visualização em Ambientes Imersivos

Tendo-se alcançado a capacidade de utilizar ambientes imersivos, existem várias possibilidades para manipular os resultados obtidos nas interrogações. Ghirotti e Morimoto [9] desenvolveram um sistema de interacção baseado em gestos tridimensionais para ambientes virtuais. Primeiramente foi desenvolvido um sistema de visão computacional estéreo para o reconhecimento de gestos. Seguidamente foi construída uma interface baseada em gestos híbrida, que combina gestos naturais e simbólicos para a interacção em ambientes virtuais. O sistema de reconhecimento de gestos é constituído por duas partes independentes: o sistema da mão direita, baseado em gestos naturais, e o sistema da mão esquerda, baseado na transição de poses descritas numa máquina de estados. As tarefas de movimentação são definidas pelos movimentos da mão direita, enquanto que a selecção e a rotação de objectos é definida pelos movimentos da mão esquerda. A velocidade com que o movimento é realizado no mundo virtual depende da distância da mão à posição inicial (de descanso). É possível ver duas poses usadas no sistema na Figura 2.17. O sistema de

visão computacional é responsável por monitorizar as mãos e a cabeça do utilizador durante a interacção.

Figura 2.17: Poses utilizadas no sistema de Ghirotti e Morimoto [9]: a) pose associada à intenção de interacção; b) pose associada à posição de descanso.

Recentemente Marton et al. [17] criaram a interface 3D FOX, que permite aos utilizadores pouco experientes inspecionar objectos 3D em diferentes escalas, através de rotações, *zoom* e panorâmicas. O ambiente virtual resultante combina facilidade de utilização com uma representação de alta fidelidade, como se pode ver na Figura 2.18. O método proposto é capaz de se adaptar a diversos dispositivos de entrada de dados, incluindo técnicas de visualização para interacções com mãos livres. A técnica *Focus Sliding Surface* (FOX) consiste na translação e rotação obtidas com o movimento de um ponteiro, restringindo o movimento do ponto de interesse sobre a superfície do modelo. O *zoom* automático depende da velocidade do movimento do utilizador, sendo o *zoom in* utilizado para velocidades mais baixas, e o *zoom out* para velocidades mais altas. A colocação do ponto de interesse é feita de forma automática, ajustando a sua profundidade durante a interacção, sendo usada para manter a superfície que está a ser manipulada numa boa posição de visualização.

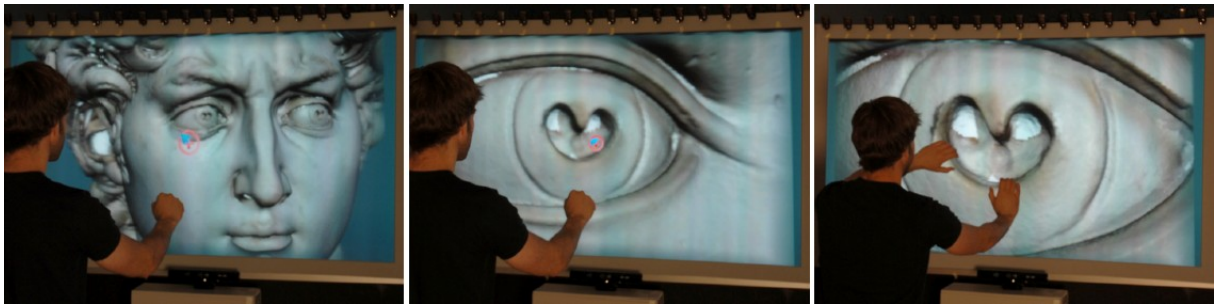


Figura 2.18: Exploração natural imersiva do modelo David no 3D FOX de Marton et al. [17].

Mais tarde, Iacolina et al. [13] desenvolveram um sistema com uma interface que permite a utilizadores casuais observar objectos 3D em diferentes escalas, fazendo *zoom*, movendo e rodando os objectos, através de manipulações naturais e intuitivas com as mãos. Muita da interacção do utilizador é substituída por movimentos naturais e simples, o que reduz a complexidade da interface e o fardo do utilizador. O sistema permite interacções em superfícies multi-toque e de mãos-livres, como se exemplifica na Figura 2.19. Os

gestos para manipular os modelos 3D são bi-manuais e imitam os gestos de pegar, rodar e mover no mundo real, o que simplifica estas operações. Para suportar estas manipulações, Iacolina et al. [13] implementaram um *tracker* baseado no sensor de profundidade do Kinect.

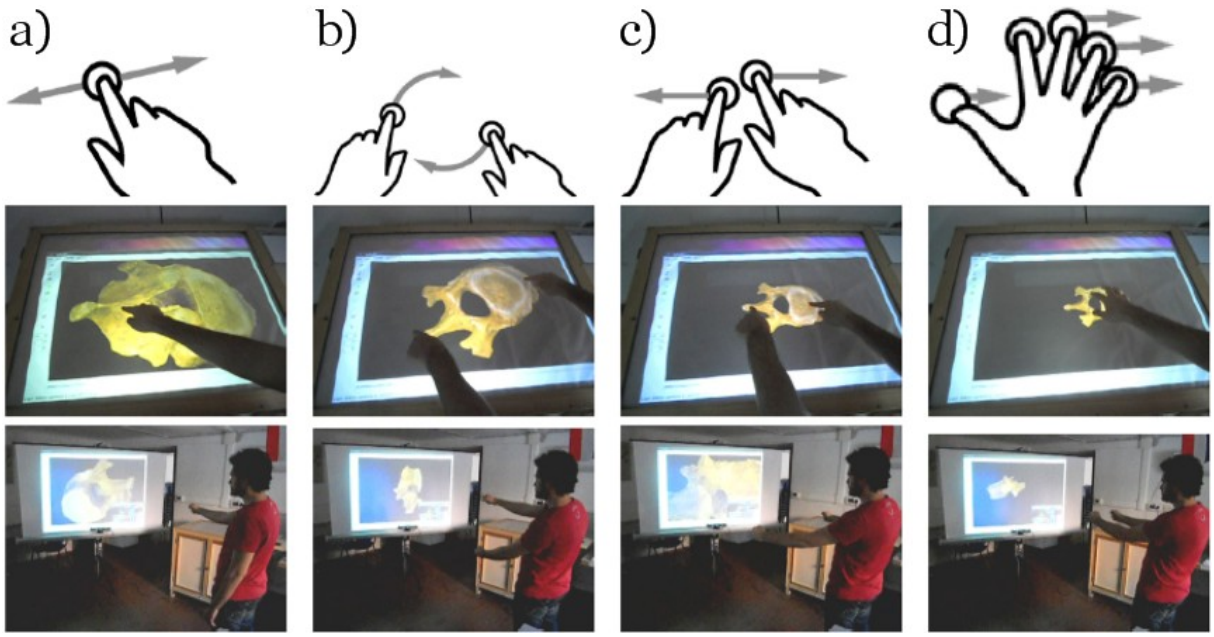


Figura 2.19: Manipulações multi-toque e mãos livres no sistema de Iacolina et al. [13]: a) rotação, b) rotação do eixo Z, c) zoom, d) deslocação.

Com o objectivo de criar um ambiente semi-imersivo que permitisse criar maquetes a partir de gestos, De Araùjo et al. [4] desenvolveram o Mockup Builder. A interacção pretendida era natural, permitindo criar e manipular maquetes, fazendo uso de esboços e gestos, na superfície 2D e na superfície 3D acima desta, como se pode ver na Figura 2.20. Esta interacção combina a detecção contínua dos movimentos das mãos e dos dedos no espaço acima ou directamente na mesa multi-toque. Tal foi possível devido ao melhoramento de tecnologias de baixo custo. Muitos dos dispositivos permitem também a manipulação com as duas mãos, verificar a postura do corpo, entre outras. O objectivo deste sistema era aproximar o desenvolvimento 3D de modelos do desenvolvimento manual físico. Os gestos 3D escolhidos tiveram em conta os gestos utilizados fisicamente para criar uma maquete. O sistema criado combina uma visualização estereoscópica com uma superfície multi-toque e detecção tridimensional dos dedos. É possível, através dos gestos e dos traços refinar as formas criadas. Ao combinar o poder da interacção bi-manual com a flexibilidade do espaço contínuo, a transição entre os gestos na superfície multi-toque e os gestos tridimensionais torna-se simples, permitindo escolher a melhor interacção de acordo com a tarefa a realizar. Os testes realizados, em comparação com a ferramenta de modelação 3D Rhino3D, demonstraram uma maior rapidez na criação de modelos com o Mockup Builder.

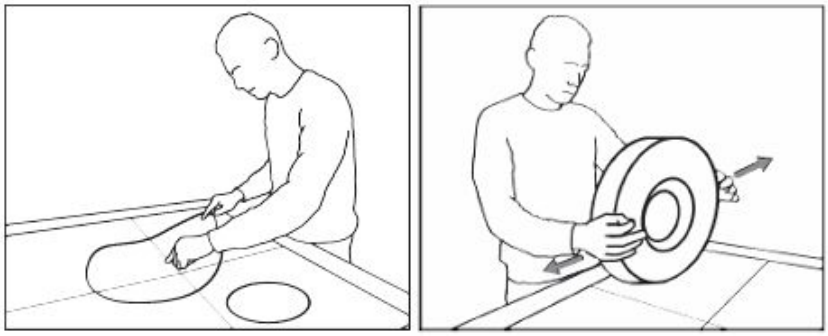


Figura 2.20: Mockup Builder, de De Araùjo et al. [4]: Escala: na superfície da mesa (esquerda) e acima da mesa (direita).

Uma tentativa de alcançar uma manipulação natural em ambientes virtuais foi feito por Yin [31], que focou o seu trabalho na criação de uma interface interactiva baseada em gestos que permitisse aos utilizadores manipular e comunicar, sem qualquer restrição artificial. O objectivo era permitir uma interacção natural, transparente cognitivamente e sem esforço. Para tal criou uma ferramenta para análise gestual baseada em modelos de Markov abstractos, utilizando detecção em tempo real de gestos naturais filtrando os movimentos que não forneçam qualquer tipo de informação. Para estimar um gesto, um modelo 3D simplificado com as posições da ponta dos dedos é utilizado para os gestos manipulativos, enquanto que para gestos comunicativos apenas é necessário saber o significado do gesto e não a sua posição exacta e outros parâmetros espaciais. O contexto, a velocidade dos movimentos, padrões repetitivos e poses da mão permitem diferenciar gestos manipulativos de gestos comunicativos e gestos de não-gestos. Para monitorizar a pose das mãos, Yin utiliza a subtracção do fundo que aprende a diferença média de cada *pixel* na profundidade da imagem.

Todos os trabalhos apresentados anteriormente são não intrusivos, necessitando apenas das mãos do utilizador para interagir com os objectos 3D. De entre os trabalhos apresentados apenas dois implementam um ambiente 3D de realidade virtual imersivo, abordagem que acreditamos ser a melhor para possibilitar aos utilizadores uma fácil navegação e visualização dos resultados.

2.5 Discussão

A recuperação de objectos 3D pode receber a especificação da procura de diferentes formas. Foram apresentados trabalhos relevantes para a especificação de interrogações e ainda exploração de resultados e manipulação de objectos 3D. Na Tabela 2.1 é possível observar sumariamente as características dos trabalhos apresentados.

Existem várias soluções que recorrem a esboços para a recuperação de modelos 3D. Algumas destas soluções permitem igualmente manipular os modelos obtidos, como é exemplo o trabalho realizado por Santos et al. [25]. Existe também o exemplo de Funkhouser et al. [8] que combina procura por esboço e por texto na tentativa de refinar as pesquisas. Um dos problemas mais comuns foi a dificuldade dos utilizadores em realizar esboços rigorosos (Lee et al. [16]), o que traz problemas a outros sistemas que podem devolver objectos errados se o esboço for demasiado simples (Shin e Igarashi [27]). Para que estas

soluções sejam mais eficazes, o estudo de Eitz et al. [6] mostra que a localização espacial do esboço bem como a ordem pela qual os traços são desenhados podem ser importantes.

Entre todos os trabalhos, os de Iacolina et al. [13] e Marton et al. [17] destacam-se por possibilitar ao utilizador que observe detalhadamente os modelos obtidos recorrendo à visualização destes em diferentes escalas. De entre os trabalhos apresentados, o de Nakazato e Huang [20] e o de Pascoal [21] implementam um ambiente 3D de realidade virtual imersivo. Crê-se que esta seja a melhor abordagem para possibilitar aos utilizadores uma exploração e manipulação de objectos simples e natural.

Cada um dos trabalhos apresentados possui características importantes nas áreas de recuperação e visualização de objectos 3D. É possível concluir que, unindo essas mesmas características num só sistema, se pode combinar os pontos fortes de cada sistema e criar um sistema robusto e simples para a recuperação de objectos 3D. Foi com base na necessidade de uma solução que unificasse estas características que se concretizou o presente trabalho, permitindo trabalhar num campo ainda pouco explorado e desenvolver uma ferramenta eficaz.

		Imersivo	*Exemplo*	*Gestos*	*Esboço*	*Manipulação 3D*
RECUPERAÇÃO	Masterpiece [19]		✔		✔	✔
	Funkhouser [8]		✔		✔	
	Pu e Ramani [22]				✔	
	Cao [3]				✔	
	Magic Canvas [27]				✔	✔
	Lee [16]				✔	
	LSketchIt [25]				✔	✔
	Lee e Funkhouser [15]				✔	
	Data Miming [12]			✔		✔
	STELA [23]				✔	
	Shao [26]				✔	
	Saavedra [24]				✔	
	Xie [29]				✔	
	Xue [30]				✔	
	3D MARS [20]	✔	✔			✔
	Im-ORet [21]	✔	✔			✔
	Henriques [11]	✔		✔		✔
INTERACÇÃO	Grandhi [10]			✔		
	Ghirotti [9]			✔		✔
	3D FOX [17]					✔
	Iacolina [13]			✔		✔
	Mockup Builder [4]			✔	✔	✔
	Yin [31]			✔		

Tabela 2.1: Tabela comparativa dos métodos apresentados.

Capítulo 3

Especificação de Interrogações para Recuperação de Objectos 3D

Neste capítulo propõe-se um sistema imersivo para especificação de interrogações e recuperação 3D, com o objectivo de ultrapassar as limitações presentes nos sistemas existentes. Limitações tais como a ausência de liberdade para criar e observar de diferentes ângulos os objectos 3D, os resultados dependerem da informação associada aos objectos e não apenas do seu formato e ainda a complexidade de alguns sistemas, cuja utilização mostra ser uma experiência pouco familiar para os utilizadores. O objectivo passou por utilizar equipamentos que permitissem visualizar, especificar interrogações e interagir com os resultados num ambiente de realidade virtual, utilizando técnicas de recuperação de objectos 3D existentes para implementar o sistema. Para explorar esta abordagem, desenvolveu-se um protótipo simples de usar até pelo utilizador mais inexperiente. Esta solução recebeu o nome ASfOR (Air-Sketching for Object Retrieval), uma vez que os esboços são realizados no ar e são utilizados na pesquisa e na recuperação de objectos.

3.1 Configuração do Hardware

O sistema, desenvolvido no Laboratório João Lourenço Fernandes, localizado no campus do Taguspark, utiliza o sistema de seguimento de marcadores Optitrack, composto por dez câmaras Motion Capture da NaturalPoint. Em cada dispositivo que o utilizador usa estão colocados marcadores, que permitem calcular não só a sua posição no espaço tridimensional como também a sua orientação. Seguidamente apresenta-se cada um dos dispositivos usados, que possuem marcadores.

É utilizado o HMD de realidade virtual Oculus Rift para visualizar o ambiente virtual. Estes óculos possuem displays OLED que oferecem uma resolução de 1280x800 píxeis (640x800 por olho). Com a utilização de marcadores colocados neste HMD, é possível detectar se o utilizador deu passos e/ou alterou a sua orientação, actualizando a sua posição no mundo virtual. Para permitir liberdade ao utilizador, este está equipado com uma bateria e um receptor/emissor que permite ver o ambiente virtual do sistema. Estes equipamentos estão colocados numa mochila de alças largas e almofadadas, permitindo conforto e

liberdade de movimentos.

Para permitir ao utilizador interagir com a aplicação e criar os seus esboços, é utilizado um comando Wiimote. Este não possui fios, sendo utilizado normalmente para jogar. Os botões do comando permitem ainda interagir com o menu do sistema.

Para representar o menu, é usada uma simples pulseira para a mão, com marcadores. Esta destina-se a representar a localização da outra mão do utilizador e consequentemente do menu. É possível ver os equipamentos utilizados na Figura 3.1.

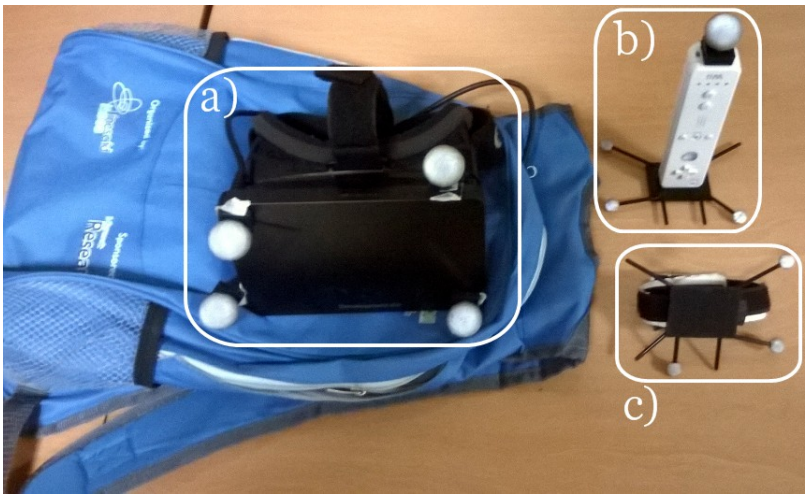


Figura 3.1: Equipamentos utilizados no Laboratório João Lourenço Fernandes, para desenvolver o sistema: a) Oculus Rift; b) Comando Wiimote; c) Pulseira.

3.2 Arquitectura

A arquitectura criada para o sistema (representada na Figura 3.2) foi idealizada de modo a permitir criar esboços tridimensionais para interrogações de objectos 3D, num ambiente imersivo. Assim, escolheu-se dividir o sistema em dois grandes módulos, o Módulo de Interacção, que contém toda a lógica de interacção com o sistema, e o Módulo de Recuperação, que permite realizar a recuperação de objectos 3D.

O Módulo de Recuperação seria responsável por indexar e devolver os objectos 3D. Este deve receber um objecto e devolver um conjunto de objectos de acordo com o seu grau de semelhança para com o objecto da interrogação.

No Módulo de Interacção, está criado o ambiente virtual onde o utilizador interage com o sistema. Este módulo possui a lógica que permite especificar uma interrogação para a poder enviar para o Módulo de Recuperação, e ainda manipular os objectos que coloca na cena, sejam estes auxiliares para a sua interrogação ou resultantes da mesma. Por fim, este módulo tem a responsabilidade de gerir os movimentos do utilizador através do Módulo de Seguimento, bem como as alterações necessárias resultantes no Módulo de Visualização. É responsável por receber os dados dos diferentes dispositivos que interagem com o sistema.

Para a implementação do sistema era necessária uma plataforma de desenvolvimento que permitisse facilidade de criação, oferecendo diferentes ferramentas e possibilidades de integração com os dispositivos de entrada de dados. Assim, foi escolhido o Unity 3D, que permite uma gestão flexível do projecto, da cena e dos dispositivos de entrada de dados, possuindo grande compatibilidade com diversos dispositivos. Disponibilizando uma prototipagem bastante rápida, possui ainda uma recente parceria com a empresa que desenvolveu os HMD *Oculus Rift*, permitindo o suporte automático dos mesmos em qualquer projecto.

Para a realização da recuperação de objectos 3D, foi utilizada uma extensão da ferramenta EnContRA, de Dias et al. [5]. Esta define-se como uma meta-ferramenta arquitectural que fornece blocos de construção genéricos para criar soluções específicas para um domínio de interrogações. Neste caso, foi criada uma solução para interrogações de objectos 3D.

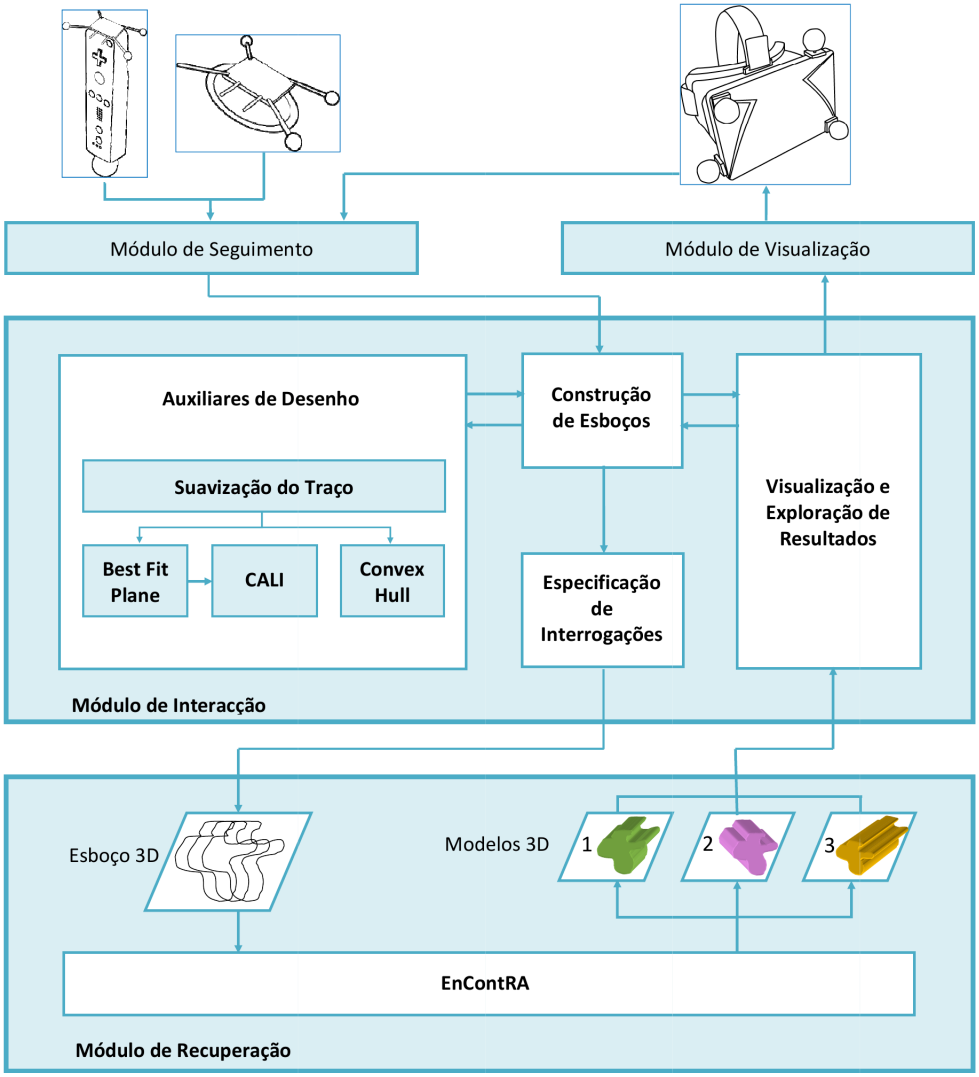


Figura 3.2: Arquitectura do sistema.

3.2.1 Módulo de Recuperação

O Módulo de Recuperação é responsável por indexar e devolver objectos 3D. Como objectos 3D são utilizados os modelos presentes na base de dados do sistema 3D Model Search Engine. Estão presentes na colecção um total de 1814 modelos, que foram recolhidos de diferentes fontes na internet.

Como algoritmo de correspondência de semelhança foi utilizado o descritor *Spherical Harmonic Descriptor*, de Kazhdan et al. [14]. Sendo este utilizado no sistema com o qual se vai comparar o protótipo, a decisão recaiu em utilizar o mesmo, para que a comparação apenas diferisse no método de criar esboços.

Um dos problemas na comparação entre formas 3D passa pela necessidade de que dois objectos iguais sejam considerados iguais, apesar de estarem representados com diferentes rotações. Era necessário, ao comparar duas formas, encontrar um método que permitisse medir as semelhanças ignorando a transformação da rotação. Cada forma deve ser descrita podendo variar a sua transformação espacial, sendo a semelhança obtida independentemente da sua rotação e escala.

Para ultrapassar esta limitação, Kazhdan et al. [14] criaram um método baseado em harmónicas esféricas que permite obter a representação da rotação invariante de qualquer objecto. Este permite tornar descritores que dependem da rotação independentes. O *Spherical Harmonic Descriptor* é a representação da rotação invariante do descritor *Gaussian Euclidean Distance Transform* (GEDT).

Para alcançar esta invariância, o modelo 3D é decomposto num conjunto de funções definidas por esferas concêntricas, usando harmónicas esféricas para descartar informação em cada uma. São necessários diversos passos, como ilustrado na Figura 3.3.

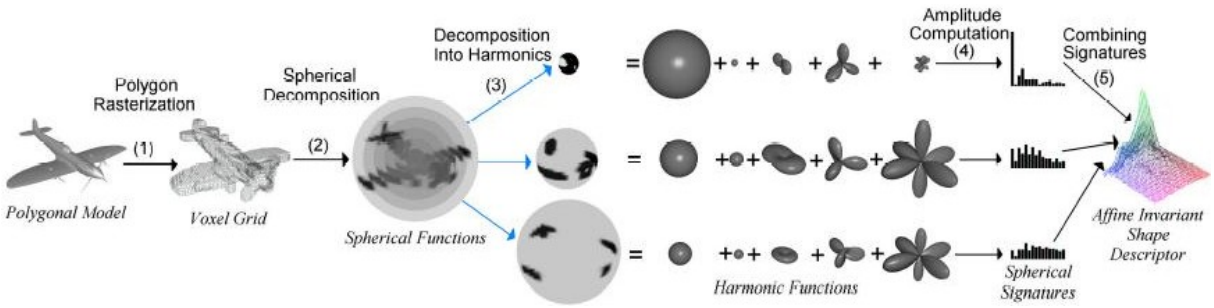


Figura 3.3: Computação de descritores de forma que usam harmónicas esféricas (Kazhdan et al. [14]).

Este descritor permite ainda um aumento de *performance* na correspondência entre formas de objectos e uma melhoria do tempo necessário para realizar a correspondência. Ao reduzir a dimensionalidade do descritor, a sua representação compacta torna a comparação entre modelos mais eficiente.

Para realizar as interrogações o descritor permite extrair e indexar as características de cada objecto. Aquando da interrogação, estas características indexadas são então comparadas com as do objecto da interrogação, permitindo devolver os resultados mais semelhantes.

Este descritor é usado na já mencionada ferramenta EnContRA. Esta é uma ferramenta extensível criada por Dias et al. [5]. Tendo sido criada em Java, fornece a base para criar um mecanismo de recuperação e indexação de objectos de multimédia. No nosso caso, foi utilizada para a criação de um mecanismo de recuperação de objectos tridimensionais.

A ferramenta EnContRA fornece um conjunto de blocos vazios de *software*, definindo apenas os componentes principais e as suas ligações. Por possuir uma arquitectura bastante modular e flexível permite estender e adicionar novos comportamentos sempre que necessário. Os blocos desta ferramenta oferecem aos programadores a estrutura comum para as tarefas de recuperação de informação, tais como indexação, pesquisa e especificação da interrogação. É possível ver a arquitectura do sistema na Figura 3.4.

Os módulos existentes no EnContRA são:

- Storage: possui a API de armazenamento que permite escolher diferentes técnicas de armazenamento numa base de dados.
- Indexing: possui a API dos mecanismos e operações de indexação (tais como adicionar, remover, etc).
- Query Processing: define as operações e os operadores das interrogações.
- Descriptor Extraction: define a API para descrever e extrair descritores, bem como métodos comuns e operações usadas durante a extracção de descritores.
- Search: possui a API de pesquisa que recebe informação dos indexes e dos objectos armazenados.

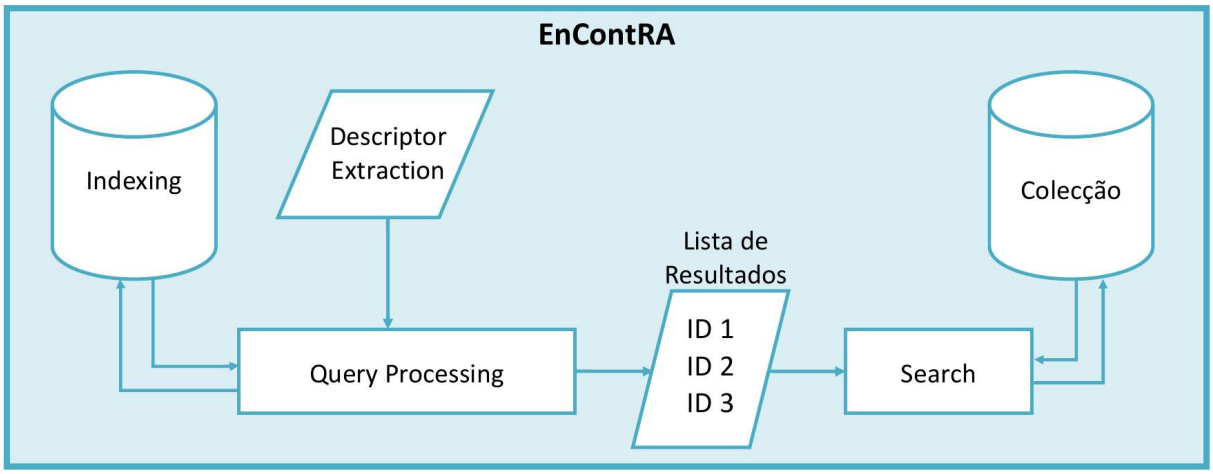


Figura 3.4: Arquitectura do sistema EnContRA, desenvolvido por Dias et al. [5].

Foi necessário adaptar esta ferramenta para poder realizar pesquisas de objectos semelhantes a objectos esboçados. O primeiro passo é a indexação dos objectos disponíveis para serem devolvidos nas interrogações. Esta é persistente, sendo apenas necessário ser realizada uma vez no computador onde o protótipo será corrido. Este é um passo fundamental da ferramenta EnContRA. A informação extraída dos objectos 3D é indexada, tornando os objectos disponíveis para serem procurados pela API de Query já mencionada.

De seguida foi escolhido o método de armazenamento dos objectos 3D. As possibilidades eram deixá-los em memória ou deixá-los numa base de dados. A abordagem mais simples foi carregar os objectos em memória. Toda a informação do modelo de dados é mantida em memória à espera de pedidos. Esta

abordagem é rápida e útil em prototipagem e realização de testes, servindo para o propósito do nosso sistema.

Por fim, é então possível realizar uma pesquisa. O protótipo converte o esboço realizado pelo utilizador para um ficheiro do tipo .off (Object File Format[1]) e envia-o para a ferramenta EnContRA. A ferramenta itera todos os objectos 3D indexados para encontrar os resultados mais semelhantes. É então criado um ficheiro de texto com o nome dos 10 modelos mais semelhantes. Por fim o sistema acede a esse ficheiro para saber que objectos deve carregar e apresentar no ambiente virtual.

3.2.2 Módulo de Interacção

O Módulo de Interacção é um pilar bastante importante do sistema. Este módulo permite a comunicação com os Módulos de Recuperação, de Seguimento e de Visualização. É também onde está todo o ambiente virtual no qual o utilizador interage. É responsável por gerir toda a lógica necessária para aplicar as interacções do utilizador. Contém o módulo de Construção de Esboços, que permite criar os esboços que são usados pelo módulo de Especificação de Interrogações. Este permite fornecer a informação necessária ao Módulo de Recuperação para encontrar objectos semelhantes. Contém ainda o módulo de Visualização e Exploração de Resultados, que permite interagir com os resultados obtidos da interrogação, e o módulo Auxiliares de Desenho, que contém algoritmos que actuam como assistentes do utilizador, permitindo corrigir o traço do utilizador e criar sólidos ou polígonos a partir do que esboçou, sem ter de realizar um pedido de interrogação.

Construção de Esboços

Para construir um objecto através de um esboço 3D são utilizados diversos componentes. Durante a criação de um esboço, é possível criar traços. Os traços são a base para a criação do desenho. A partir de um traço os vários auxiliares de desenho conseguem calcular novos traços, polígonos e objectos sólidos, usando a informação espacial dos traços. É possível também utilizar sólidos pré-criados, adicionando-os ao esboço.

Este módulo recebe as posições das mãos do utilizador. Desta forma obtém todos os seus movimentos, rotações e informações. Ao processar esta informação, encontra os pontos nos quais o esboço do utilizador deve estar, criando-o no ambiente virtual. Isto permite que os traços desenhados apareçam correctamente no ambiente virtual, fazendo corresponder a mão real do utilizador com a sua representação no mundo virtual, sem discrepâncias.

Ao colocar um sólido pré-criado, o utilizador faz uso de ambas as mãos. A posição de cada mão influencia o tamanho do sólido e a posição do mesmo. Tal já não acontece com resultados dos auxiliares de desenho e sugestões, que são colocados de acordo com a posição dos traços criados.

[1] Os ficheiros Object File Format (.off) são usados para representar a geometria de um modelo 3D, especificando os polígonos da superfície do modelo.

Especificação de Interrogações

Quando o utilizador dá um comando para ser realizada uma interrogação, esta é especificada no submódulo Especificação de Interrogações, existente dentro do Módulo de Interacção. O utilizador efectua o seu esboço, podendo ainda juntar-lhe sólidos pré-criados, que permitem completar/auxiliar o esboço. Quando estiver satisfeito com o objecto que esboçou, o utilizador ordena a realização de uma interrogação. O módulo Especificação de Interrogações retira informações do objecto criado, transformando o esboço num ficheiro .off (Object File Format) e exportando-o do protótipo. É então chamado um comando que recebe o caminho do ficheiro e executa a ferramenta EnContRA (Módulo de Recuperação). A ferramenta determina quais os objectos mais semelhantes e cria um ficheiro de texto com os caminhos para os mesmos. Este ficheiro de texto é depois acedido pelo Módulo de Interacção que tem depois a tarefa de colocar os objectos em cena, para que o utilizador os possa observar.

Visualização e Exploração de Resultados

Este módulo é responsável por lidar com toda a lógica que permite apresentar qualquer elemento no espaço 3D, desde um objecto, ao resultado de criar um traço, passando pela colocação de um sólido. Permite apresentar o resultado de esboçar um traço, de substituir um esboço por um resultado, de alterar a cor de um objecto ou a grossura de um traço. Ao comunicar directamente com o Módulo de Visualização, é responsável por comunicar com os *scripts* do Oculus Rift, fazendo o mapeamento para a visualização no ecrã.

Este tipo de visualização, que permite a exploração do mundo tridimensional, é intuitiva, não necessitando de experiência para ser usada. O uso do Oculus Rift permite uma experiência imersiva, que vai além da visualização bi-dimensional numa lista.

Os resultados de uma interrogação ou as sugestões do sistema são também apresentados por este módulo. Os resultados devolvidos pelo Módulo de Recuperação ou pelos Auxiliares de Desenho são apresentados num menu em forma de paleta, que se encontra numa das mãos do utilizador. Estes apresentam-se dispostos de forma equidistante, por cima da paleta. Cada objecto roda em torno de si, permitindo observar os objectos não de um só ângulo. O utilizador pode observar cada objecto com maior detalhe. Para tal, pode aproximar ou afastar o menu de si, seleccionar o objecto para o ver numa escala maior e ainda ver uma pré-visualização do objecto seleccionado no local do esboço, para saber como vai ser feita a substituição.

3.2.3 Módulo de Seguimento e Módulo de Visualização

Para interagir com os dispositivos utilizados, foram implementados dois módulos. Na Figura 3.5 é possível ver um utilizador a interagir com o sistema. O Módulo de Seguimento é responsável por gerir os movimentos capturados pelas câmaras NaturalPoint. O sistema de marcadores permite determinar a posição e os movimentos das mãos do utilizador, bem como a posição espacial da sua cabeça, o que lhe permite movimentar-se. Ao gerir os dados passados através dos botões do comando, é possível desenhar e fornecer comandos para as acções desejadas, o que resulta no objectivo principal de interacção. Ao serem usados

marcadores no comando e na pulseira auxiliar para o menu, os dispositivos são menos intrusivos do que a necessidade de usar luvas ou fios.

O Módulo de Visualização permite mostrar ao utilizador o ambiente virtual onde este interage. A utilização do HMD Oculus Rift permite imersão ao utilizador, que apenas vê o cenário virtual. Tal dá-lhe a possibilidade de sentir que se encontra dentro do ambiente virtual.

Figura 3.5: Utilizador a interagir com o sistema.

3.3 Menu em Paleta

Como já anteriormente mencionado, o sistema possui um menu. Este é representado usando uma metáfora da paleta de um pintor. Um pintor dispõe as cores que quer utilizar, combina-as para formar novas cores. Neste caso a paleta dispõe funcionalidades para ajudar o utilizador a criar um esboço, combinando diversas acções. O objectivo era que o utilizador sentisse que escolher uma funcionalidade era tão fácil como o pintor escolher uma cor. Pretendeu-se criar um paralelo entre o pintor e o utilizador do sistema, porque este também irá criar e esboçar as suas ideias, à semelhança de um pintor que cria a sua obra de arte.

A ideia para este menu em paleta surgiu após a visualização do vídeo World Builder, de BranitFX e Pictures [2]. Nesta curta-metragem um homem utiliza uma paleta virtual, com diversas ferramentas, para criar um ambiente virtual para uma mulher. Através da sua paleta ele é capaz de colocar objectos, manipulá-los, alterar cores e formatos, entre outros. Torna-se um criador de uma obra de arte, tal como um pintor, mas de um mundo virtual. O seu menu contém todos os elementos de que necessita, estando acessível de forma rápida e simples. A partir destas ideias, tentou-se criar um menu que permitisse a mesma liberdade, sendo necessário contudo reduzir a sua complexidade em termos de ferramentas.

É a partir do menu que se realiza a interrogação por objectos semelhantes e no qual são apresentados os resultados. É possível ao utilizador aproximar e afastar a paleta de si ao mexer a sua mão, podendo

observar os resultados ou até qualquer outro ícone do menu.

Interagindo com os diferentes ícones do menu é possível escolher várias definições para os traços que podem ser desenhados pelo utilizador. Há a possibilidade de alterar a cor do traço e ainda a sua espessura. É ainda possível seleccionar sólidos pré-criados para colocar na cena. O utilizador pode escolher entre um cilindro, uma esfera, um paralelepípedo e um prisma. Estes destinam-se a auxiliar a criação de um esboço mais completo, permitindo um menor esforço por parte do utilizador.

Para colocar um sólido pré-criado na cena, após se escolher o mesmo, é possível escolher a sua posição e tamanho, movendo ambas as mãos para o posicionar e afastando/aproximando as mãos uma da outra para definir o tamanho. Quando o utilizador estiver satisfeito com o posicionamento confirma a colocação da primitiva pressionando um dos botões do Wiimote.

É ainda possível manipular tanto os sólidos como os objectos 3D obtidos pelo Módulo de Recuperação. Para tal deve-se mover o Wiimote para cima do objecto 3D que se quer mover, pressionando de seguida o botão para se mover o objecto livremente.

Cada uma destas funcionalidades do menu está identificada pelo seu ícone (Figura 3.6). Este tipo de menu proporciona uma experiência familiar e natural aos utilizadores, sendo fácil aceder às várias funcionalidades do sistema.

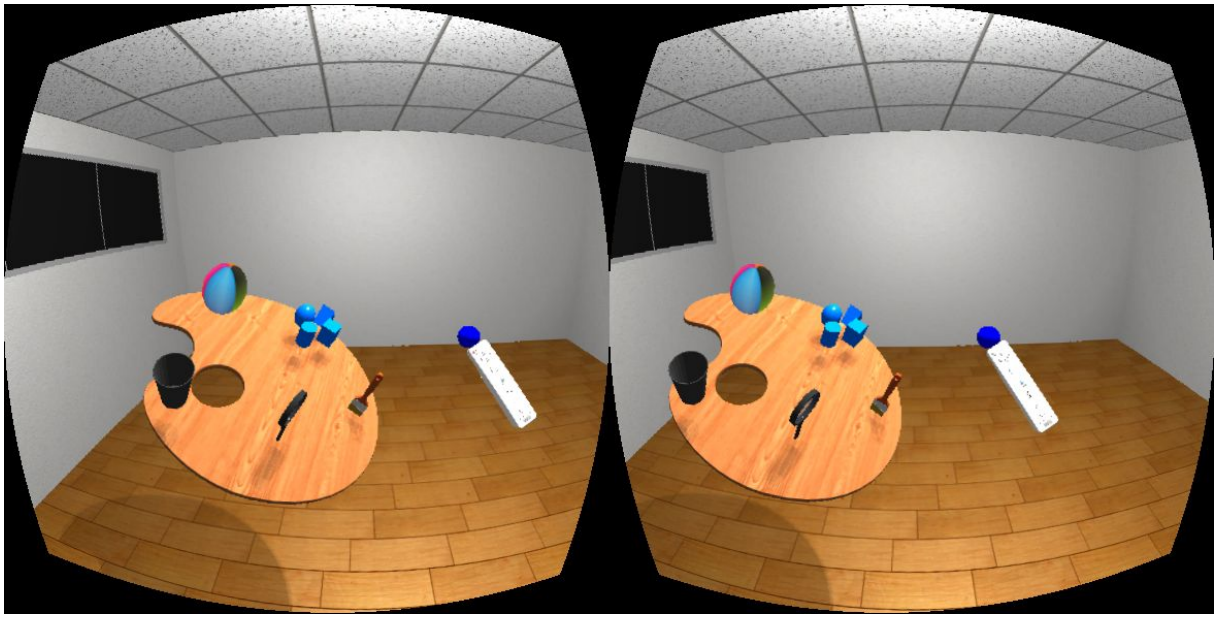


Figura 3.6: Menu e ambiente virtual do sistema.

3.4 Lista de Sugestões

Após a realização de uma interrogação, é essencial apresentar os resultados de forma interactiva, permitindo interagir com os mesmos facilmente. Apesar de a visualização não ser o foco desta dissertação, é um elemento bastante importante, estando directamente ligado à imersividade no ambiente. Era necessário apresentar os resultados de forma natural, que permitisse a sua observação cuidada e, acima de tudo,

apresentasse os resultados de forma mais informativa do que uma imagem bi-dimensional. Seguindo uma solução simples, resolveu-se tirar partido da existência do menu, já anteriormente descrito. Este é uma ferramenta essencial do trabalho e serve de base para todas as tarefas que o utilizador executa.

Assim, concluiu-se que seria pertinente adicionar a lista de resultados ao menu. A lista de resultados possui objectos 3D resultantes da interrogação realizada, também a partir do menu, pelo que a ligação se torna natural. Dos objectos 3D obtidos durante a recuperação são apresentados os cinco resultados mais semelhantes, para substituir o esboço realizado (Figura 3.7). O total de cinco resultados permite que os esboços consigam ser dispostos na paleta, um elemento ligado a todo o processo da criação dos esboços, evitando ao mesmo tempo que o utilizador seja sobrecarregado por um grande número de resultados que precise de observar.

Na criação da lista de resultados para o sistema, cada objecto é representado visualmente como um objecto em ponto pequeno. A lista de resultados encontra-se acima do menu, com cada objecto a rodar em torno de si. Cada objecto actua como um ícone. Para inspeccionar um objecto o utilizador carrega no mesmo. Este é mostrado acima de todos os resultados, numa escala maior. Ao tocar no objecto que está a ser inspecionado, é possível substituir o esboço realizado pelo resultado. Deste modo é possível fazer uma substituição rápida carregando duas vezes no mesmo botão. O objecto assume automaticamente a escala e posição do esboço. Esta funcionalidade é útil, dado que haveria a possibilidade de se tornar difícil para o utilizador substituir e escalar manualmente o seu resultado.

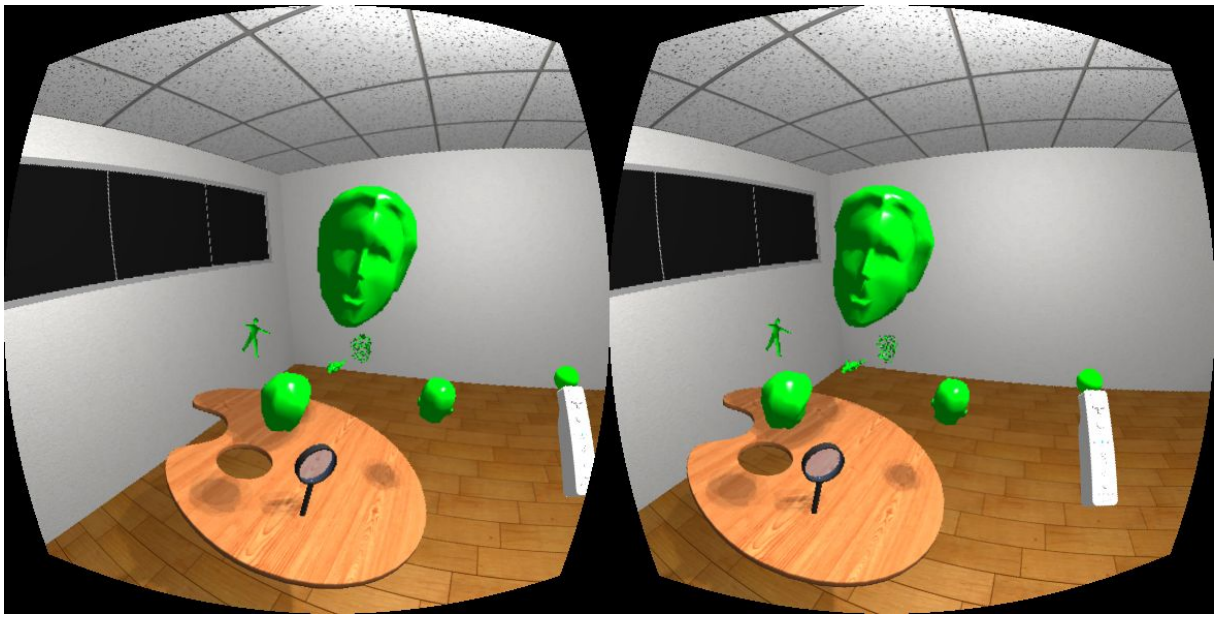


Figura 3.7: Lista de resultados com os objectos mais semelhantes à interrogação realizada.

3.5 Auxiliares de Desenho

Como já mencionado, o módulo Auxiliares de Desenho actua como assistente do utilizador, enquanto este não termina o seu esboço e realiza a interrogação. Existe à disposição do utilizador um modo de

desenho que permite corrigir o traço do seu esboço. Sendo este realizado no espaço, há a possibilidade de o utilizador não conseguir criar traços estritamente direitos, podendo oscilar ligeiramente com a sua mão. Por isso, o sistema realiza uma Suavização do Traço.

Ainda, em cada momento que o utilizador pára de esboçar, são-lhe apresentadas cinco sugestões para melhorar o seu esboço. Estas hipóteses são criadas automaticamente pelo módulo, sem recorrer ao Módulo de Recuperação. O objectivo das sugestões é tentar aproximar o que o utilizador desenhou da ideia que está a tentar esboçar.

A primeira sugestão é a simples possibilidade de manter o que está esboçado até ao momento, sem nenhuma alteração. Como segunda sugestão, é realizado o algoritmo Convex Hull no esboço, tendo como resultado um sólido. Este tem por base o algoritmo descrito por Barber et al. [1].

A terceira e a quarta sugestões são a computação do algoritmo Best Fit Plane. O módulo pega nos traços esboçados pelo utilizador e encontra o melhor plano aproximado que contém os traços, projectando-os nele e recortando um polígono no plano para a terceira sugestão, e projectando o traço no plano para a quarta sugestão, criando um novo traço.

Por fim, a quinta sugestão utiliza a computação do Best Fit Plane para encontrar o melhor plano aproximado que contém os traços esboçados, utilizando uma modificação da ferramenta CALI (de Fonseca et al. [7]) no plano encontrado. O resultado é um polígono com a forma geométrica devolvida pela ferramenta CALI.

Na Tabela 3.1 é possível ver o resultado da aplicação de cada algoritmo.

Técnica	Input	Output
Suavização	Traço	Traço
Best Fit Plane	Traço	Traço; Polígono
CALI	Traço	Polígono
Convex Hull	Traço	Sólido

Tabela 3.1: Resultado da aplicação de cada algoritmo.

3.5.1 Suavização do Traço

A Suavização do Traço permite criar linhas no esboço completamente direitas, sem nenhuma perturbação. Quando o utilizador começa a esboçar, os dois primeiros pontos que cria servem de base para o traço que vai criar. Estes dois primeiros pontos criam o segmento inicial. A partir do terceiro ponto, cada ponto seguidamente desenhado é verificado de acordo com o vector direcção da recta, formado pelos dois pontos iniciais.

Se o ângulo entre o vector director $\vec{AB}$ dos pontos iniciais A e B e o vector $\vec{BC}$ do novo ponto C

com o penúltimo ponto, B, for menor do que um limiar k escolhido previamente, a linha continuará a ser a mesma. Se for maior, será criada uma nova linha, usando os pontos do vector $\vec{BC}$. Cada ponto é expressado por (x, y, z).

Caso a linha seja a mesma, e mantendo sempre o ponto inicial A da linha, é encontrado um novo ponto P que será o último da linha, de acordo com a seguinte equação:

$$P = A + \hat{AB} \times \sqrt{(C_x - A_x)^2 + (C_y - A_y)^2 + (C_z - A_z)^2} \tag{3.1}$$

Com este novo último ponto encontrado, o sistema pega na linha já criada e altera o seu último ponto, susbstituindo pelo novo. Na Figura 3.8 é possível ver dois traços esboçados, um sem suavização e o outro com suavização.

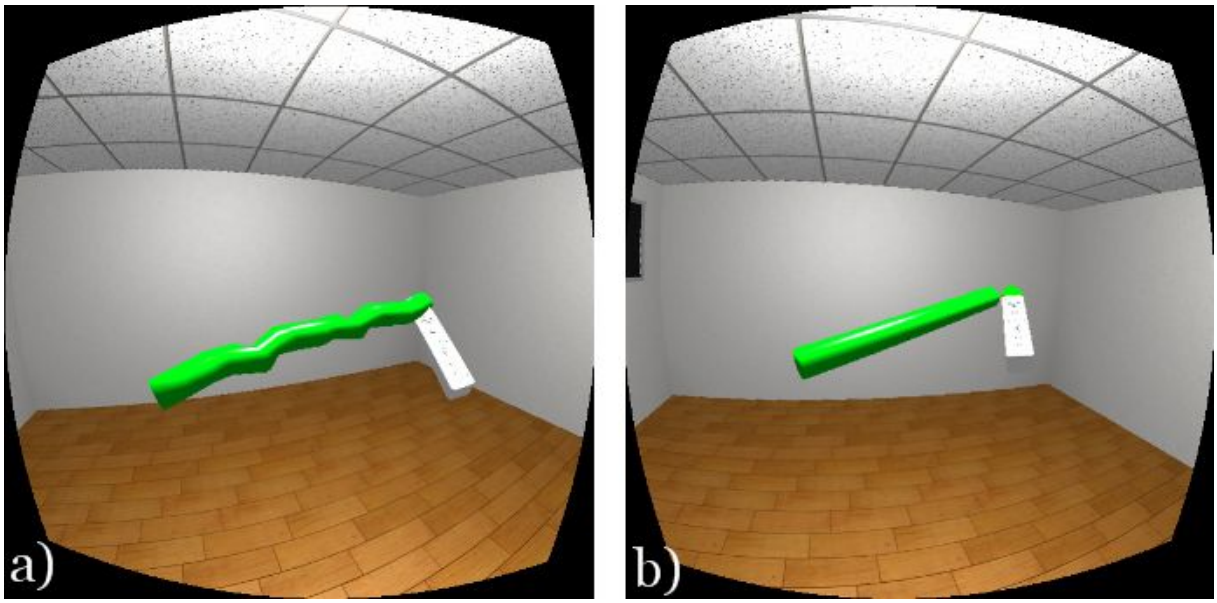


Figura 3.8: a) Traço realizado sem suavização e b) traço realizado com suavização.

3.5.2 Best Fit Plane

O algoritmo Best Fit Plane [2] permite encontrar a equação do plano que mais se adequa a um conjunto de pontos. Após ser criado um objecto vazio do tipo BestFitPlane, o sistema encontra todos os pontos presentes no esboço e passa-os ao objecto criado. Estes são dados pela ordem dos ponteiros de um relógio. Este passo é importante uma vez que determina qual a direcção na qual a normal do plano irá apontar.

Assim, dados m pontos (x_i, y_i, z_i), a normal (n_x, n_y, n_z) é encontrada por

[2] Em português tem o nome *Melhor Plano Envolvente*, contudo por ser amplamente reconhecido em computação e em álgebra pelo seu nome em inglês, decidiu-se manter esse nome.

$$
\begin{aligned}
n_x &= \sum_{i=1}^{m}(z_i + z_{i+1})(y_i - y_{i+1}) \\
n_y &= \sum_{i=1}^{m}(x_i + x_{i+1})(z_i - z_{i+1}) \\
n_z &= \sum_{i=1}^{m}(y_i + y_{i+1})(x_i - x_{i+1})
\end{aligned}
\tag{3.2}
$$

Este vector é então normalizado. De seguida, é encontrado o valor da distância média d de cada ponto ao plano. Para tal faz-se o somatório de todos os pontos, encontrando um ponto médio, que depois faz o produto interno com a normal n:

$$
d = \frac{1}{m}(\sum_{i=1}^{m} p_i) \cdot n \tag{3.3}
$$

O próximo passo, tendo obtido a normal e a distância, é criar um plano matemático. Este não tem qualquer representação visual. Para poder criar um polígono, é preciso realizar a translacção de todos os pontos para este plano matemático. É encontrada a distância escalar s de cada ponto ao plano matemático e a partir daí pode-se encontrar a projecção q de cada ponto p:

$$
q = p - s \times n \tag{3.4}
$$

Após obter o conjunto dos pontos translaccionados para o plano, verifica-se se não existem pontos repetidos. Por fim, a partir deste conjunto de pontos, cria-se uma malha que corresponde a um polígono planar que contém a projecção de todos os pontos do esboço criado pelo utilizador. Cria-se ainda um traço que corresponde ao tubo original rebatido no plano encontrado.

Estando concluído o Best Fit Plane, são criados os modelos com os resultados do algoritmo, que são depois importados pelo sistema para a cena. Nas Figuras 3.9 e 3.10 é possível ver o Best Fit Plane formado a partir de um esboço do utilizador, resultando num polígono e num traço, respectivamente.

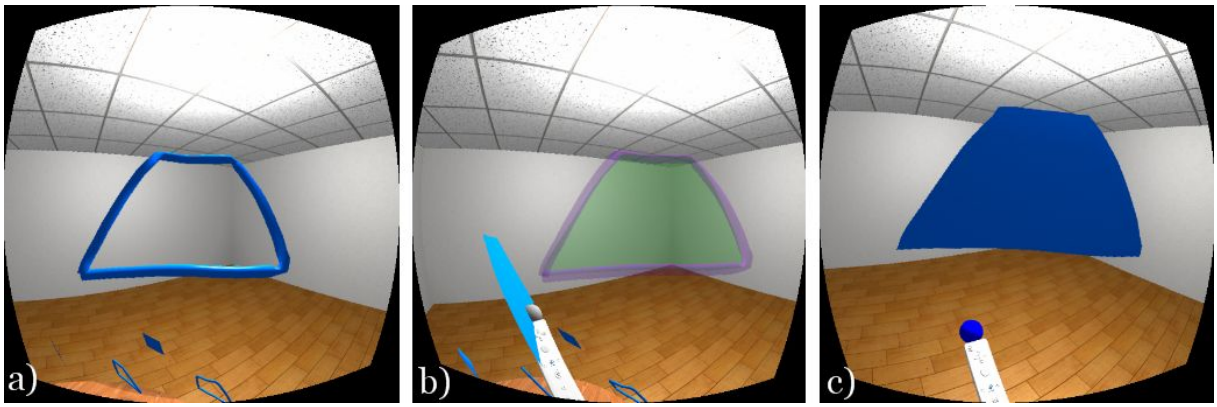


Figura 3.9: Polígono criado a partir de um esboço, através do Best Fit Plane: a) esboço; b) pré-visualização da substituição; c) esboço substituído por polígono resultante.

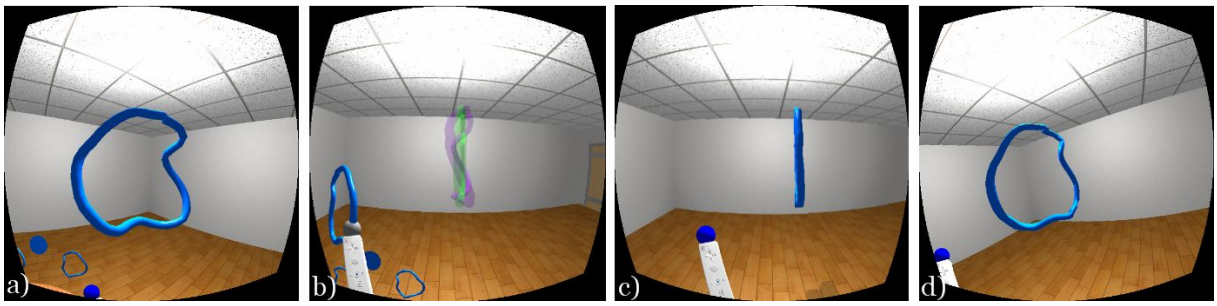


Figura 3.10: Traço criado a partir de um esboço, através do Best Fit Plane: a) esboço; b) pré-visualização lateral da substituição; c) esboço substituído por traço resultante; d) traço resultante visto frontalmente.

3.5.3 CALI

O algoritmo CALI é uma ferramenta simples de usar e rápida, que permite reconhecer esboços bidimensionais. Como anteriormente mencionado, o algoritmo CALI usa o plano encontrado pelo algoritmo Best Fit Plane, aplicando uma modificação da ferramenta CALI (de Fonseca et al. [7]) no plano encontrado. Possui uma base de dados que permite identificar diversas formas, tais como triângulos, rectângulos e diamantes. A ferramenta CALI determina qual a forma mais aproximada ao esboço do utilizador, e é possível realizar um recorte ao plano de acordo com essa forma.

Após ter sido encontrado o Best Fit Plane e os pontos terem sido translaccionados para o plano encontrado, começa-se por criar dois objectos CIRecognizer e CIScribble. O CIRecognizer consegue reconhecer gestos de um ou vários traços, invariantes em rotação e escala. Usando uma lista de todas as formas possíveis, durante o processo de reconhecimento calcula a semelhança entre o esboço e os diferentes gestos. O CIScribble define um esboço a partir de um conjunto de traços, possuindo um conjunto de métodos que permitem calcular polígonos durante o processo de reconhecimento.

Usando os pontos translaccionados, criam-se diversos objectos CIStroke, que são adicionados ao objecto CIScribble. Cada CIStroke representa um traço do esboço realizado pelo utilizador. De modo a permitir utilizar o CALI em 3D, só poderão ser usadas duas coordenadas para cada ponto do CIStroke. Assim, cria-se um objecto que corresponde ao plano anteriormente encontrado. Colocando cada ponto no referencial do plano, obtém-se a posição relativa ao plano de cada ponto, podendo criar cada CIStroke.

Seguidamente avalia-se o esboço com o método reconhecer do objecto CIRecognizer. Este irá tentar encontrar uma forma na sua lista que reconheça o esboço. Se nenhuma forma corresponder ao esboço, o algoritmo termina aqui. Caso contrário os pontos da forma encontrada são de seguida convertidos pelo sistema para coordenadas do mundo virtual, sendo por fim criado um modelo com o resultado do algoritmo, que é depois importado pelo sistema para a cena. Na Figura 3.11 é possível ver o resultado do CALI formado a partir de um esboço do utilizador.

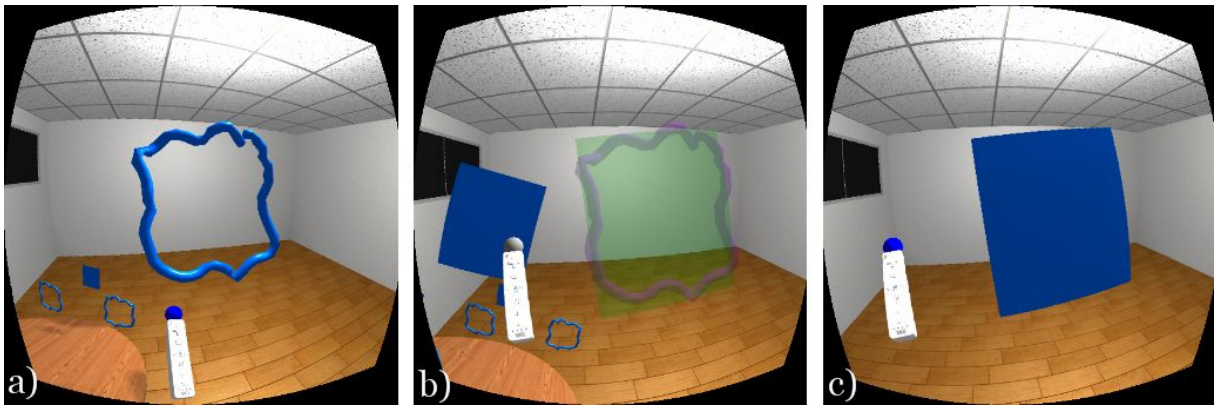


Figura 3.11: Resultado do CALI criado a partir de um esboço: a) esboço; b) pré-visualização da substituição; c) esboço substituído por polígono resultante.

3.5.4 Convex Hull

O algoritmo Convex Hull [3] do sistema pega no conjunto dos pontos existentes no esboço e cria o menor conjunto convexo que contém todos os pontos. Para tal, o sistema encontra todos os pontos presentes no esboço. Após ter todos os pontos, o algoritmo encontra os pontos com as coordenadas x maiores e menores, com as coordenadas y maiores e menores e com as coordenadas z maiores e menores. Estes pontos fazem parte do Convex Hull resultante obrigatoriamente.

De seguida, é criado um *simplex* inicial, a partir de *3 + 1* pontos, ou seja, dado o espaço do sistema ser tridimensional, é criado um tetraedro regular, com três pontos na base e um no topo do sólido, como uma pirâmide. Do grupo de pontos encontrados anteriormente, com maiores e menores coordenadas, são usados os dois pontos mais distantes entre si, sendo o terceiro o ponto mais afastado da linha definida pelos dois primeiros pontos. Este é o triângulo da base. Para o topo da pirâmide, é encontrado, a partir da lista de todos os pontos, o ponto mais distante do triângulo da base. A partir deste *simplex* vai ser construído o Convex Hull final.

São verificados os restantes pontos. Para cada ponto verifica-se se o mesmo se encontra dentro do *simplex* encontrado (por trás de todas as faces do *simplex*). Se sim, é ignorado e não é utilizado no processo. Caso contrário, o ponto é atribuído a uma face. O ponto é atribuído à primeira face que "consegue ver". Assim, cada ponto é dado a apenas uma face. Cada face contém o seu conjunto de pontos.

Seguidamente, para cada face, do seu conjunto de pontos atribuídos é encontrado o ponto que se encontra mais distante. Verificam-se todas as faces adjacentes à actual que são "vistas"a partir do ponto. Isto permite determinar as arestas no horizonte, ou seja, as arestas que delimitam a parte visível do Convex Hull actual da parte não visível, do ponto de vista do ponto actual.

Cada aresta horizonte cria com o ponto actual um novo triângulo. Novas faces são criadas e adicionadas ao Convex Hull actual. Os pontos que não foram utilizados de cada uma das faces existentes anteriores são reatribuídos às faces novas, novamente à primeira face que "conseguem ver". São descartados se se

[3] Em português tem os nomes *Envoltória Convexa* ou *Invólucro Convexo*, contudo por ser amplamente reconhecido em computação e em álgebra pelo seu nome em inglês, decidiu-se usar esse nome.

encontrarem atrás de todas as faces.

O algoritmo repete os passos realizados nos dois anteriores parágrafos até esgotar os pontos do esboço, ficando encontrado o Convex Hull. Finalmente, é criado um modelo com o resultado do algoritmo, que é depois importado pelo sistema para a cena. Na Figura 3.12 é possível ver o Convex Hull formado a partir de um esboço do utilizador.

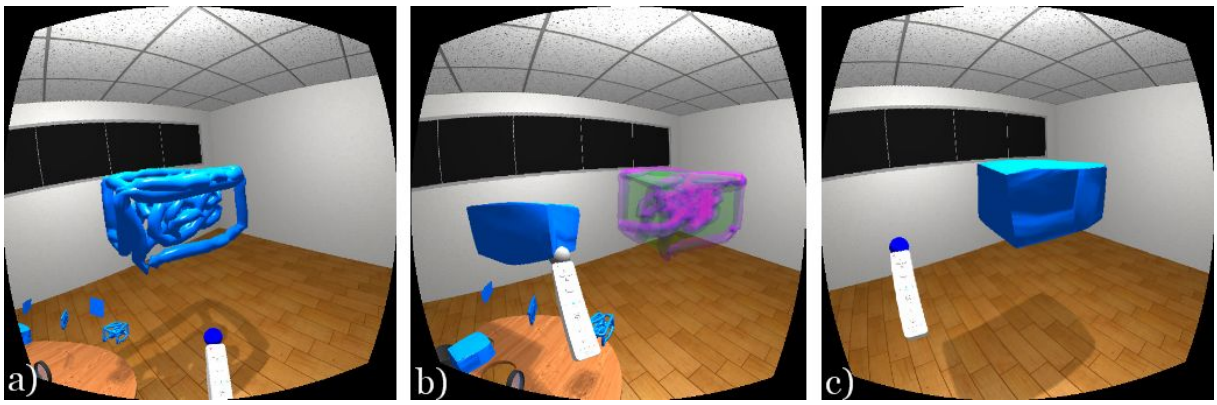


Figura 3.12: Convex Hull criado a partir de um esboço: a) esboço; b) pré-visualização da substituição; c) esboço substituído por sólido resultante.

3.6 Modelação

O processo de modelação com este sistema permite ao utilizador criar formas, objectos e até cenários, a partir de um esboço. Cada esboço do utilizador pode transformar-se num objecto tridimensional e, em conjunto, fazer parte de um cenário. Cada esboço do utilizador cria traços, mas com a ajuda dos auxiliares de desenho é possível criar diferentes traços, polígonos e sólidos, combinando-se para criar os novos objectos. Assim, é possível depreender que cada algoritmo comunica entre si, permitindo uma criação mais poderosa. Seguidamente apresenta-se esta integração entre técnicas, e a criação de um esboço e sua interrogação.

3.6.1 Integração de Técnicas

Como já descrito na secção 3.5, o sistema possui um conjunto de algoritmos que permitem auxiliar o utilizador no seu esboço. Cada uma das técnicas cria elementos que permitem ao utilizador modelar o seu esboço.

Contudo, estes algoritmos não se encontram a funcionar isolados. Para que cada um possa produzir o resultado esperado, precisa de comunicar com os outros, trabalhando em conjunto. Desta forma, o componente Auxiliares de Desenho tem os seus sub-componentes interligados.

A base de todos os algoritmos passa pela Suavização do Traço. Estando activo, recebe o traço realizado pelo utilizador, que pode ter algumas distorções por ter sido criado no espaço tridimensional. Com base neste traço cria outro traço que é rigorosamente direito. Este novo traço possui novos pontos. A partir

destes novos pontos cada um dos outros algoritmos realiza os seus cálculos, obtendo uma sugestão sem distorções.

Como também já mencionado, o algoritmo CALI depende dos cálculos executados pelo Best Fit Plane para encontrar um plano. Tal torna a sua execução mais rápida ao reutilizar planos e pontos encontrados previamente. Especificamente, são reutilizados o plano e os pontos translaccionados para o mesmo, para descobrir qual a forma que mais se assemelha ao esboço.

Com a interligação destas ferramentas, o utilizador pode criar e completar o seu esboço, escolhendo a sugestão resultante de cada uma delas a partir da lista de sugestões. Cada sugestão obtida no componente Auxiliares de Desenho permite construir o esboço (no componente Construção de Esboços), sendo depois visualizado e inspeccionado na Visualização e Exploração de Resultados. É possível verificar a comunicação entre os diferentes algoritmos através do diagrama na Figura 3.13.

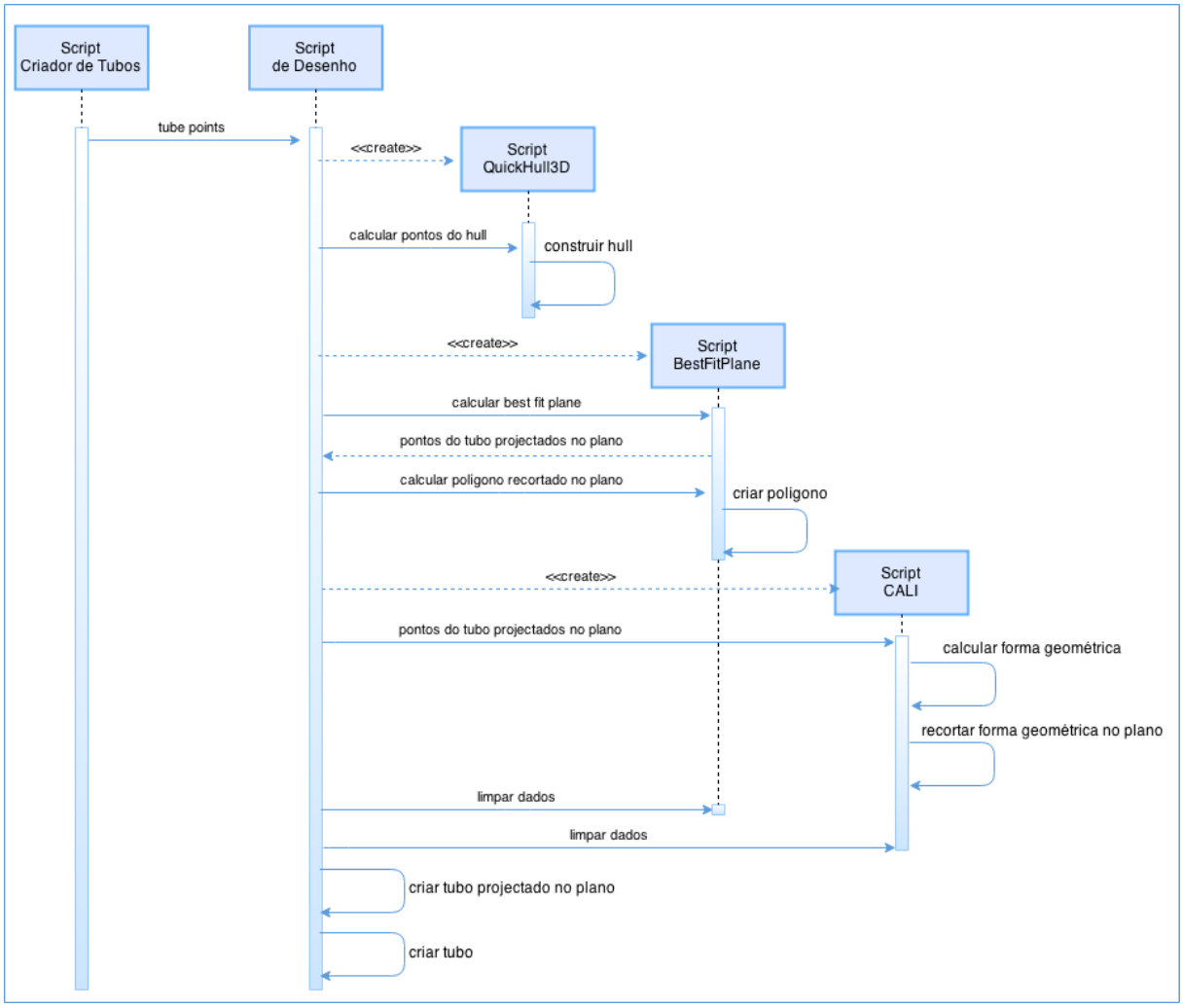


Figura 3.13: Comunicação entre os algoritmos existentes no componente Auxiliares de Desenho.

3.6.2 Cenário de Interacção

Utilizando o sistema, o utilizador especifica uma interrogação para depois obter o objecto que pretende. Seguidamente exemplifica-se um processo de esboço e especificação de uma interrogação no sistema.

O utilizador tem ao seu dispor várias ferramentas que auxiliam no processo de criação de objectos 3D, seja tornando a tarefa mais fácil de se realizar, ou melhorando a precisão da mesma, conseguindo assim melhores resultados. Esta é a primeira visão do utilizador quando quer criar um esboço (Figura 3.14).

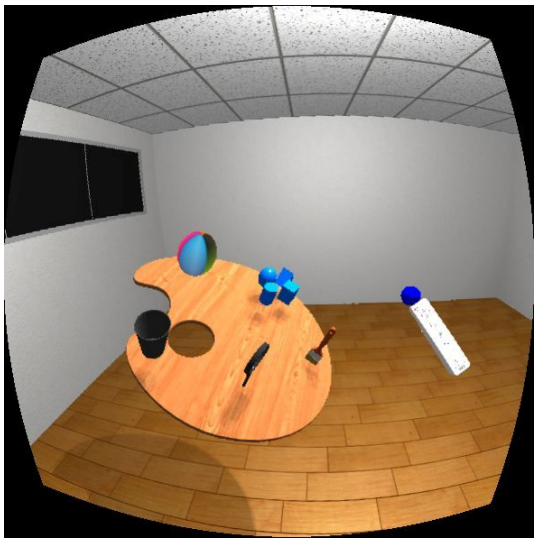


Figura 3.14: Primeira visão do sistema pelo utilizador.

O utilizador pode criar esboços utilizando o modo de desenho, que tanto pode ser traço livre ou traço suavizado para se obter resultados mais precisos. O utilizador carrega no botão T do comando Wiimote e começa a esboçar. O seu esboço é criado com tubos, como se estivesse a desenhar com uma caneta numa folha, com a diferença de ser no espaço 3D (Figura 3.15).

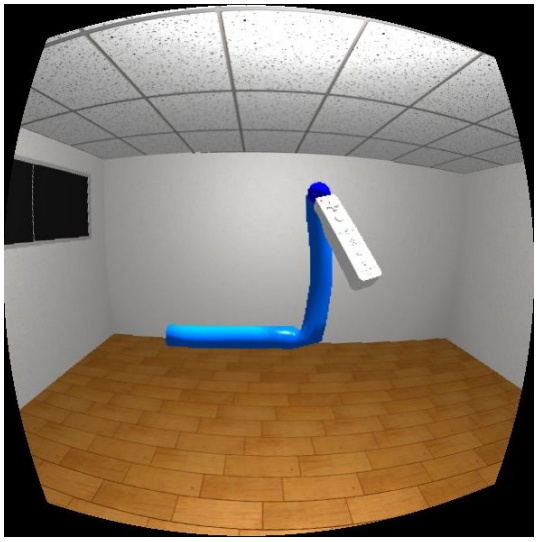


Figura 3.15: Utilizador começa o seu esboço.

À medida que o utilizador vai desenhando, algoritmos auxiliares vão calculando sugestões que podem representar o resultado que o utilizador deseja para o seu desenho. Estas sugestões são apresentadas na paleta quando o utilizador pára de esboçar. As sugestões são calculadas sempre que há mudanças no desenho do utilizador que levem a resultados diferentes dos obtidos anteriormente (Figura 3.16). O utilizador pode optar por aceitar uma das sugestões, substituindo o desenho que fez até esse momento, ou continuar a desenhar.

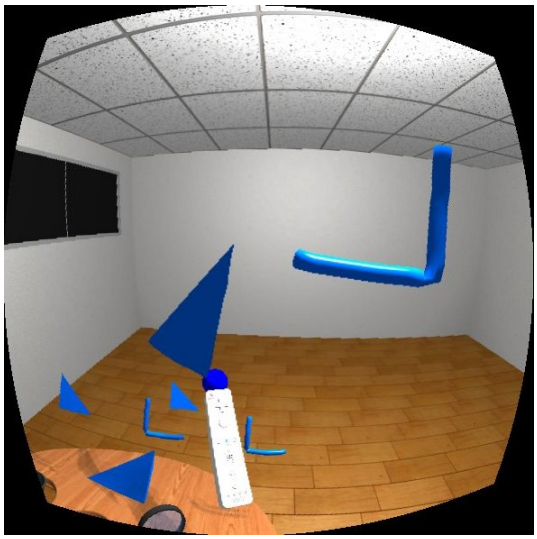


Figura 3.16: Cálculos auxiliares apresentados a cada alteração do esboço.

Se o utilizador quiser aceitar alguma das sugestões, carrega com o botão na mesma. Esta substitui o esboço do utilizador. Na Figura 3.17 mostra-se que o esboço foi substituído pela sugestão de um plano triangular, encontrada pelo algoritmo Best Fit Plane.

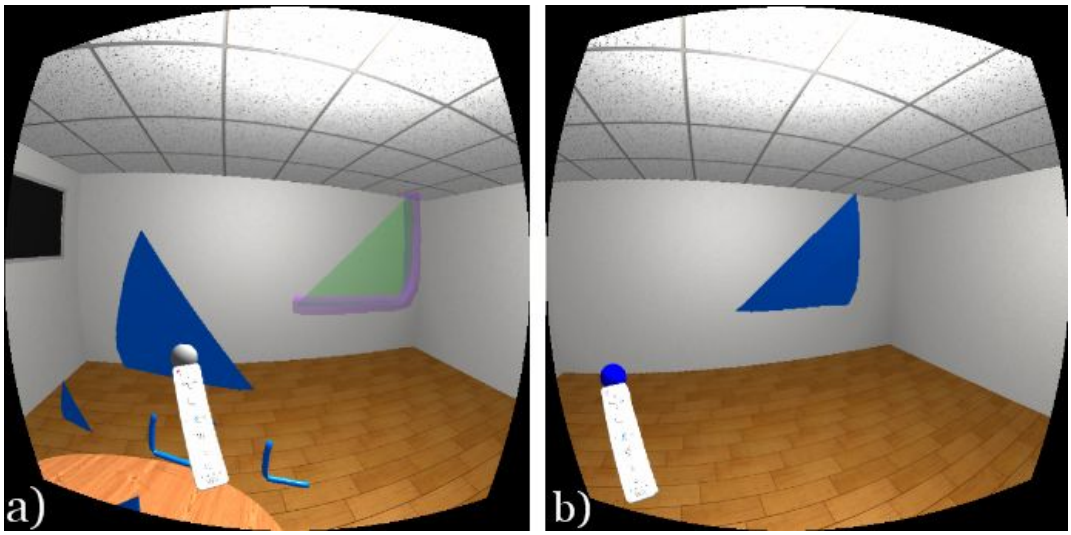


Figura 3.17: O utilizador substitui o esboço pela sugestão de um polígono do Best Fit Plane: a) pré-visualização e b) substituição realizada.

Continuando a esboçar, após criar mais um esboço, o utilizador pode novamente substituir o que

esboçou por uma sugestão. Na Figura 3.18 mostra-se que o esboço foi substituído pela sugestão de um quadrado, encontrada pelo algoritmo CALI.

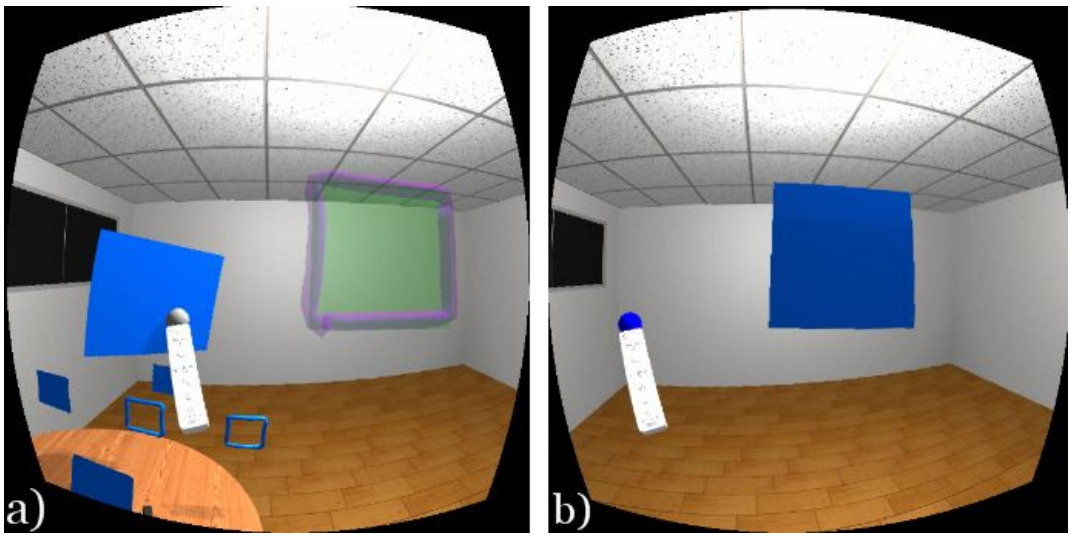


Figura 3.18: O utilizador substitui o esboço pela sugestão de um quadrado do CALI: a) pré-visualização e b) substituição realizada.

Na Figura 3.19, o utilizador substituiu o que esboçou pela sugestão de um sólido, encontrada pelo algoritmo Convex Hull.

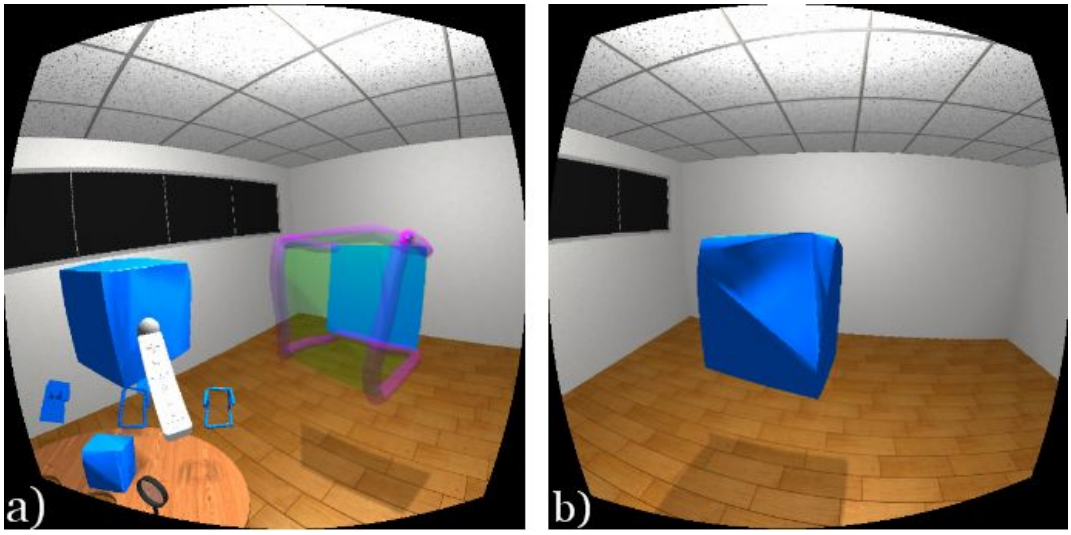


Figura 3.19: O utilizador substitui o esboço pela sugestão de um sólido do Convex Hull: a) pré-visualização e b) substituição realizada.

No seu esboço, o utilizador pode querer adicionar um sólido pré-fabricado. Estas formas geométricas estão disponíveis no menu de sólidos. O menu de sólidos apresenta quatro primitivas. Para o adicionar ao seu esboço, o utilizador carrega no sólido pretendido. Depois de o utilizador escolher o sólido que quer adicionar, este aparece na cena com um aspecto semi-transparente, dando ao utilizador a possibilidade de movimentar o sólido na cena mexendo o Wiimote e a mão do menu para o local onde se pretende

criar o sólido. Afastando ou aproximando as mãos aumenta ou diminui o sólido, respectivamente. Na Figura 3.20, o utilizador coloca um prisma, escolhendo a sua posição e o seu tamanho ao mexer as suas mãos.

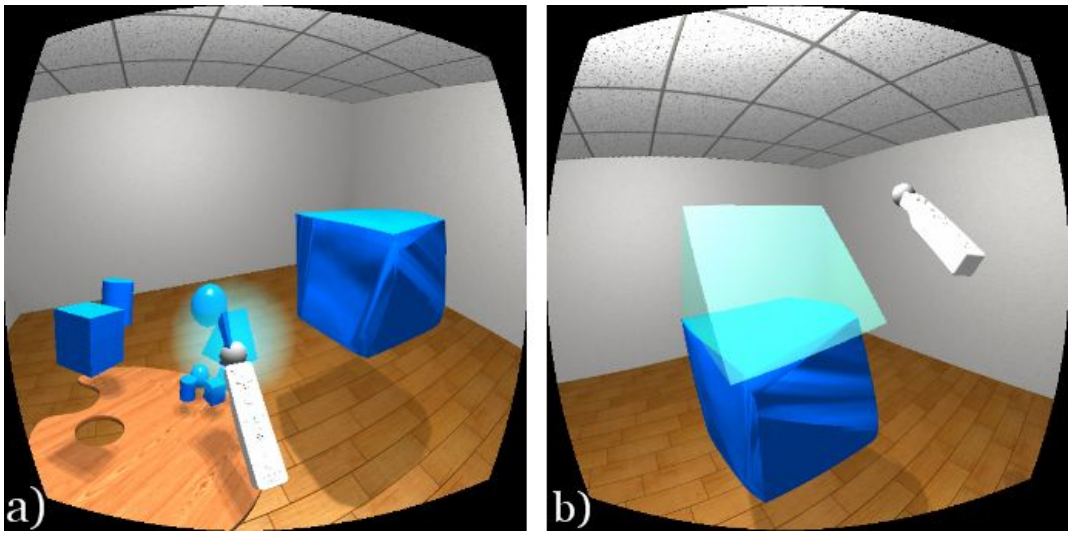


Figura 3.20: O utilizador adiciona um prisma ao seu esboço: a) selecção do sólido e b) colocação a decorrer.

Após ter escolhido a posição e tamanho do sólido, o utilizador carrega no botão do Wiimote para o colocar definitivamente na cena. (Figura 3.21).

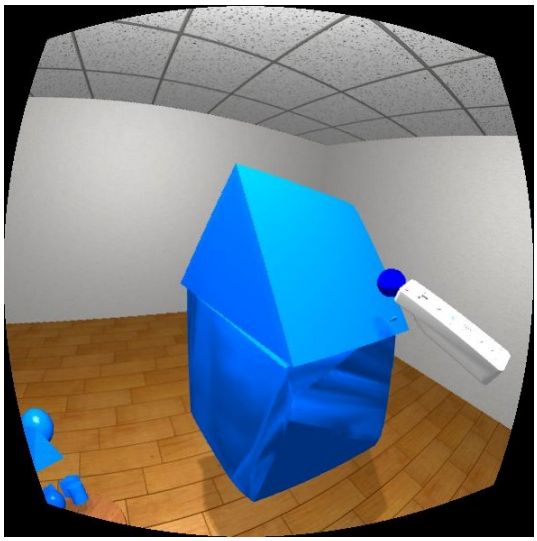


Figura 3.21: Utilizador terminou a colocação de um sólido: o prima.

Quando o utilizador tiver concluído o seu esboço, pode realizar uma interrogação à base de dados de modelos 3D. Na Figura 3.22, o utilizador carrega no botão da interrogação, que é representado por uma lupa.

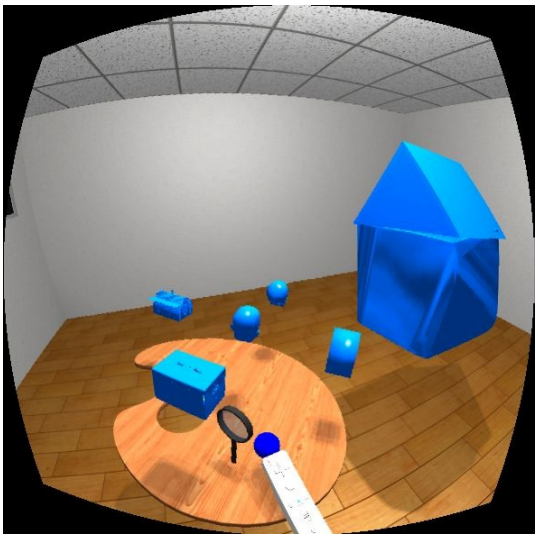


Figura 3.22: Utilizador faz um pedido de uma interrogação.

Desta forma foi realizada a procura por objectos semelhantes ao esboço que o utilizador criou. Na Figura 3.23, vê-se que no menu são apresentados os resultados mais semelhantes. O utilizador pode pré-visualizar um resultado antes de decidir escolhê-lo. Este aparece na posição do esboço, com as mesmas proporções do esboço. O utilizador vê como ficará o resultado se o escolher.

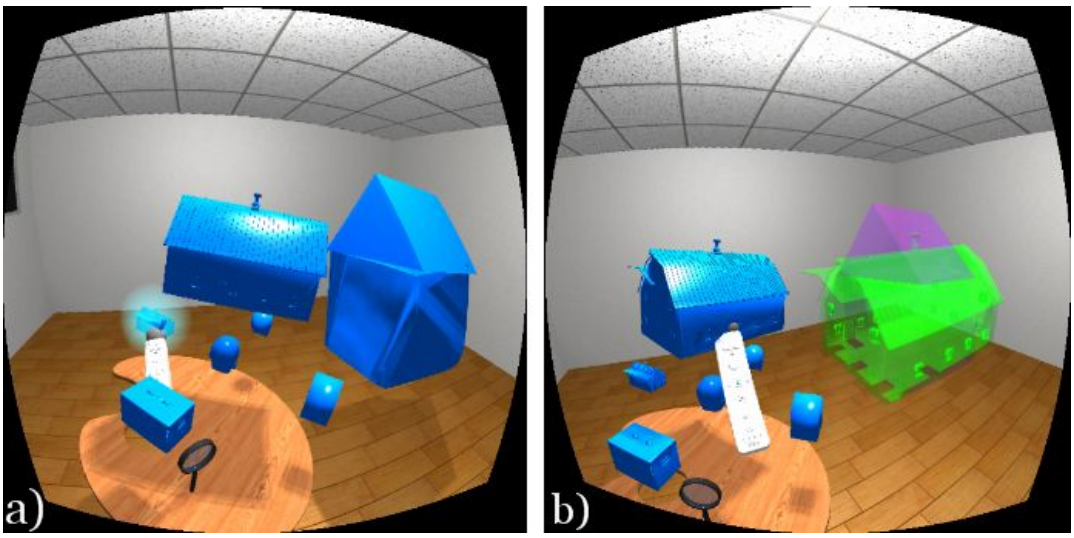


Figura 3.23: a) Utilizador observa os resultados mais semelhantes e b) pré-visualiza um dos resultados.

Por fim, se o utilizador encontrar um resultado pretendido, escolhe-o, substituindo o esboço. Na Figura 3.24 o utilizador carregou no objecto que estava a inspeccionar e substitui o esboço por uma casa, na cena.

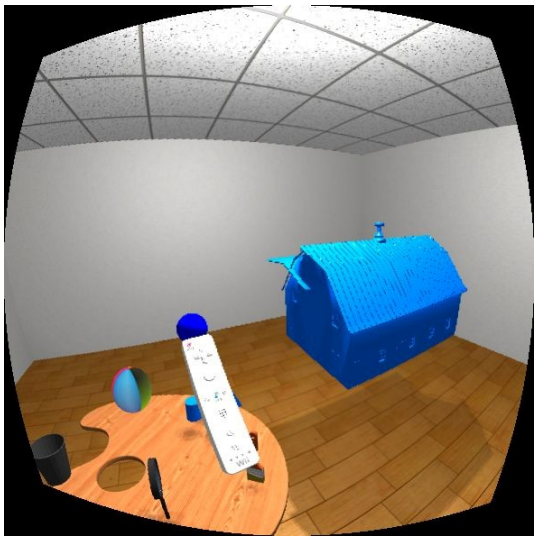


Figura 3.24: Utilizador substitui o seu esboço pelo resultado.

Desta forma, o utilizador pôde realizar a sua pesquisa, recorrendo a passos que apenas necessitam de uma aprendizagem curta.

3.7 Resumo

Neste capítulo propôs-se um sistema imersivo para especificação de interrogações e recuperação 3D, com o objectivo de ultrapassar as limitações presentes nos sistemas existentes. Limitações como a ausência de liberdade para criar e observar de diferentes ângulos os objectos 3D, os resultados dependerem da informação associada aos objectos e não apenas do seu formato e ainda a complexidade de alguns sistemas, cuja utilização mostra ser uma experiência pouco familiar para os utilizadores.O objectivo passou por utilizar equipamentos que permitissem visualizar, especificar interrogações e interagir com os resultados num ambiente de realidade virtual, utilizando técnicas de recuperação de objectos 3D existentes para implementar o sistema.Esta solução recebeu o nome ASfOR (Air-Sketching for Object Retrieval) uma vez que os esboços são realizados no ar e são utilizados para a pesquisa e recuperação de objectos.

Com este trabalho, quis-se criar um sistema que permitisse ao utilizador pesquisar objectos 3D, navegar e manipular os resultados da pesquisa num ambiente de realidade virtual imersivo. Com base neste objectivo, o sistema foi dividido em dois grandes módulos, o Módulo de Interacção e o Módulo de Recuperação.

O Módulo de Recuperação é responsável por indexar e devolver objectos 3D. Para isso é utilizada a ferramenta EnContRA. Para realizar uma pesquisa, o protótipo converte o esboço realizado pelo utilizador e envia-o para a ferramenta EnContRA. A ferramenta procura os objectos mais semelhantes e envia a sua informação para o protótipo.

O Módulo de Interacção permite a comunicação com os Módulos de Recuperação, de Seguimento e de Visualização. É também onde está todo o ambiente virtual no qual o utilizador interage. É responsável por gerir toda a lógica necessária para aplicar as interacções do utilizador. Contém o módulo de Cons-

trução de Esboços, que permite criar os esboços que são depois usados pelo módulo de Especificação de Interrogações. Este permite fornecer a informação necessária ao Módulo de Recuperação para encontrar objectos semelhantes. Contém ainda o módulo de Visualização e Exploração de Resultados, que permite interagir com os resultados obtidos da interrogação, e o módulo Auxiliares de Desenho, que contém algoritmos que actuam como assistentes do utilizador, permitindo corrigir o seu traço e criar sólidos ou polígonos a partir do que esboçou, sem ter de realizar um pedido de interrogação.

Para construir um objecto através de um esboço 3D são utilizados diversos componentes. Durante a criação de um esboço, é possível criar traços. A partir de um traço os vários auxiliares de desenho conseguem calcular novos traços, polígonos e objectos sólidos, usando a informação espacial dos traços. É possível também adicionar sólidos pré-criados ao esboço. Detectando a posição e orientação das mãos do utilizador é possível criar os esboços exactamente onde o utilizador pretende.

Os resultados devolvidos pelo Módulo de Recuperação ou pelos Auxiliares de Desenho são apresentados num menu em forma de paleta, que se encontra numa das mãos do utilizador. Cada objecto roda em torno de si, permitindo observar os objectos não de um só ângulo. É utilizado um dispositivo do tipo HMD, o Oculus Rift, o que permite a imersão ao utilizador, que apenas vê o cenário virtual, o que lhe dá a possibilidade de assimilar que se encontra dentro do ambiente virtual.

Capítulo 4

Avaliação

No capítulo anterior foram apresentadas as características e formas de interacção com o protótipo criado, que permitem ao utilizador criar esboços virtuais tridimensionais e encontrar objectos semelhantes. Após o desenvolvimento de uma proposta de solução que compreende a recuperação de objectos 3D por esboço e exploração de resultados num ambiente imersivo, esta foi submetida a uma avaliação para permitir a sua validação junto de utilizadores. Foi avaliada a sua facilidade de utilização e comparada com o sistema 3D Model Search Engine, um motor de recuperação de objectos que recorre a esboços 2D e ao paradigma WIMP.

4.1 Sistemas Avaliados

Após o desenvolvimento do sistema ASfOR, este foi sujeito a um processo de validação junto de utilizadores, no qual foi avaliado relativamente à sua facilidade de utilização e comparado com um sistema de recuperação de objectos por esboço 2D. Assim, o sistema foi comparado com o sistema 3D Model Search Engine que, através de uma página na internet, permite aos utilizadores realizar uma pesquisa de um objecto 3D através de esboços 2D, onde os resultados da pesquisa são apresentados como uma lista de miniaturas.

4.1.1 3D Model Search Engine

O 3D Model Search Engine, desenvolvido por Funkhouser et al. [8], Min [18], é uma ferramenta que actua como repositório de objectos 3D e permite comparar formas através dos seus algoritmos. O seu objectivo é permitir reconhecer objectos tridimensionais a partir de esboços 2D.

Cada um dos modelos foi recolhido de diferentes páginas da internet. Para cada objecto existe um ficheiro .off (Object File Format) com a sua representação geométrica, um ficheiro com informação textual que contém a meta-informação do modelo e uma imagem JPEG com a vista em miniatura do mesmo.

A avaliação por algoritmos que fazem a correspondência entre formas e classificam os objectos é feita através de um mecanismo que divide os modelos por classes. A classificação agrupa os objectos com base na sua funcionalidade e forma. Exemplo disso é a hierarquia existente de classes que especificam cada

vez mais um modelo: animais, criaturas que voam e por fim pássaros. Cada um dos níveis permite uma avaliação diferente, devido às características dos modelos que contém.

Cada algoritmo de correspondência entre formas calcula a distância/diferença entre pares de objectos 3D, tendo como resultados valores positivos que representam a semelhança entre os mesmos: um valor pequeno para objectos muito semelhantes, e maior para objectos com grandes diferenças nas suas formas.

Para realizar um esboço, o utilizador usa uma ou mais das três caixas existentes no painel esquerdo do sistema. Podem também ser adicionadas palavras para facilitar a pesquisa, contudo tal não foi utilizado nestes testes, para permitir um maior paralelismo. Para que uma pesquisa devolva resultados não é necessário criar as três vistas. O sistema ignora as caixas sem esboço e apenas utiliza para procurar as que o utilizador tiver usado.

Após criar o seu esboço e carregar no botão *Search*, os resultados aparecem no painel direito. Na Figura 4.1 é possível observar uma pesquisa realizada. O objecto criado foi um avião, sendo os resultados apresentados para esta pesquisa no painel direito, por ordem de semelhança dada pelo sistema.

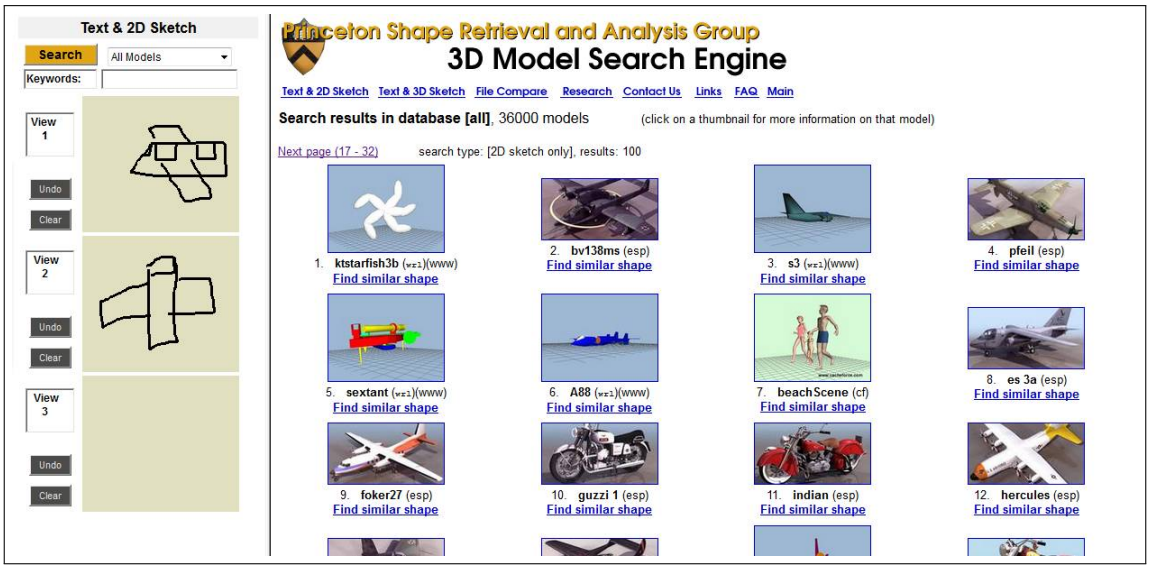
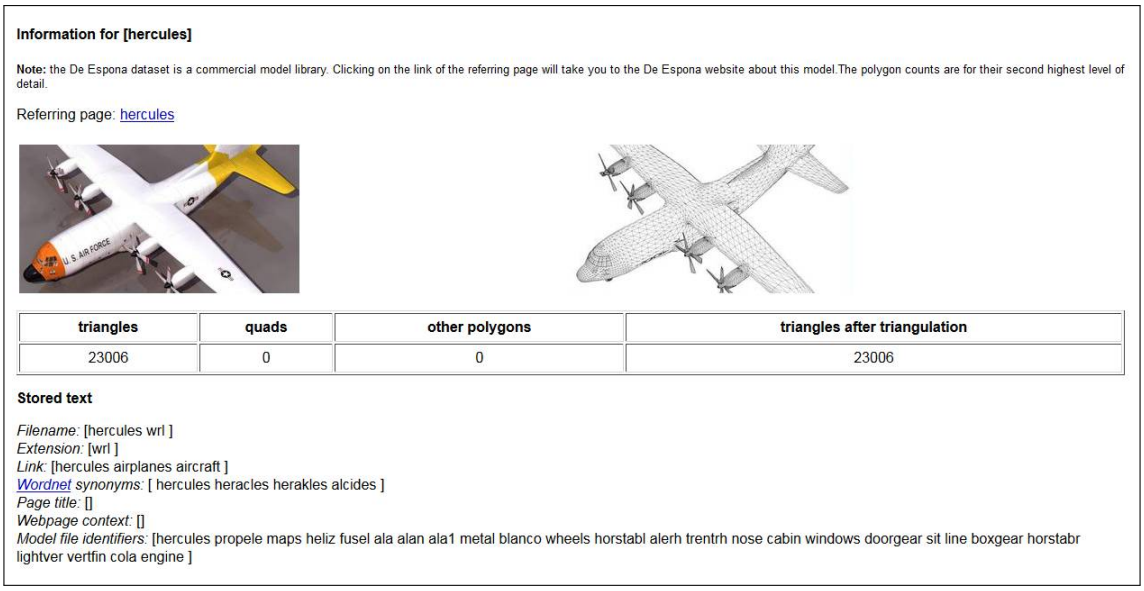


Figura 4.1: Pesquisa de um avião, utilizando o 3D Model Search Engine.

Na Figura 4.2 foi escolhido o resultado 12 dos resultados obtidos. Ao se clicar num resultado, é aberta uma janela com informações sobre o mesmo. Estas podem ser vistas adicionais ou a estrutura em *wireframe* do modelo, bem como nome e tipo do ficheiro. As informações apresentadas não são sempre as mesmas para todos os objectos. As vistas adicionais e estruturas são mostradas na forma de imagens, estando já pré-definidas no sistema, sem possibilidade para o utilizador observar de outro ângulo desejado.



Information for [hercules]

Note: the De Espona dataset is a commercial model library. Clicking on the link of the referring page will take you to the De Espona website about this model.The polygon counts are for their second highest level of detail.

Referring page: hercules

triangles	quads	other polygons	triangles after triangulation
23006	0	0	23006

Stored text

Filename: [hercules wrl]
Extension: [wrl]
Link: [hercules airplanes aircraft]
Wordnet synonyms: [hercules heracles herakles alcides]
Page title: []
Webpage context: []
Model file identifiers: [hercules propele maps heliz fusel ala alan ala1 metal blanco wheels horstabl alerh trentrh nose cabin windows doorgear sit line boxgear horstabr lightver vertfin cola engine]

Figura 4.2: Visualização de diferentes vistas do resultado 12 da pesquisa efectuada.

Para recomeçar e criar novos esboços, o utilizador apenas tem de carregar no botão *Clear* ao lado de cada caixa, sendo os esboços prévios eliminados.

4.2 ASfOR

Como visto anteriormente, o ambiente do sistema ASfOR consiste numa sala virtual que imita a sala do mundo físico onde o utilizador se encontra. O objectivo era testar o sistema dando a ilusão ao utilizador de que se encontra inserido no ambiente virtual e de que os objectos que cria existem no espaço tridimensional. Os movimentos executados pelas mãos e cabeça do utilizador são seguidos no volume da sala, com recurso a marcadores Optitrack e câmaras Motion Capture. Contudo, o seguimento não é estável, podendo haver falhas causadas pelo corpo a bloquear a visibilidade dos marcadores pelas câmaras. Apesar deste problema, tal não traz nenhum limite nem alteração significativos ao tipo de interacção que o utilizador realiza.

Utilizando os HMD Oculus Rift para a visualização do mundo virtual, um comando Wiimote para criar o esboço e interagir com mundo e ainda uma pulseira que actua como menu para seleccionar diferentes funcionalidades, o utilizador tem liberdade de movimentos. Com os Oculus Rift é utilizada uma mochila que contém uma bateria e um transmissor, permitindo receber a visualização vinda a partir do computador, sem necessidade de fios e limitação de movimentos. Cada sessão com os utilizadores foi gravada para, após a conclusão das tarefas, poder ser analisada e retirada informação relativa a tempo, erros e acções.

Na Figura 4.3 é possível ver um esboço e uma pesquisa neste sistema. Na Figura 4.3(b) são apresentados os resultados da pesquisa, sendo o esboço subtituído por um deles na Figura 4.3(c). Estas interacções são apresentadas tal como o utilizador as vê utilizando os HMD Oculus Rift. Anteriormente, na secção 3.6.2 foi já descrito um exemplo de uma interacção com o protótipo.

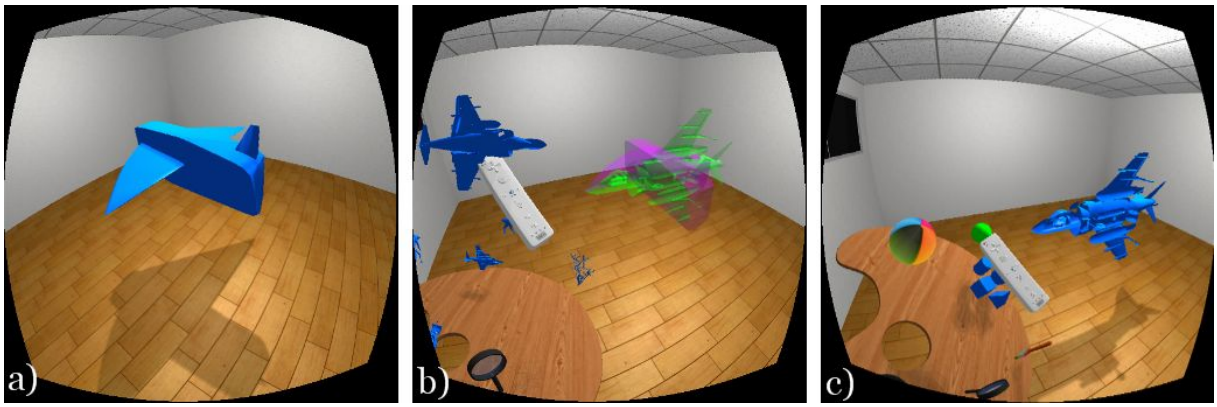


Figura 4.3: Esboço e pesquisa de um avião, utilizando o ASfOR: a) esboço criado; b) pré-visualização da substituição do esboço por um resultado; c) esboço substituído pelo resultado.

4.3 Metodologia

Para validar o sistema desenvolvido para a especificação de interrogações para recuperação 3D num ambiente imersivo, este foi comparado com outro sistema de pesquisa que utiliza uma abordagem tradicional. Foi comparada a versão final do sistema com o sistema 3D Model Search Engine, permitindo verificar a validade da solução adoptada.

O sistema testado para esta comparação recorre ao paradigma WIMP. Os utilizadores podem realizar uma interrogação recorrendo a esboços 2D, sendo os resultados apresentados como uma lista de miniaturas.

As sessões de avaliação foram estruturadas de acordo com as seguintes etapas:

- **Questionário Inicial**

  Antes do início da sessão, os participantes preencheram um questionário. Este tinha como objectivo identificar o perfil dos utilizadores, relativamente à sua idade e experiência tanto com aplicações de modelação e recuperação 3D, bem como com ambientes imersivos. Este encontra-se disponível no Anexo A.2.

- **Apresentação e Sessão de Treino**

  Foram apresentados aos participantes o sistema ASfOR e o sistema 3D Model Search Engine, bem como o propósito dos testes. Demonstrou-se como utilizar cada sistema e foi dado aos utilizadores um período de 5 minutos para treino em cada sistema.

- **Execução das Tarefas**

  Após a demonstração e o treino com cada aplicação, foi determinado aleatoriamente qual o sistema a ser usado primeiro pelo utilizador. Se o sistema a ser usado primeiramente fosse sempre o mesmo, tal poderia influenciar os resultados e não permitir concluir qual o sistema de mais fácil utilização. De seguida, foi pedido ao utilizador que executasse cinco tarefas de interrogação num sistema, realizando as mesmas tarefas depois no outro sistema. A ordem da execução das tarefas foi semi-aleatória, garantindo que todas as tarefas fossem realizadas em todas as posições possíveis de

execução, pela mesma razão já anteriormente explicada para a aleatoriedade dos sistemas. A partir de testes informais prévios com 3 pessoas, foi dado a cada tarefa o tempo limite de 5 minutos, por se considerar suficiente para a conclusão de uma tarefa, sem a tornar cansativa.

- **Questionário Final**

  Ao concluírem as tarefas, os utilizadores preencheram um questionário para avaliar diversos aspectos tais como facilidade de interacção, realização de pesquisa e diversão. Este questionário encontra-se disponível no Anexo A.4.

Seguidamente apresentam-se as tarefas pedidas aos utilizadores para realizar.

4.3.1 Tarefas

Para a realização das cinco tarefas de interrogação foi fornecida a cada participante uma folha com instruções. Para cada tarefa foi apresentada uma imagem de um objecto real e pedido que encontrasse um objecto semelhante através de cada sistema. Para cada sistema as imagens apresentadas dos objectos eram as mesmas. As cinco imagens utilizadas para as tarefas podem ser vistas na Tabela 4.1.

Devido aos objectos existentes na colecção de modelos, para cada interrogação podia existir mais do que um resultado correcto. Também na Tabela 4.1 é possível verificar-se o exemplo de um resultado correcto para cada uma das tarefas, que o utilizador poderia escolher. Na Tabela 4.2 é possível ver exemplos de esboços criados pelos utilizadores nos testes durante as tarefas no sistema ASfOR.

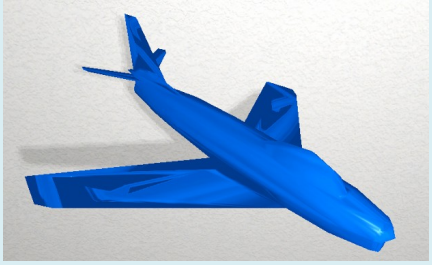
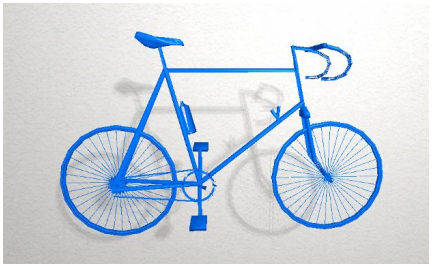
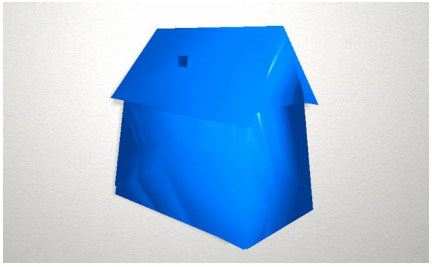
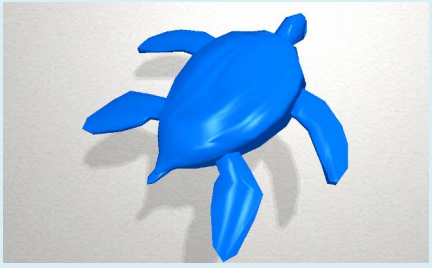
Avião		
Bicicleta		
Caixa do Correio		
Casa		
Tartaruga		

Tabela 4.1: Imagens apresentadas aos utilizadores nas tarefas, com um exemplo de um objecto resultante possível correcto para cada.

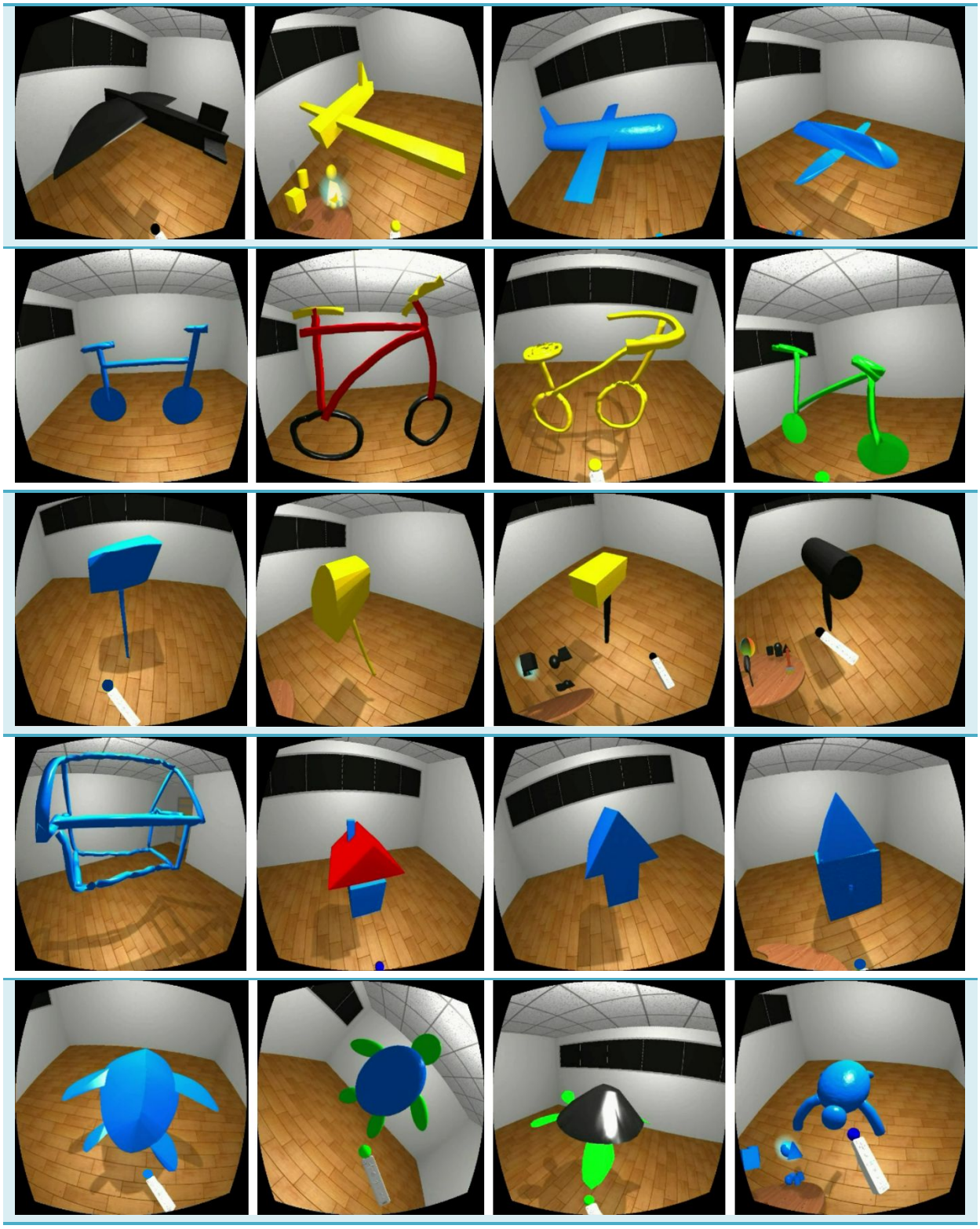


Tabela 4.2: Alguns exemplos dos esboços criados pelos utilizadores durante as tarefas.

4.4 Aparato e Participantes

As sessões de testes foram realizadas num ambiente fechado, sem possibilidade de influências externas. Os equipamentos utilizados pertencem ao laboratório, sendo descritos seguidamente. Serão também apresentados os dados de perfil recolhidos sobre os participantes dos testes.

Com a devida autorização dos utilizadores, os testes foram gravados para permitir uma análise mais completa. Foram anotados o tempo total de cada tarefa, o tempo passado a desenhar e a verificar resultados de pesquisas, o número de pesquisas realizadas, o número de erros e o número de resultados observados.

4.4.1 Ambiente de Testes

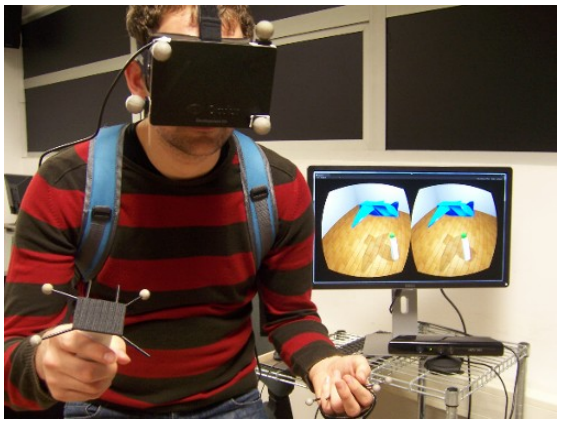
A avaliação foi conduzida no laboratório João Lourenço Fernandes, no campus Taguspark. O laboratório possui um sistema de seguimento de marcadores composto por dez câmaras NaturalPoint. Foi utilizado um HMD Oculus Rift, um comando Wiimote e uma pulseira de fita para o sistema ASfOR.

O sistema 3D Model Search Engine foi testado numa superfície multi-toque ZaagTech, que possui 10 pontos de toque. Foi usada uma caneta *touch stylus* para interagir. A decisão do uso da superfície multi-toque passou pelo facto de ser mais natural desenhar com uma caneta do que com um rato. O equipamento mais preciso, logo ideal, a ser usado seria um computador com caneta e toque, contudo, devido à inexistência desse mesmo equipamento, a escolha recaiu na superfície.

Ambos os computadores usados por cada sistema possuíam um sistema operativo de 64 bits Windows 7, tendo um processador Intel Core i7 - 3770K de 3.5 GHz e uma RAM de 16 GB.

Na Figura 4.4 pode ver-se um participante dos testes a testar cada um dos sistemas e o que este vê. Primeiramente observa os resultados de uma pesquisa por um avião no sistema 3D Model Search Engine na superfície multi-toque. Seguidamente o utilizador está a criar um esboço de um avião, no sistema ASfOR.

(a) Teste ao 3D Model Search Engine.



(b) Teste ao ASfOR.

Figura 4.4: Ambiente de testes: o utilizador testa ambos os sistemas.

4.4.2 Participantes

A avaliação contou com 20 utilizadores, três do sexo feminino e dezassete do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 22 e os 65 anos (Média = 28.6 anos). Dezanove dos utilizadores possuíam um curso superior, e apenas um o ensino secundário. A maioria dos utilizadores usa o computador como peça fundamental do seu dia-a-dia, com apenas um utilizador a usá-lo apenas para tarefas simples como navegar na internet ou criar documentos. Todos os utilizadores usam *tablets* ou *smartphones* para tarefas simples, tais como navegar na internet, realizar chamadas e jogar.

Sobre possuir experiência com programas de modelação tridimensional, cinco dos utilizadores nunca usou, com a maioria dos utilizadores a terem experimentado ocasionalmente (13 utilizadores), e dois a fazerem um uso regular. Relativamente à experiência com equipamentos de realidade virtual, um dos utilizadores tinha experimentado numa demonstração o Oculus Rift, outro usa-o no seu dia-a-dia, com os restantes utilizadores nunca tendo utilizado nenhum equipamento anteriormente. A maioria dos utilizadores havia jogado ocasionalmente em casa de um amigo ou numa loja jogos de consolas que usam gestos e/ou movimentos, com quatro a jogar regularmente. Apenas três nunca tinham jogado. De todos os que já tinham experimentado jogos com gestos e/ou movimentos, a maioria havia experimentado o Wiimote (catorze dos utilizadores). Seis dos utilizadores já tinham tido contacto com o Kinect, e quatro com o Playstation Move.

4.5 Análise de Resultados

Seguidamente é feita a análise dos resultados obtidos nesta avaliação com utilizadores. Começa-se por uma análise quantitativa, sobre os tempos medidos em cada tarefa, bem como os erros dados. Depois é feita uma análise qualitativa com base nos questionários realizados após as sessões de teste. Por fim analisam-se algumas observações feitas durante as sessões. A discussão dos resultados obtidos será feita ao longo da sua apresentação.

4.5.1 Análise Quantitativa

Para realizar uma análise estatística detalhada dos testes realizados, os sistemas foram comparados entre si globalmente e por tarefa. Entre cada sistema, para cada tarefa foi avaliado o tempo levado por cada utilizador para concluir a tarefa, o tempo passado a desenhar, o tempo da devolução de resultados e o tempo passado a observar os resultados devolvidos. Foram ainda anotados os erros cometidos, sendo que um erro correspondeu a uma decisão de apagar, o número de procuras realizadas durante a tarefa e os objectos observados em maior detalhe. Estes resultados foram analisados através do teste T de Amostras Pareadas. O sistema 3D Model Search Engine será referido pela sua abreviatura, 3DMSE. Seguidamente os resultados são apresentados por cada tarefa.

Tarefa do Avião

Aplicando o teste T de Amostras Pareadas, este revelou existirem diferenças estatisticamente significativas no tempo necessário para completar a tarefa de desenhar e encontrar um avião no sistema ASfOR

e no sistema 3DMSE ($t(19) = -3.366$, $p = 0.003$). Completar a tarefa no ASfOR mostrou-se mais rápido que no 3DMSE, com o tempo passado a desenhar a ser menor no ASfOR ($t(19) = -3.031$, $p = 0.007$). O tempo da devolução dos resultados também foi menor no ASfOR ($t(19) = -3.707$, $p < 0.001$), bem como o tempo passado a observar resultados ($t(19) = -5.111$, $p < 0.001$). Os participantes apagaram mais vezes no ASfOR ($t(19) = -3.707$, $p < 0.001$), contudo realizaram mais procuras no 3DMSE ($t(19) = -3.676$, $p = 0.002$). O número de objectos observados foi maior no sistema ASfOR que no sistema 3DMSE ($t(19) = 3.123$, $p = 0.006$). Na Figura 4.5 é possível ver os gráficos relativos às medições efectuadas.

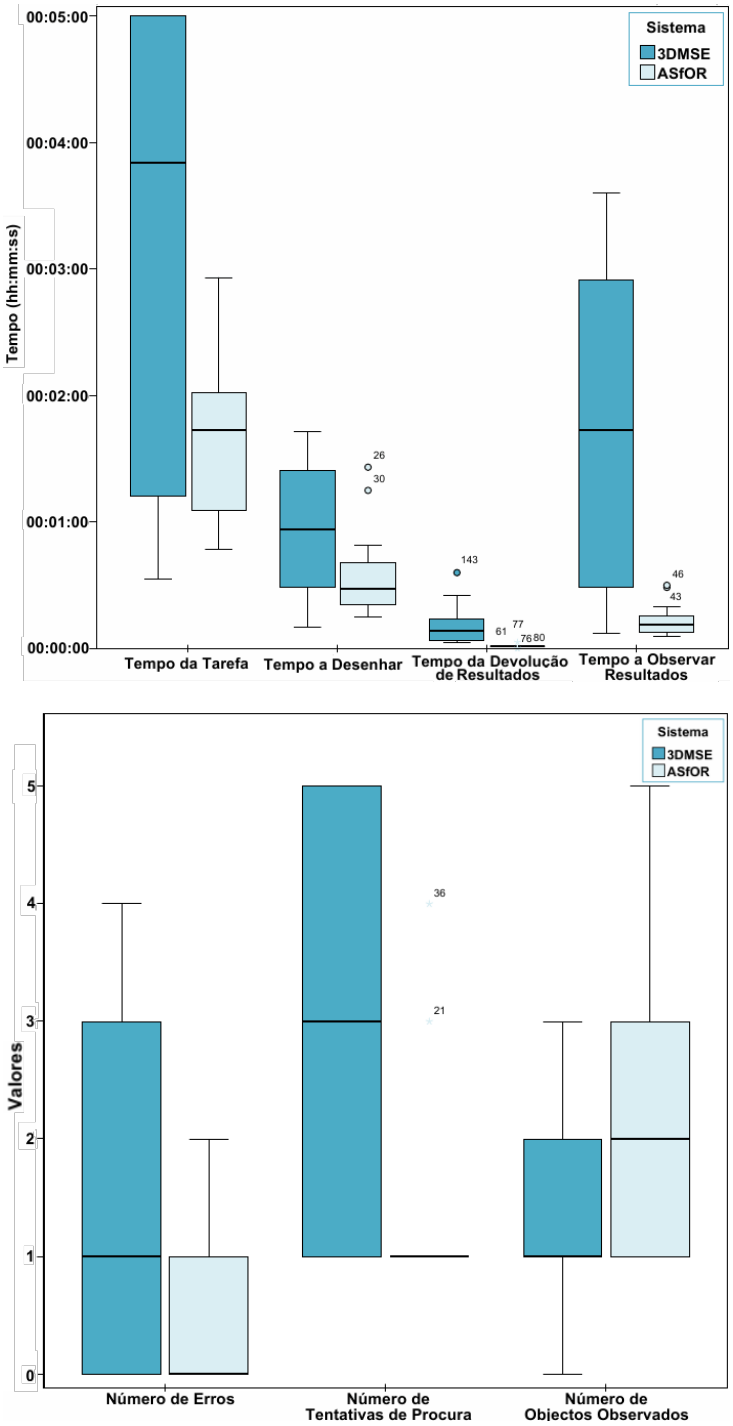


Figura 4.5: Gráficos relativos às medições efectuadas na tarefa do avião.

Tarefa da Bicicleta

Aplicando o teste T de Amostras Pareadas, este revelou existirem diferenças estatisticamente significativas no tempo necessário para completar a tarefa de desenhar e encontrar uma bicicleta no sistema ASfOR e no sistema 3DMSE ($t(19) = -5.331$, $p < 0.001$). Completar a tarefa no ASfOR mostrou-se mais rápido que no 3DMSE, com o tempo passado a desenhar a ser menor no ASfOR ($t(19) = -5.202$, $p < 0.001$). O tempo da devolução dos resultados não foi estatisticamente significativo. O tempo passado a observar resultados foi ($t(19) = -8.085$, $p < 0.001$). O número de erros não foi significativo, e os utilizadores realizaram mais procuras no 3DMSE ($t(19) = -3.367$, $p = 0.002$). O número de objectos observados foi maior no sistema ASfOR que no sistema 3DMSE ($t(19) = 3.226$, $p = 0.004$). Na Figura 4.6 é possível ver os gráficos relativos às medições efectuadas.

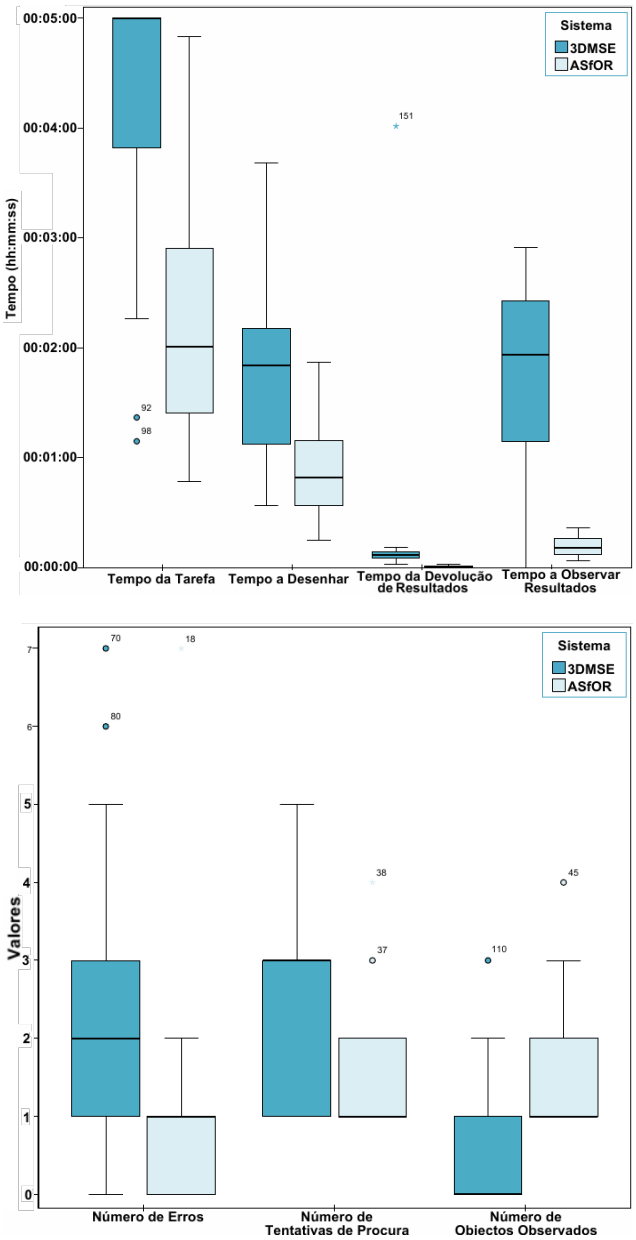


Figura 4.6: Gráficos relativos às medições efectuadas na tarefa da bicicleta.

Tarefa da Caixa do Correio

Aplicando o teste T de Amostras Pareadas, este revelou não existirem diferenças estatisticamente significativas no tempo necessário para completar a tarefa de desenhar e encontrar uma caixa do correio no sistema ASfOR e no sistema 3DMSE. Apesar de o tempo passado a desenhar ser menor no ASfOR ($t(19) = -2.478$, $p = 0.023$) bem como o tempo da devolução dos resultados ($t(19) = -4.826$, $p < 0.001$), não houve diferenças estatisticamente significativas no tempo passado a observar resultados, bem como no número de procuras. O número de erros mostrou-se maior no sistema 3DMSE ($t(19) = -3.052$, $p = 0.007$). O número de objectos observados foi maior no sistema ASfOR que no sistema 3DMSE ($t(19) = 3.943$, $p = 0.001$). Na Figura 4.7 é possível ver os gráficos relativos às medições efectuadas.

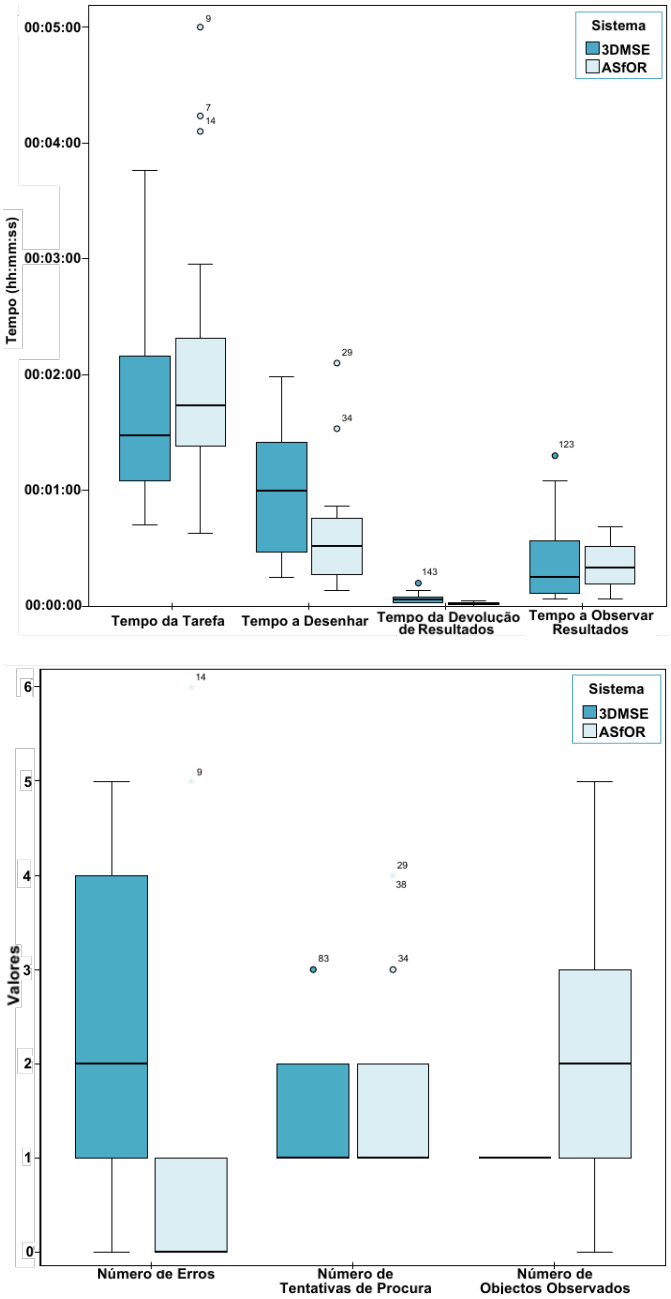


Figura 4.7: Gráficos relativos às medições efectuadas na tarefa da caixa do correio.

Tarefa da Casa

Aplicando o teste T de Amostras Pareadas, este revelou existirem diferenças estatisticamente significativas no tempo necessário para completar a tarefa de desenhar e encontrar uma casa no sistema ASfOR e no sistema 3DMSE ($t(19) = -2.875$, $p = 0.01$). Completar a tarefa no ASfOR mostrou-se mais rápido que no 3DMSE, apesar de o tempo passado a desenhar não ter diferenças significativas. O tempo da devolução dos resultados foi menor no ASfOR ($t(19) = -4.893$, $p < 0.001$), bem como o tempo passado a observar resultados ($t(19) = -4.664$, $p < 0.001$). Não houve diferenças estatisticamente significativas no número de erros, no número de procuras e no número de objectos observados. Na Figura 4.8 é possível ver os gráficos relativos às medições efectuadas.

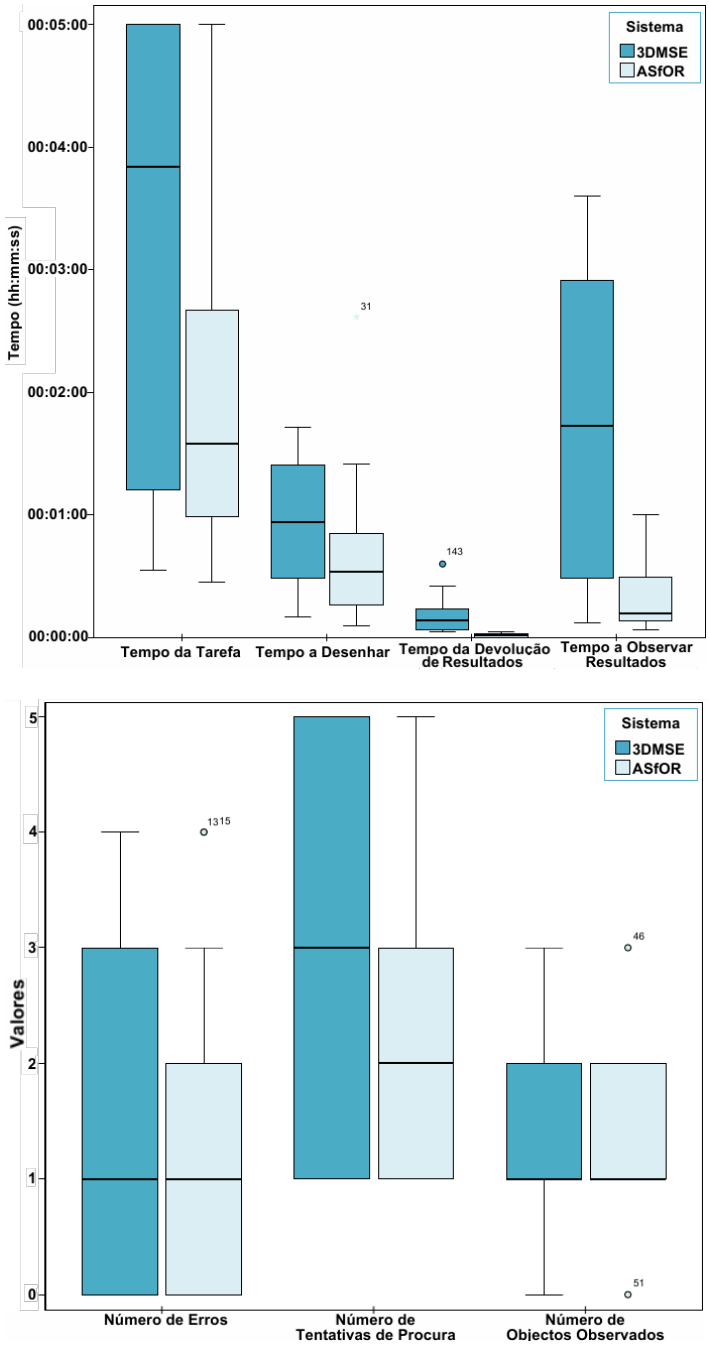


Figura 4.8: Gráficos relativos às medições efectuadas na tarefa da casa.

Tarefa da Tartaruga

Aplicando o teste T de Amostras Pareadas, este revelou não existirem diferenças estatisticamente significativas no tempo necessário para completar a tarefa de desenhar e encontrar uma tartaruga no sistema ASfOR e no sistema 3DMSE, bem como no tempo passado a desenhar. O tempo da devolução dos resultados foi menor no ASfOR ($t(19) = -7.394$, $p < 0.001$), bem como o tempo passado a observar resultados ($t(19) = -4.327$, $p < 0.001$). Não se verificaram diferenças no número de vezes em que se apagou, bem como no número de procuras e de objectos observados. Na Figura 4.9 é possível ver os gráficos relativos às medições efectuadas.

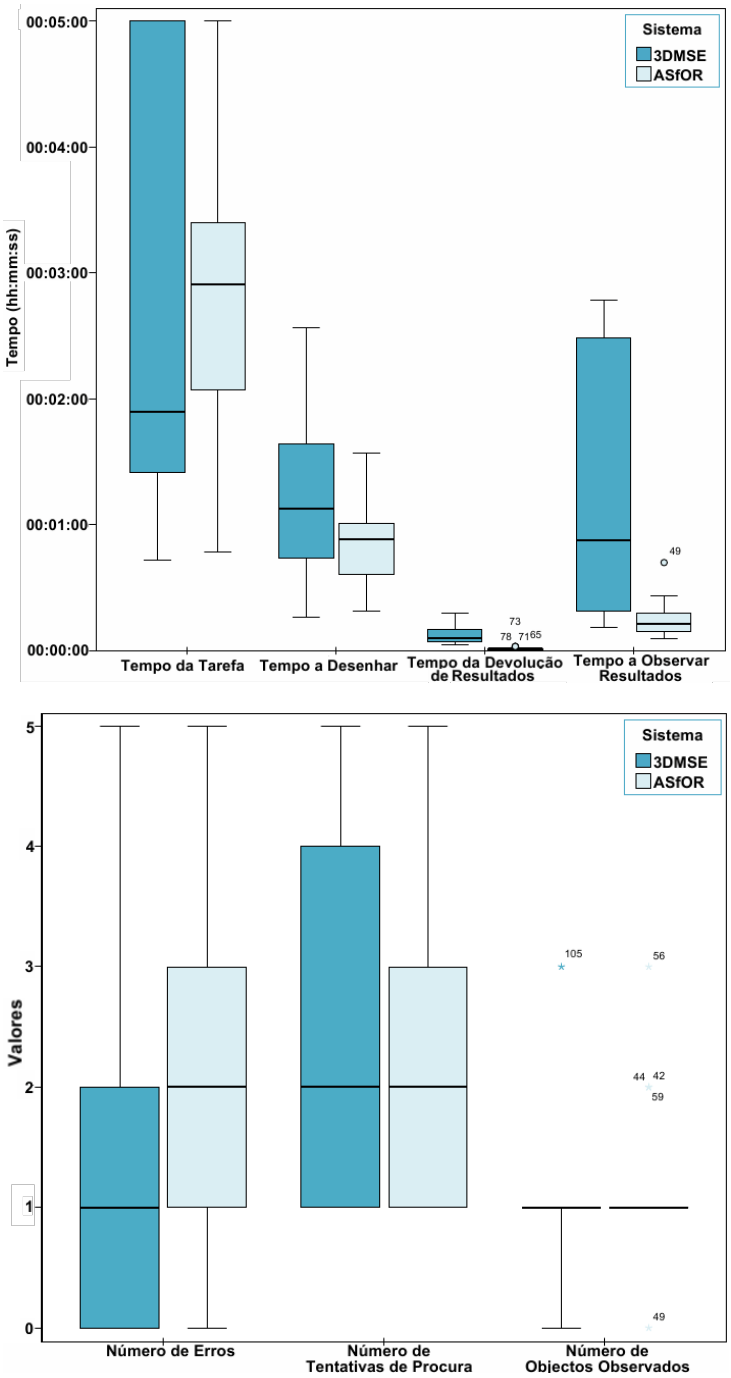


Figura 4.9: Gráficos relativos às medições efectuadas na tarefa da tartaruga.

Análise Geral

Novamente, o teste T de Amostras Pareadas foi aplicado aos dados, desta vez ao conjunto de dados de todas as tarefas. Foi possível observar que houve diferenças estatisticamente significativas em todas as medições. O tempo necessário para completar uma tarefa no sistema ASfOR foi menor que no sistema 3DMSE ($t(99) = -4.410$, $p < 0.001$). Tal será possível devido à maior facilidade em criar um esboço e à quantidade de resultados apresentados no ASfOR. Para procurar um objecto no ASfOR só é necessário um esboço, enquanto que no sistema 3DMSE, apesar de ser possível usar apenas um esboço, há maior dificuldade em encontrar resultados. O ideal é usar as três caixas de esboço, o que implica que o utilizador necessite de pensar em diferentes vistas de um objecto e criá-las, em oposição a apenas uma que permite ter todos os ângulos, como acontece no sistema ASfOR. Desta forma, compreende-se também o facto de o tempo passado a desenhar ser menor no ASfOR ($t(99) = -6.228$, $p < 0.001$), devido à facilidade de observar um esboço do ângulo que o utilizador precisar, não estando restringido a apenas uma vista. Tal permite ver mais facilmente o que se está a criar no espaço tridimensional e, com a existência dos auxiliares de desenho, criar um esboço de forma mais rápida. Com o número de erros feitos a ser menor no sistema ASfOR ($t(99) = -2.771$, $p = 0.007$), o número de procuras também se torna menor ($t(99) = -3.394$, $p = 0.001$). Ao poder criar esboços mais completos e definitivos, é necessário apagar menos vezes. O facto de o desenho ser no ar dá também uma maior liberdade ao desenho, não estando limitado pelo tamanho de uma caixa nem pelas dificuldades em usar uma caneta e desenhar numa superfície bi-dimensional. Não há atrito nem limites. Com esboços definitivos, não é necessário executar tantas procuras para encontrar resultados relevantes.

O tempo da devolução dos resultados foi menor no sistema ASfOR, em comparação com o sistema 3DMSE ($t(99) = -3.836$, $p < 0.001$). Ainda, encontrar um resultado mostrou-se mais rápido no sistema ASfOR, ao contrário do sistema 3DMSE ($t(99) = -9.390$, $p < 0.001$). Uma explicação possível é o facto de o 3DMSE devolver um total de 100 resultados, tendo-se verificado que, em média, o primeiro resultado relevante apenas era encontrado na posição número 52 (Desvio Padrão = 40.121), se fosse encontrado algum resultado relevante. Houve 31 tarefas onde não se encontrou nenhum resultado relevante no sistema 3DMSE, contra apenas 2 tarefas no sistema ASfOR. Mais uma vez, é possível que tal aconteça devido à facilidade de criar um esboço, este ser criado no espaço 3D, permitindo diversos ângulos de visão, a existência de auxiliares para criar o esboço e não haver limites para a criação. Tal aumenta a probabilidade de obter um resultado relevante e, sendo mostrada uma menor quantidade de resultados, é mais rápido concluir se se encontrou o objecto que se procura.

Por fim, o número de resultados observados no sistema ASfOR mostrou-se maior que no sistema 3DMSE ($t(99) = 5.642$, $p < 0.001$). A razão para tal foi observada e registada a partir de comentários dos utilizadores: poder visualizar objectos no espaço tridimensional era algo novo e não antes experienciado por nenhum utilizador. Os utilizadores sentiram desejo de observar mais objectos, ver o que tinha sido devolvido, e inspeccionar um modelo, mesmo que não fosse o desejado, por curiosidade. Tal não se tornou maçador devido a uma quantidade menor de resultados. Pelo contrário, no sistema 3DMSE, a quantidade de resultados deixava os utilizadores aborrecidos, pelo número que teriam de percorrer, pelo que não se demoravam a observar vários mais atentamente. Tendo ainda testado o sistema previamente, sabiam

que a apresentação de mais detalhes não era segura, e as vistas limitadas, pelo que não sentiram que veriam algo informativo que justificasse uma observação mais detalhada. Na Figura 4.10 é possível ver os gráficos relativos às medições efectuadas.

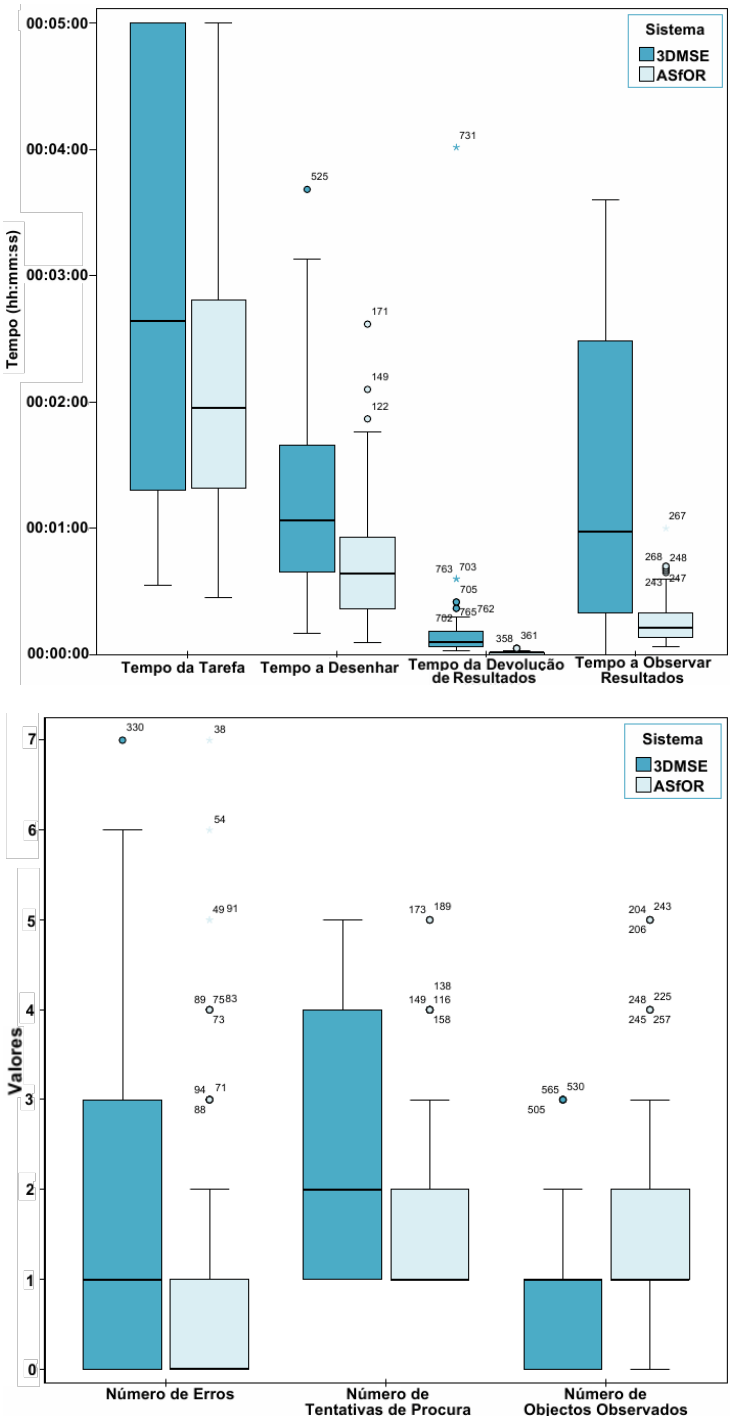


Figura 4.10: Gráficos relativos às medições efectuadas em todas as tarefas.

Foi ainda feita uma análise relativa aos tempos em cada sistema, tendo-se concluído que no sistema ASfOR a maior parte do tempo da tarefa foi passado a usar as diversas ferramentas do menu e a observar o esboço criado, enquanto que no sistema 3DMSE a maior parte do tempo da tarefa foi gasto a desenhar ou a observar resultados. Estas conclusões seguem a linha das já apresentadas, uma vez que no sistema

ASfOR as ferramentas e os auxiliares de desenho permitem dar menos trabalho ao utilizador e trazem bastantes utilidades. No sistema 3DMSE, não existindo ferramentas auxiliares, é natural que o tempo da tarefa se distribua entre criar o esboço e procurar o objecto pedido. Na Figura 4.11 é possível observar esta distribuição em ambos os sistemas.

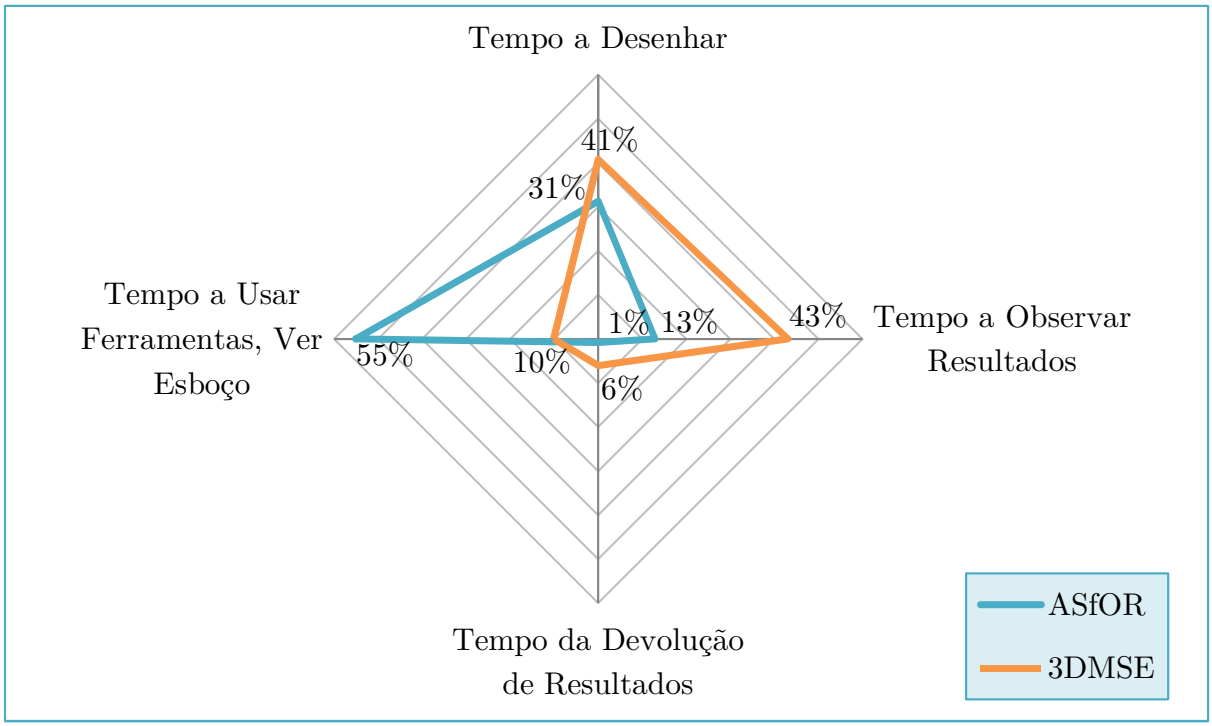


Figura 4.11: Distribuição do tempo nos sistemas ASfOR e 3D Model Search Engine.

4.5.2 Análise Qualitativa

Foi pedido aos utilizadores nos questionários que classificassem a sua experiência com o sistema ou uma característica do mesmo usando uma escala de *Likert* com 5 valores (1 – muito mau, 5 – muito bom). As respostas dos utilizadores encontram-se nos Anexos A.4.2 e A.4.4. Uma compilação das respostas pode ser vista nas Tabelas 4.3 e 4.4. Avaliando os resultados através de um teste estatístico *Wilcoxon Signed Rank*, foi possível encontrar diferenças estatisticamente significativas.

Sobre a facilidade em aprender a interagir com o sistema, os utilizadores foram da opinião que o sistema ASfOR é mais difícil de aprender do que o sistema 3DMSE ($Z = -3.758$, $p < 0.001$). Tal acontece possivelmente devido à grande familiaridade com menus e listas, que estão presentes em diversos equipamentos no dia-a-dia, e também à interacção no diária com dispositivos multi-toque. Contudo, essa dificuldade terá desaparecido após a habituação, já que os utilizadores sentiram que o sistema ASfOR se mostrou mais fácil para criar desenhos (e assim interagir) do que o sistema 3DMSE ($Z = -3.804$, $p < 0.001$). Uma possível razão para que o sistema 3DMSE não seja preferido pode ter como base o facto de que para criar um esboço desenhando numa superfície dependa da capacidade de desenhar do utilizador e habilidade para manejar a caneta *touch stylus*. Como o sistema ASfOR imita a forma como

	Aprender a Interagir*	Desenhar*	Encontrar Resultado*	Observar Resultado*	Cansaço Visual*	Cansaço Físico	Diversão*
ASfOR	3 (1)	4 (0)	4 (1)	5 (1)	2 (0)	4 (0)	4 (1)
3DMSE	5 (1)	3 (1)	1,5 (1)	3 (1)	5 (0)	5 (0)	2 (1)

(* indica significância estatística)

Tabela 4.3: Compilação dos resultados às perguntas comuns a ambos os sistemas nos questionários finais, de acordo com os critérios das perguntas (Mediana, Intervalo Interquartil).

	Fácil de Usar*	Útil*
Suavização do Traço	3 (1)	2 (1)
Best Fit Plane - Tubos	5 (0)	4 (1)
Best Fit Plane - Plano	5 (0)	3 (1)
CALI	5 (0)	4 (1)
Convex Hull	5 (0)	4 (1)

(* indica significância estatística)

Tabela 4.4: Compilação dos resultados às perguntas relativas às características dos auxiliares de desenho do questionário final, de acordo com os critérios das perguntas (Mediana, Intervalo Interquartil).

uma pessoa interage com objectos físicos num espaço tridimensional, tal pode explicar a preferência dos utilizadores.

Relativamente a conseguir encontrar um resultado correcto na lista de resultados, os utilizadores sentiram que o sistema ASfOR permitia encontrar com maior facilidade que o sistema 3DMSE ($Z = -3.985$, $p < 0.001$). A existência de 100 resultados possíveis neste sistema e a dificuldade em desenhar tornam o processo de encontrar um resultado moroso. Quanto à facilidade em observar um resultado após a selecção na lista, a opinião dos utilizadores recaiu também no sistema ASfOR ($Z = -3.782$, $p < 0.001$). Tal terá como base o facto de ser possível verificar cada objecto a partir de todos os seus ângulos em ponto grande no sistema ASfOR, em oposição ao sistema 3DMSE onde cada resultado é uma miniatura que pode ou não conter imagens de apenas alguns ângulos.

Em termos de cansaço, foi unânime por parte dos utilizadores que o sistema ASfOR causa bastante cansaço visual em comparação com o sistema 3DMSE ($Z = -4.099$, $p < 0.001$). O facto de a vista

do utilizador estar tão próxima do ecrã do HMD Oculus Rift e de a sua resolução ser baixa, causa um grande esforço visual e algumas dores de cabeça. O sistema 3DMSE é visualizado numa mesa combinada com uma televisão, tendo esse aspecto. Não estando tão próxima, a sua observação é menos cansativa. Analisando os dados relativos ao cansaço físico nos dois sistemas, conclui-se que não existem diferenças estatisticamente significativas relativamente a um necessitar de maior esforço físico que o outro.

Por fim, considerando o factor diversão, os utilizadores estão em concordância entre si: o sistema ASfOR é mais divertido ($Z = -3.874$, $p < 0.001$). Por hipótese, a forma natural e simples como são realizadas as interacções neste sistema, imitando as interacções com o mundo real, e a possibilidade de criar desenhos tridimensionais, algo não anteriormente visto pelos utilizadores, pode explicar este resultado.

Comparando os cinco auxiliares de desenho do sistema ASfOR entre si, a técnica Suavização do Traço foi considerada a mais difícil de usar comparativamente a todas as outras técnicas ($Z = -4.300$, $p < 0.001$), com todas as outras técnicas a receberem a mesma classificação por parte dos utilizadores. Não há, assim, diferença estatística entre as outras técnicas. Relativamente à técnica mais útil, a escolha recaiu no Best Fit Plane – Tubos e o Convex Hull, em oposição às técnicas Suavização do Traço, Best Fit Plane – Plano e CALI ($Z = -4.035$, $p < 0.001$ e $Z = -4.185$, $p < 0.001$ e $Z = -3.606$, $p = 0.001$) (não existe diferença significativa entre o Best Fit Plane – Tubos e o Convex Hull). Tal pode ser explicado com a grande utilização que foi feita dessas duas técnicas, não tendo sido sequer usada a técnica Suavização do Traço. Esta terá sido considerada demasiado restritiva, provocando a sensação de pouca liberdade no utilizador.

4.5.3 Observações

Durante todas as sessões de teste foram observadas e anotadas todas as acções e expressões dos utilizadores. Alguns utilizadores queixaram-se de movimentos não intencionais, provocados por falhas aleatórias do seguidor dos marcadores. Estes problemas de seguimento foram notórios quando a orientação dos utilizadores tendia para a parede esquerda, com o seu corpo a ocultar os movimentos para as câmaras. Contudo, estes problemas não aumentaram significativamente a dificuldade em realizar as tarefas.

Os utilizadores concordaram ser mais divertido realizar esboços no espaço tridimensional em vez de bi-dimensionalmente. Sentiram maior liberdade de criar e até uma apetência por explorar de forma lúdica. Para tal gostaram de experimentar diferentes combinações de auxiliares, esboços e sólidos.

Uma ferramenta da qual os utilizadores na maioria sentiram falta, foi uma opção para duplicar um objecto. Sentiram essa necessidade principalmente ao terem de criar mais do que uma roda de bicicleta, asa de avião ou pata de tartaruga. A duplicação diminuiria o esforço de fazer duas vezes a mesma acção. Apesar disso, tal não aumentou a dificuldade em realizar tarefas.

Nenhum dos utilizadores usou a técnica Suavização do Traço durante as tarefas. Durante a fase de treino, as opiniões unânimes ao testar foram impedir o seu desenho livre, como se lhes fosse imposto um limite. As correcções aos seus esboços não lhes agradaram, preferindo ser eles a escolher uma correcção a partir das sugestões que lhes eram apresentadas pelos auxiliares de desenho.

4.6 Resumo

Neste capítulo apresentou-se o processo de avaliação do sistema desenvolvido. Começou por se descrever os sistemas comparados, primeiramente o 3D Model Search Engine (3DMSE), que permite aos utilizadores realizarem pesquisas por um objecto 3D através de esboços 2D criados numa página na internet. De seguida descreveu-se o sistema ASfOR, que dá a possibilidade ao utilizador de criar esboços 3D desenhando no ar, utilizando esses mesmos esboços para procurar por objectos 3D.

Foi apresentada a metodologia de testes seguida durante as sessões com utilizadores. Esta consistiu num questionário inicial preenchido pelos utilizadores, seguido de uma apresentação e sessão de treino de 5 minutos para cada um dos sistemas a testar. Após a ambientação dos utilizadores a cada um dos sistemas, foram realizadas 5 tarefas de procura em cada um dos ambientes. Por fim, após a realização das tarefas, os utilizadores preencheram um questionário para avaliar diversos aspectos de cada sistema, tais como a facilidade de interacção, realização de pesquisa e diversão.

Foi feita a descrição das tarefas realizadas pelos utilizadores. Estes receberam uma folha com uma imagem do objecto que tinham de encontrar, devendo para tal criar esboços em cada um dos sistemas. Descreveu-se ainda o ambiente onde decorreram os testes bem como o *hardware* envolvido, seguido do perfil dos participantes nos testes.

Por fim foi feita a análise dos resultados obtidos nos testes. Concluiu-se que o tempo necessário para completar uma tarefa é menor no sistema ASfOR. O tempo gasto a desenhar os esboços foi menor no sistema ASfOR quando comparado com o 3DMSE. Também o tempo de devolução de resultados, bem como o tempo a observar os resultados foram menores no ASfOR. Relativamente ao número de procuras necessárias para devolver resultados relevantes, foram necessárias mais pesquisas no sistema 3DMSE.

Na opinião dos utilizadores, o sistema 3DMSE mostrou-se mais fácil de aprender a interagir, devido à familiaridade com menus e listas que estão presentes em diversos equipamentos no dia-a-dia, bem como à interacção diária com dispositivos multi-toque. No entanto, após a aprendizagem, os utilizadores consideraram mais fácil e divertido utilizar o sistema ASfOR. Foram também da opinião de que se mostrou mais fácil observar e encontrar resultados relevantes no sistema ASfOR.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalho Futuro

Nos últimos anos, o número de objectos 3D disponíveis digitalmente tem crescido. A diversidade de ferramentas existentes permite criar com facilidade esses objectos. Consequentemente, as colecções que contêm estes objectos também têm crescido. Tal levanta um problema: como procurar numa grande colecção?

Os métodos actuais de pesquisa de objectos 3D usam principalmente meta-informação, que pode estar em falta ou incorrecta num objecto. A maioria das soluções, para apresentar resultados, faz uso do tradicional sistema WIMP, que se encontra disseminado no nosso dia-a-dia. Ao devolver listas de imagens como resultados, tal traz dificuldades em perceber as propriedades de um objecto, caso estas sejam pouco detalhadas ou de vistas pouco significativas.

Na realização desta dissertação procurou-se criar um método natural de especificação de interrogações de objectos 3D para recuperação de objectos, passando pela imersividade. Tal permite oferecer ao utilizador todos os pontos de vista dos objectos, à semelhança da visualização e interacção com objectos no mundo real. Pretendia-se que a solução encontrada tirasse partido de uma interacção natural e simples, permitindo ser usada por utilizadores sem experiência tanto com ferramentas de modelação tridimensional, bem como com dispositivos de realidade virtual.

Para tal, desenvolveu-se um sistema, ao qual se deu o nome ASfOR (Air Sketching for Object Retrieval), que faz uso de interacções do utilizador num ambiente tridimensional virtual, permitindo-lhe criar esboços no ar, fornecendo ainda diversos auxiliares eficientes na criação dos seus esboços. As funcionalidades são disponibilizadas recorrendo a uma metáfora da paleta do pintor, oferecendo assim a possibilidade de escolher uma função/ferramenta a partir de uma paleta, como se se mergulhasse um pincel na tinta. Os resultados de uma pesquisa são ainda mostrados no ambiente tridimensional, permitindo uma inspecção completa de todos os ângulos de um objecto.

Para validar esta solução, esta foi comparada, numa avaliação por utilizadores, com uma solução existente de uma ferramenta de pesquisa 3D, que utiliza uma interface WIMP e esboços 2D. Os resultados recolhidos permitiram concluir que o ASfOR pode potencialmente fornecer uma melhor visualização para a criação de objectos e interpretação de resultados, bem como se torna mais fácil especificar um objecto desenhando em 3D do que em 2D. Permite ainda criar representações mais completas dos objectos

procurados pelo utilizador, com o recurso aos seus auxiliares. A habilidade de um utilizador na criação de esboços não influencia a capacidade do sistema devolver resultados significativos, em contraste com o sistema comparado, que apenas devolve um resultado significativo bastante tarde, no seu total de 100 resultados. A conclusão de uma tarefa não se mostra mais longa, apesar da criação de esboços mais completos e do uso de ferramentas por parte dos utilizadores. A navegação e o consequente encontrar de um resultado apresenta-se menos demorado, com uma quantidade de resultados menor para exploração e ainda uma mais fácil observação de características. Em média, o número de erros realizados por cada utilizador é também inferior.

Os utilizadores tiveram maior dificuldade em aprender a interagir com o sistema, contudo, após aprender, não sentiram dificuldade em criar esboços com o mesmo. O grau de diversão foi superior, e os auxiliares de desenho foram, no geral, considerados úteis. O maior problema passou pelo cansaço visual, que se mostrou significativamente elevado, quando comparado com a visualização do sistema tradicional na superfície multi-toque.

Apesar de tudo, foi possível comprovar que as soluções existentes não são as mais adequadas para a procura e visualização de objectos tridimensionais. A solução desenvolvida apresenta-se capaz de concorrer com as abordagens existentes, apresentando facilidade de utilização e pontos positivos relativamente ao nível de satisfação. Tal deve-se à naturalidade e simplicidade da solução, com uma interacção tridimensional que permite ao utilizador sentir-se presente no ambiente virtual.

Acredita-se que a solução proposta para a criação de esboços e pesquisa de objectos possa ser aplicada em diversos cenários mais específicos, tais como peças de linhas de montagem e arquitectura.

Apesar de se terem alcançado os objectivos propostos, acredita-se ainda ser possível melhorar e completar este trabalho. Com a validação da abordagem desenvolvida, surgem diversas possibilidades de melhorias ou desafios que tomam grande importância na continuação deste trabalho no futuro. Exemplo disso são os seguintes pontos:

- **Integração com o HMD Oculus Rift 2**

  Com o avanço dos Oculus Rift, a versão 2 traz melhorias que permitiriam eliminar um dos problemas deste projecto: o cansaço visual. A resolução da versão 1 não é a ideal, causando grande cansaço, que se torna um impedimento à completa imersão no sistema. A nova versão corrige esse problema, bem como problemas de iluminação e facilidade de integração no Unity, a ferramenta onde o projecto foi desenvolvido.

- **Seleccionar objectos enviados na interrogação**

  Com a criação deste sistema de esboços, abre-se a porta à criação de cenários completos a partir das pesquisas efectuadas. O utilizador nem sempre quererá usar na sua interrogação todos os elementos já obtidos, mas também não querendo apagá-los. Tal tornar-se-ia realidade com a possibilidade de seleccionar objectos relevantes para uma pesquisa.

- **Utilização de diferentes descritores**

  A utilização de diferentes descritores para a correspondência de formas permite gerar diferentes

resultados. Seria relevante verificar que resultados outros descritores devolvem, bem como poder alterar os descritores usados consoante as necessidades da próxima pesquisa.

- **Explorar formatos de lista de resultados apresentados**

  Tendo-se decidido por apresentar os resultados usando o espaço disponibilizado pelo Menu, seria interessante explorar diferentes formatos da apresentação da lista de resultados, que ultimamente permitiriam ao utilizador escolher um formato diferente, de acordo com as suas preferências.

- **Disponibilizar funções adicionais**

  Durante os testes efectuados, vários utilizadores manifestaram a necessidade de ter a sua disposição funções como escalar objectos já existentes, alterar a cor de objectos existentes e, a mais mencionada, a possibilidade de duplicar objectos existentes. Tal permitiria melhorar o esboço criado e ainda não ter de desenhar diversas vezes o mesmo sub-objecto.

Estas diversas ideias poderiam oferecer uma melhor interacção, navegação e visualização neste protótipo, que por si só conseguiu alcançar o objectivo proposto, o de criar uma solução natural e imersiva para esboçar e pesquisar objectos tridimensionais. Permitiu dar passos na criação de esboços em ambientes imersivos. Com os conhecimentos adquiridos neste trabalho e os avanços alcançados, fica criada uma base para melhorar e até apoiar trabalhos futuros no mesmo tópico.

Bibliografia

[1] C. B. Barber, D. P. Dobkin, e H. Huhdanpaa. The quickhull algorithm for convex hulls. *ACM Trans. Math. Softw.*, 22(4), 1996.

[2] BranitFX e L. Pictures. World builder (high quality). `www.youtube.com/watch?v=VzFpg271sm8`, Fevereiro 2011. Acedido em: 15-10-2014.

[3] L. Cao, J. Liu, e X. Tang. 3d object retrieval using 2d line drawing and graph based relevance feedback. In *Proceedings of the 14th Annual ACM International Conference on Multimedia*, MULTIMEDIA '06, pages 105–108, New York, NY, USA, 2006. ACM.

[4] B. De Araùjo, G. Casiez, e J. Jorge. Mockup Builder: Direct 3D Modeling On and Above the Surface in a Continuous Interaction Space. In *GI'12 - 38th Graphics Interface conference*, pages 173–180, Toronto, Canada, May 2012. Canadian Information Processing Society.

[5] R. Dias, M. Fonseca, N. Silva, e T. Cardoso. Encontra: a generic multimedia information retrieval meta-framework. *Multimedia Tools and Applications*, pages 1–23, 2013. ISSN 1380-7501.

[6] M. Eitz, J. Hays, e M. Alexa. How do humans sketch objects? volume 31, pages 44:1–44:10, 2012.

[7] M. J. Fonseca, C. Pimentel, e J. A. Jorge. Cali: An online scribble recognizer for calligraphic interfaces. In *Sketch Understanding, Papers from the 2002 AAAI Spring Symposium*, pages 51–58, 2002.

[8] T. Funkhouser, P. Min, M. Kazhdan, J. Chen, A. Halderman, D. Dobkin, e D. Jacobs. A search engine for 3d models. *ACM Trans. Graph.*, 22(1):83–105, Jan. 2003. ISSN 0730-0301.

[9] S. E. Ghirotti e C. H. Morimoto. Um sistema de interação baseado em gestos manuais tridimensionais para ambientes virtuais. In *Proceedings of the IX Symposium on Human Factors in Computing Systems*, IHC '10, pages 159–168, Porto Alegre, Brazil, Brazil, 2010. Brazilian Computer Society.

[10] S. A. Grandhi, C. Wacharamanotham, G. Joue, J. Borchers, e I. Mittelberg. How we gesture towards machines: an exploratory study of user perceptions of gestural interaction. In *CHI '13 EA: Extended Abstracts of 2013 ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing*, pages 1209–1214, New York, NY, USA, April 2013. ACM.

[11] D. Henriques, D. Mendes, P. Pascoal, I. Trancoso, e A. Ferreira. Poster: Evaluation of immersive visualization techniques for 3d object retrieval. In *3D User Interfaces (3DUI), 2014 IEEE Symposium on*, pages 145–146, March 2014.

[12] C. Holz e A. Wilson. Data miming: Inferring spatial object descriptions from human gesture. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pages 811–820, New York, NY, USA, 2011. ACM.

[13] S. A. Iacolina, A. Soro, e R. Scateni. Natural exploration of 3d models. In P. Marti, A. Soro, L. Gamberini, e S. Bagnara, editors, *CHItaly*, pages 118–121. ACM, 2011.

[14] M. Kazhdan, T. Funkhouser, e S. Rusinkiewicz. Rotation invariant spherical harmonic representation of 3d shape descriptors. In *Proceedings of the 2003 Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Geometry Processing*, SGP '03, pages 156–164. Eurographics Association, 2003.

[15] J. Lee e T. Funkhouser. Sketch-based search and composition of 3d models. In *Proceedings of the Fifth Eurographics Conference on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, SBM'08, pages 97–104, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2008. Eurographics Association.

[16] J. Lee, J. Park, e Y. Choi. Elliptic polygon based 2d sketch interface for 3d shape matching. In O. Gervasi e M. Gavrilova, editors, *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2007*, volume 4706 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 706–715. Springer Berlin Heidelberg, 2007.

[17] F. Marton, M. Agus, E. Gobbetti, G. Pintore, e M. Balsa Rodriguez. Natural exploration of 3d massive models on large-scale light field displays using the fox proximal navigation technique. volume 36, pages 893–903, Amsterdam, The Netherlands, December 2012. Elsevier Science Publishers B. V.

[18] P. Min. *A Three-dimensional Model Search Engine*. PhD thesis, Princeton, NJ, USA, 2004.

[19] K. Moustakas, M. Strintzis, D. Tzovaras, S. Carbini, O. Bernier, J. Viallet, S. Raidt, M. Mancas, M. Dimiccoli, E. Yagci, S. Balci, e E. Leon. Masterpiece: physical interaction and 3d content-based search in vr applications. volume 13, pages 92–100, July 2006.

[20] M. Nakazato e T. S. Huang. 3d mars: Immersive virtual reality for content-based image retrieval. In *ICME*. IEEE Computer Society, 2001.

[21] P. B. Pascoal. Im-oret: Immersive object retrieval. 2011.

[22] J. Pu e K. Ramani. A 3d model retrieval method using 2d freehand sketches. In *Proceedings of the 5th International Conference on Computational Science - Volume Part II*, ICCS'05, pages 343–346, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer-Verlag.

[23] J. M. Saavedra, B. Bustos, M. Scherer, e T. Schreck. Stela: Sketch-based 3d model retrieval using a structure-based local approach. In *Proceedings of the 1st ACM International Conference on Multimedia Retrieval*, ICMR '11, pages 26:1–26:8, New York, NY, USA, 2011. ACM.

[24] J. M. Saavedra, B. Bustos, T. Schreck, S. Yoon, e M. Scherer. Sketch-based 3d model retrieval using keyshapes for global and local representation. In *Proceedings of the 5th Eurographics Conference on 3D Object Retrieval*, EG 3DOR'12, pages 47–50, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2012. Eurographics Association.

[25] T. Santos, A. Ferreira, F. Dias, e M. J. Fonseca. Using sketches and retrieval to create lego models. In *Proceedings of the Fifth Eurographics Conference on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, SBM'08, pages 89–96, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2008. Eurographics Association.

[26] T. Shao, W. Xu, K. Yin, J. Wang, K. Zhou, e B. Guo. Discriminative sketch-based 3d model retrieval via robust shape matching. pages 2011–2020, 2011.

[27] H. Shin e T. Igarashi. Magic canvas: Interactive design of a 3-d scene prototype from freehand sketches. In *Proceedings of Graphics Interface 2007*, GI '07, pages 63–70, New York, NY, USA, 2007. ACM.

[28] J. W. Tangelder e R. C. Veltkamp. A survey of content based 3d shape retrieval methods. volume 39, pages 441–471, Hingham, MA, USA, Sept. 2008. Kluwer Academic Publishers.

[29] X. Xie, X. Kai, N. J. Mitra, D. Cohen-Or, e B. Chen. Sketch-to-design: Context-based part assembly. volume 32, pages 233–245, 2013.

[30] T. Xue, J. Liu, e X. Tang. Example-based 3d object reconstruction from line drawings. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on*, pages 302–309, June 2012.

[31] Y. Yin. A hierarchical approach to continuous gesture analysis for natural multi-modal interaction. In *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Multimodal Interaction*, ICMI '12, pages 357–360, New York, NY, USA, 2012. ACM.

Apêndice A

Avaliação

A.1 Guião de Testes

A.1.1 Introdução

O presente documento tem como objectivo a descrição do protocolo especificado para o conjunto de testes a serem realizados no âmbito da tese de mestrado do projecto ASfOR. O objectivo destes testes é validar o sistema de especificação de interrogações desenvolvido, comparando-o com o sistema 3D Model Search Engine. Com a permissão de cada utilizador, as sessões serão gravadas através de vídeo. Garante-se a confidencialidade de todos os dados, que serão usados estritamente para fins académicos.

Cada sessão de teste está dividida em duas partes, sendo que numa se testa o 3D Model Search Engine, e na outra o ASfOR. Na secção Procedimentos serão descritas estas sessões.

A.1.2 Material

O material que será usado nas sessões de teste, na parte do sistema ASfOR, consiste em:

- **Oculus Rift**: permitirá a visualização imersiva do ambiente virtual.
- **Wiimote**: permitirá criar esboços e interagir com as funções do sistema através dos seus botões.
- **Pulseira de fita**: permitirá interagir com o sistema e o seu menu.
- **Marcadores Optitrack**: estando colocados nos Oculus Rift, no Wiimote e na pulseira de fita, permitirão seguir os movimentos das mãos e da cabeça do utilizador.
- **Câmaras NaturalPoint**: registam os movimentos dos Marcadores Optitrack.

O material que será usado nas sessões de teste, na parte do sistema 3D Model Search Engine, consiste em:

- **Mesa Multi-toque**: permitirá a visualização do sistema.
- **Caneta Touch Stylus**: permitirá interagir com o sistema.

A.1.3 Procedimento

Cada teste decorrerá de acordo com a seguinte especificação:

1. **Questionário de Perfil**

   Antes do início da sessão, será pedido aos participantes que respondam a um questionário para se poder analisar o seu perfil de utilizador. Será pedido que respondam às seguintes perguntas:

   - Sexo, Idade, Habilitações Literárias.
   - Experiência com computadores, dispositivos multi-toque (*smartphones*, *tablets*, etc), programas de modelação tridimensional.
   - Experiência com dispositivos de realidade virtual e se sim, quais.
   - Experiência com jogos com gestos e/ou movimentos em consolas, e se sim quais os equipamentos.

2. **Apresentação e Sessão de Treino**

   Será feita uma apresentação dos sistemas a serem testados, bem como uma demonstração da utilização de cada sistema. Será ainda dado aos utilizadores um período de 5 minutos para treino, em cada sistema.

3. **Execução das Tarefas**

   Ao longo da sessão de teste, o utilizador irá executar tarefas de esboço e procura de objectos 3D em dois ambientes, o 3D Model Search Engine e o ASfOR. A sessão será dividida em duas etapas, sendo que, durante a primeira, o utilizador irá realizar 5 esboços e procuras num dos ambientes, e na segunda etapa irá realizar essas mesmas tarefas no outro ambiente. A ordem de ambientes será aleatória, bem como a ordem de cada tarefa. Para cada tarefa, cada sistema estará num estado vazio inicial, sendo reiniciado terminando a aplicação no caso de já ter sido realizada uma tarefa anteriormente. Tal permitirá que cada utilizador realize cada tarefa num estado igual, sem alterações.

   No início de cada tarefa será apresentada uma folha com uma imagem do objecto a ser procurado ao utilizador. Uma tarefa é dada por concluída quando o utilizador escolher um objecto da mesma categoria do pedido. Serão dados 5 minutos para realizar cada tarefa. Chegando esse tempo ao fim, independentemente de o utilizador não ter terminado a tarefa, esta será terminada, iniciando-se a seguinte.

4. **Questionário Final**

   Após concluírem as tarefas, será pedido aos utilizadores que preencham um questionário para avaliar diversos aspectos de ambos os sistemas, tais como facilidade de interacção, realização de pesquisa, diversão, desconforto e técnicas, entre outros.

A.1.4 Medidas a Obter

Pretende-se obter as seguintes medidas:

- Tempo de realização de cada tarefa em cada sistema, para permitir uma comparação da eficiência entre ambos.
- Tempo de desenho.
- Tempo da devolução dos resultados da recuperação.
- Tempo a explorar resultados.
- Número de tentativas de pesquisa, carregando no botão para pesquisar.
- Número de erros efectuados, onde um erro corresponde a uma decisão de apagar por parte do utilizador.
- Número de objectos analisados (ver o objecto em mais detalhe) até o utilizador escolher um objecto semelhante ao pedido.

Através do questionário após a sessão de testes, pretende-se obter as respostas às seguintes perguntas para cada sistema (cada resposta possui uma escala de 1 a 5):

- Dificuldade de aprendizagem da interacção com o sistema.
- Dificuldade em desenhar um objecto.
- Grau de diversão ao desenhar um objecto.
- Dificuldade em encontrar um resultado na lista de resultados.
- Dificuldade em observar um objecto em maior detalhe.
- Grau de cansaço em termos de esforço visual.
- Grau de cansaço em termos de esforço físico.

Para o sistema ASfOR, serão ainda colocadas as seguintes questões:

- Dificuldade de utilização de cada auxiliar de desenho.
- Grau de utilidade de cada auxiliar de desenho.

A.1.5 Descrição do Sistema ASfOR

O ambiente do sistema ASfOR consiste numa sala virtual que imita a sala do mundo físico onde o utilizador se encontra. O objectivo é poder testar o sistema dando a ilusão ao utilizador de que se encontra realmente no ambiente virtual e de que os objectos que cria existem no espaço tridimensional. Os movimentos executados pelas mãos e cabeça do utilizador são seguidos no volume da sala, com recurso a marcadores Optitrack e câmaras Motion Capture.

Utilizando os HMD Oculus Rift para visualização do mundo virtual, um comando Wiimote para criar esboços e interagir com mundo e uma pulseira que actua como menu para seleccionar diferentes funcionalidades, o utilizador tem liberdade de movimentos. Com os Oculus Rift é utilizada uma mochila que contém uma bateria e um transmissor, permitindo receber a visualização vinda a partir do computador, sem necessidade de fios e limitação de movimentos.

O sistema permite criar esboços, com recurso a traços e sólidos pré-definidos, tais como cubos, cilindros, esferas e pirâmides, escolhendo a partir do menu, que toma a forma de uma paleta. Com cada traço realizado por um utilizador, são apresentados auxiliares de desenho, podendo o utilizador escolher entre manter o que desenhou ou substituir por traços no mesmo plano, planos ou sólidos.

O utilizador pode ainda escolher criar esboços com traço suavizado, onde o sistema cria rectas, aproximando os pontos reais desenhados pelo utilizador a rectas, para recuperar de possíveis tremidas na mão.

Para realizar uma procura após criar o esboço, o utilizador carrega no botão com formato de uma lupa no menu. Os resultados são apresentados acima do menu, podendo escolher-se cada um para observar em maior detalhe.

A.1.6 Descrição do Sistema 3D Model Search Engine

O 3D Model Search Engine, criado por Funkhouser et al. [8], Min [18], é uma ferramenta que actua como repositório de objectos 3D e permite comparar formas através dos seus algoritmos. O seu objectivo é permitir reconhecer objectos tridimensionais.

Para realizar um esboço, o utilizador usa uma ou mais das três caixas existentes no painel esquerdo do sistema. Podem também ser adicionadas palavras para facilitar a pesquisa, o que não será utilizado nestes testes. Para que uma pesquisa devolva resultados não é necessário criar as três vistas. O sistema ignora as caixas sem esboço e apenas utiliza para procurar as que o utilizador tiver usado.

Após criar o seu esboço e carregar no botão *Search*, os resultados são apresentados no painel direito, com um formato de lista de miniaturas, podendo ser escolhido cada um para ser observado com maior detalhe.

A.2 Questionário Inicial

A.2.1 Questionário

Perfil de Utilizador

Este questionário tem uma duração aproximada de 3 minutos, e tem como objectivo conhecer o seu perfil.
Toda a informação dada será tratada de forma confidencial, sendo usada unicamente para fins académicos.
Agradecemos o seu tempo e disponibilidade para participar.

*Obrigatório

1. **1) Sexo:** *
   Marcar apenas uma oval.

   - Feminino
   - Masculino

2. **2) Qual a sua idade?** *
   (Escreva um número)

   .....

3. **3) Quais as suas habilitações literárias?** *
   Marcar apenas uma oval.

   - 9º ano ou inferior
   - Ensino Secundário
   - Ensino Superior
   - Outra: .....

4. **4) Qual a sua experiência com computadores?** *
   Marcar apenas uma oval.

   - Nunca usei
   - Uso para tarefas simples (navegar na internet, criar documentos, etc)
   - Uso para tudo no meu dia-a-dia (trabalho, lazer, tarefas complexas)

5. **5) Qual a sua experiência com dispositivos multi-toque?** *
   (Smartphones, tablets, etc)
   Marcar apenas uma oval.

   - Nunca usei
   - Uso para tarefas simples (navegar na internet, chamadas, jogos, etc)
   - Uso para tudo no meu dia-a-dia (gestão do dia, trabalho, lazer, tarefas complexas, etc)

6. **6) Possui alguma experiência na utilização de programas de modelação tridimensional?** *
(CAD, SketchUp, 3D Studio Max, Maya, Blender, etc.)
Marcar apenas uma oval.

- Nunca usei
- Experimentei ocasionalmente
- Uso regularmente (no trabalho, em lazer, etc)

7. **7) Possui alguma experiência na utilização de equipamentos de realidade virtual?** *
Marcar apenas uma oval.

- Nunca experimentei
- Experimentei ocasionalmente (numa demonstração, em casa de um amigo, etc)
- Uso regularmente (no trabalho, na escola, em casa, etc)

8. **7.1) Se respondeu ocasionalmente ou regularmente à pergunta anterior, que equipamentos já utilizou?**

.....

.....

.....

.....

.....

9. **8) Possui alguma experiência com jogos que usam gestos e/ou movimentos nas consolas?** *
Marcar apenas uma oval.

- Nunca experimentei
- Joguei ocasionalmente (na casa de um amigo, numa loja, etc)
- Jogo regularmente

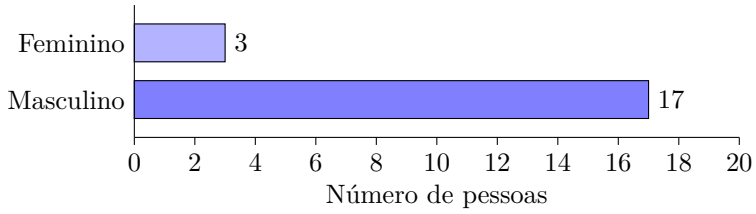
10. **8.1) Se respondeu ocasionalmente ou regularmente à pergunta anterior, quais dos seguintes equipamentos já usou?**
(Seleccione todos os que se apliquem)
Marcar tudo o que for aplicável.

- [ ] Kinect
- [ ] Playstation Move
- [ ] Wiimote
- [ ] Outra: .....

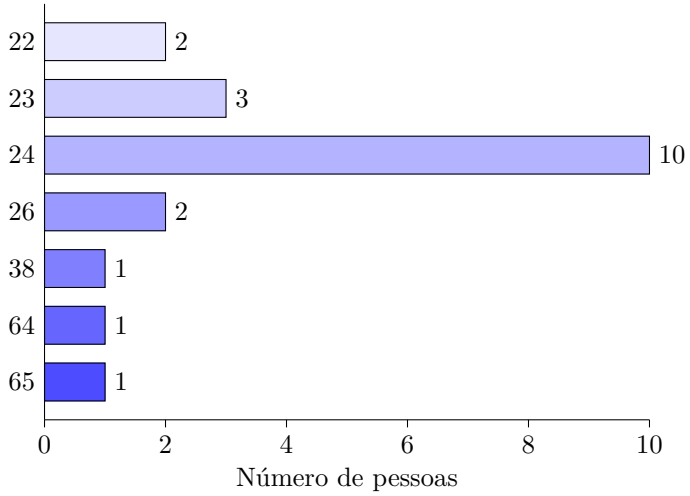
Com tecnologia
Google Forms

A.2.2 Resultados

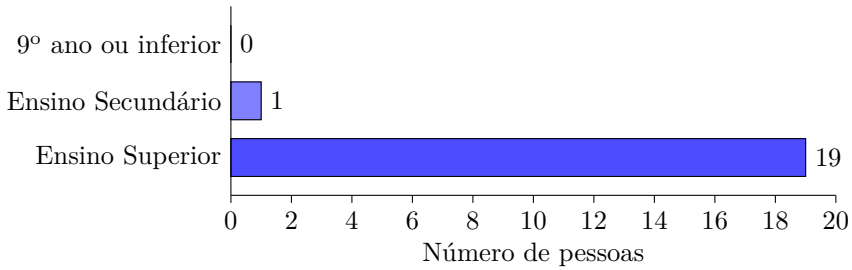
1) Sexo:



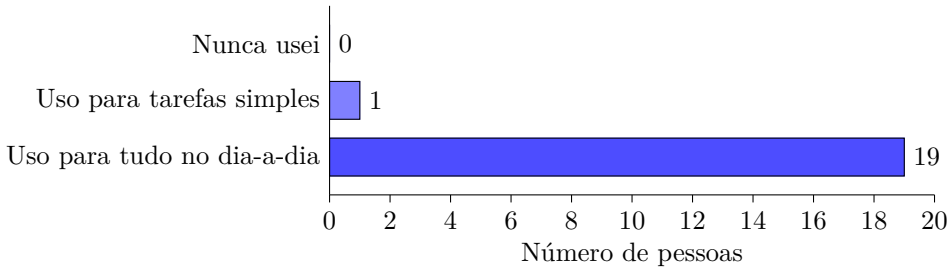
2) Qual a sua idade?



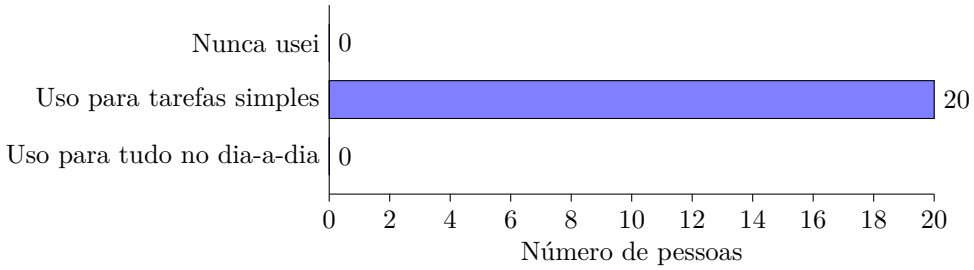
3) Quais as suas habilitações literárias?



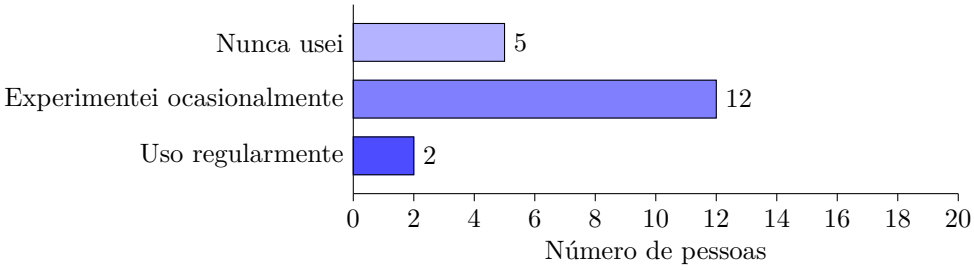
4) Qual a sua experiência com computadores?



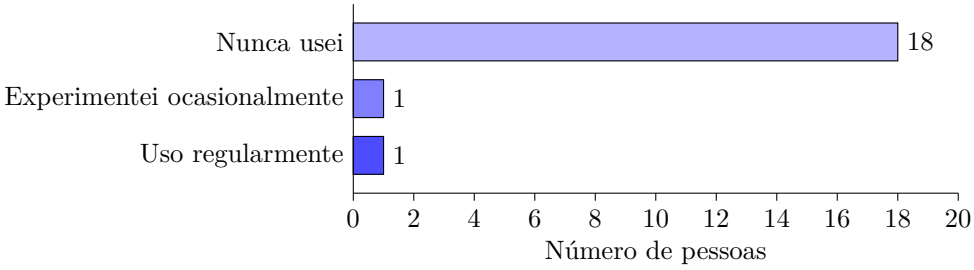
5) Qual a sua experiência com dispositivos multi-toque?



6) Possui alguma experiência na utilização de programas de modelação tridimensional?



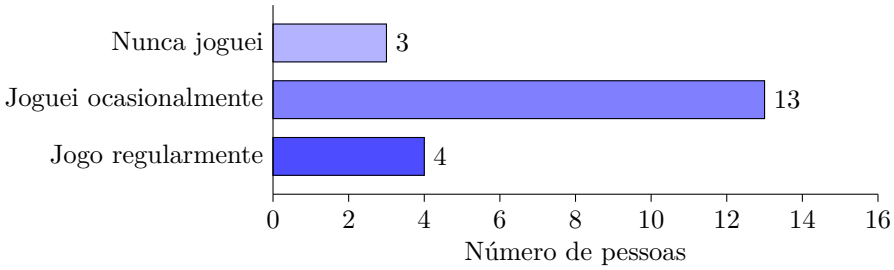
7) Possui alguma experiência na utilização de equipamentos de realidade virtual?



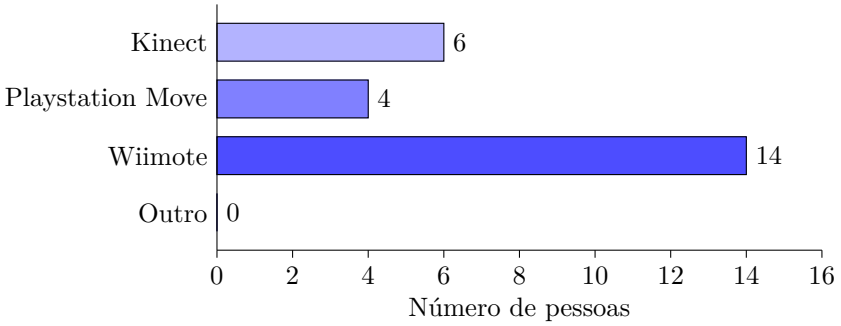
7.1) Se respondeu ocasionalmente ou regularmente à pergunta anterior, que equipamentos já utilizou?

Respostas: Oculus Rift.

8) Possui alguma experiência com jogos que usam gestos e/ou movimentos nas consolas?



8.1) Se respondeu ocasionalmente ou regularmente à pergunta anterior, quais dos seguintes equipamentos já usou?



A.3 Instruções das Tarefas

Tarefa: Procure um **Avião**.

Tarefa: Procure uma **Bicicleta**.

Tarefa: Procure uma **Caixa do Correio**.

Tarefa: Procure uma **Casa**.

Tarefa: Procure uma **Tartaruga**.

A.4 Questionário Final

A.4.1 Questionário do Sistema 3D Model Search Engine

Questionário Final

Este questionário tem uma duração aproximada de 4 minutos, e tem como objectivo registar a sua opinião sobre o teste que acabou de realizar.
Toda a informação dada será tratada de forma confidencial, sendo usada unicamente para fins académicos.
Agradecemos o seu tempo e disponibilidade para participar.

*Obrigatório

3D Model Search Engine

Este questionário tem por base a sua experiência de utilização do sistema 3D Model Search Engine.

1. **1) Que dificuldade sentiu ao aprender a interagir com o sistema?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Difícil	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Fácil

2. **2) Que dificuldade sentiu ao desenhar um objecto?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Difícil	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Fácil

3. **3) Quão divertido foi desenhar um objecto?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Nada Divertido	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Divertido

4. **4) Que dificuldade sentiu em encontrar na lista de resultados um resultado?** *
Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Difícil	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Fácil

5. **5) Que dificuldade sentiu em observar detalhadamente um resultado?** *
Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Difícil	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Fácil

6. **6) Quão cansado se sentiu relativamente ao esforço visual que fez?** *
Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Cansado	◯	◯	◯	◯	◯	Nada Cansado

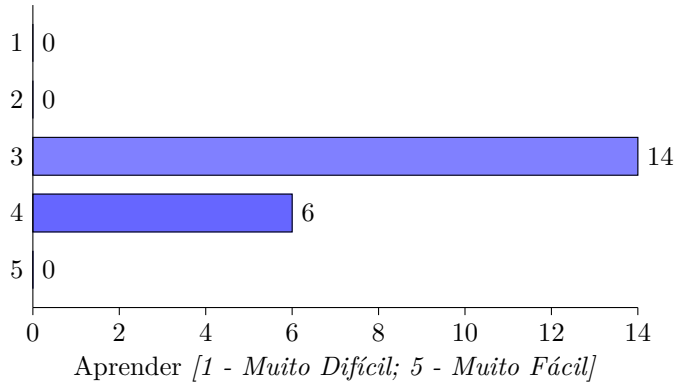
7. **7) Quão cansado se sentiu relativamente ao esforço físico que fez?** *
Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Cansado	◯	◯	◯	◯	◯	Nada Cansado

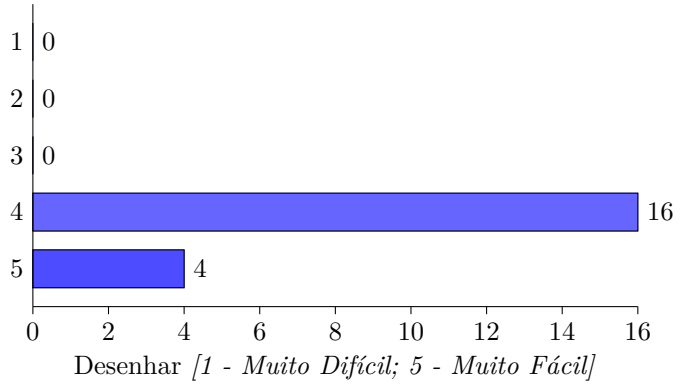
Com tecnologia
Google Forms

A.4.2 Resultados do Questionário do Sistema 3D Model Search Engine

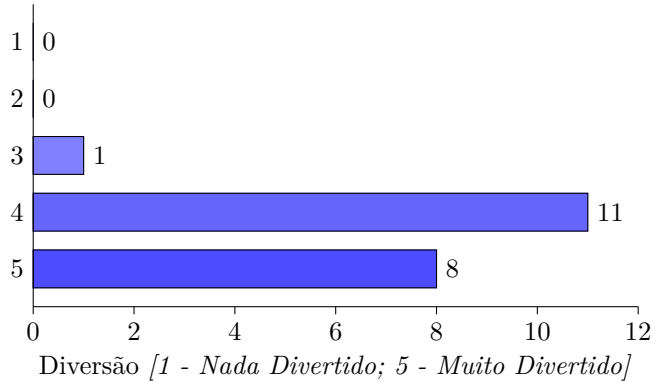
1) Que dificuldade sentiu ao aprender a interagir com o sistema?



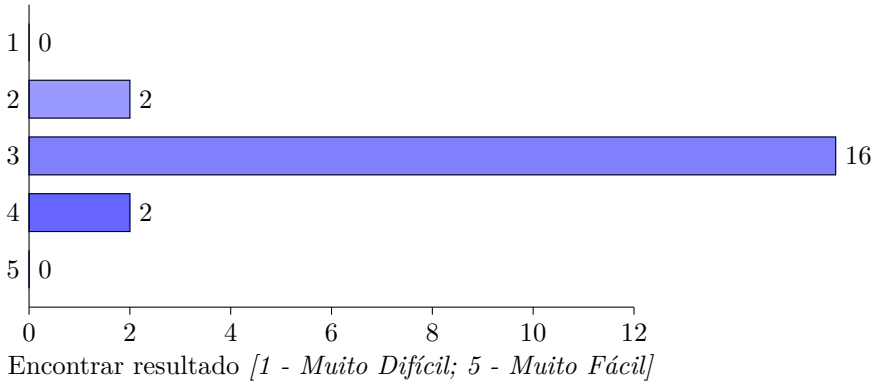
2) Que dificuldade sentiu ao desenhar um objecto?



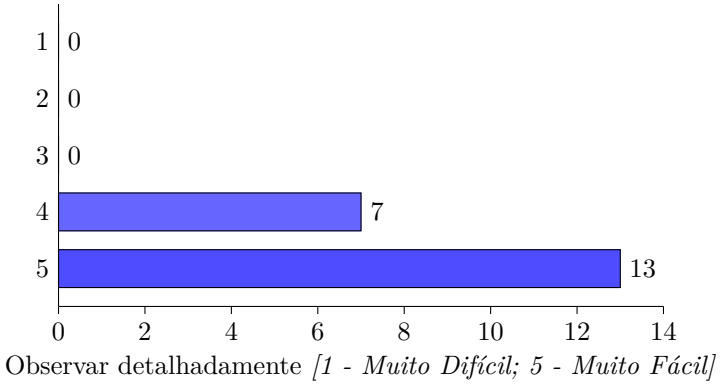
3) Quão divertido foi desenhar um objecto?



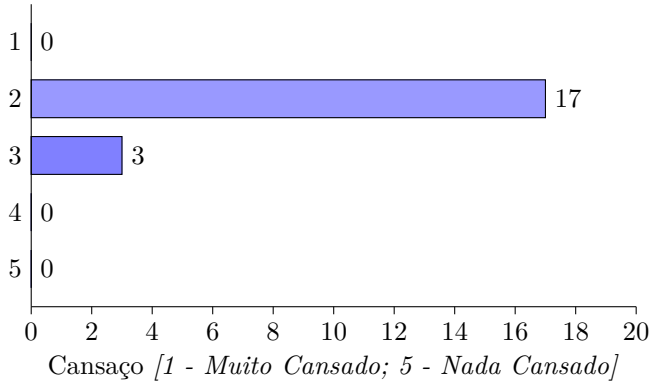
4) Que dificuldade sentiu em encontrar na lista de resultados um resultado?



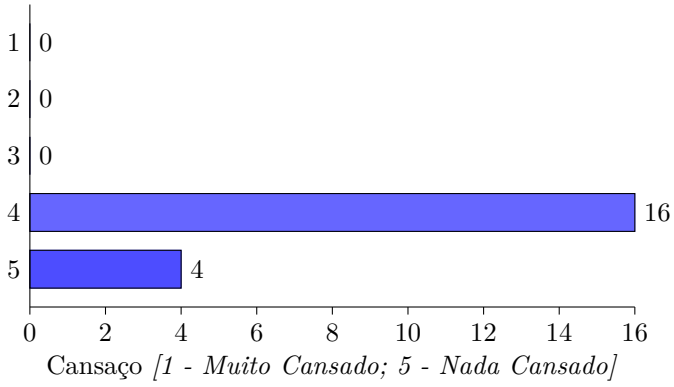
5) Que dificuldade sentiu em observar detalhadamente um resultado?



6) Quão cansado se sentiu relativamente ao esforço visual que fez?



7) Quão cansado se sentiu relativamente ao esforço físico que fez?



A.4.3 Questionário do Sistema ASfOR

Questionário Final

Este questionário tem uma duração aproximada de 8 minutos, e tem como objectivo registar a sua opinião sobre o teste que acabou de realizar.
Toda a informação dada será tratada de forma confidencial, sendo usada unicamente para fins académicos.
Agradecemos o seu tempo e disponibilidade para participar.

*Obrigatório

ASfOR

Este questionário tem por base a sua experiência de utilização do sistema de realidade virtual ASfOR.

1. **1) Que dificuldade sentiu ao aprender a interagir com o sistema?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Difícil	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Fácil

2. **2) Que dificuldade sentiu ao desenhar um objecto?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Difícil	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Fácil

3. **3) Quão divertido foi desenhar um objecto?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Nada Divertido	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Divertido

4. **4) Que dificuldade sentiu em encontrar na lista de resultados um resultado?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Difícil	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Fácil

5. **5) Que dificuldade sentiu em observar detalhadamente um resultado?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Difícil	◯	◯	◯	◯	◯	Muito Fácil

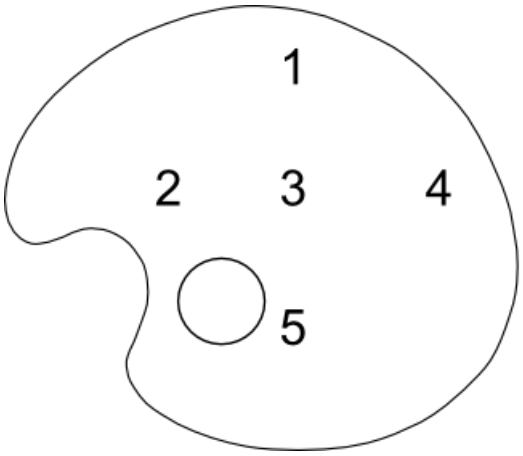
6. **6) Quão cansado se sentiu relativamente ao esforço visual que fez?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Cansado	◯	◯	◯	◯	◯	Nada Cansado

7. **7) Quão cansado se sentiu relativamente ao esforço físico que fez?** *
   Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Muito Cansado	◯	◯	◯	◯	◯	Nada Cansado

A seguinte imagem representa o esquema da distribuição dos auxiliares de desenho na paleta.



Legenda:
1- CALI (plano)
2- Best Fit Plane - Plano
3- Best Fit Plane - Tubos
4- Nenhuma alteração
5- Convex Hull (sólido)

8. **8) Atentando ao esquema anterior, e relembrando que a Suavização do Traço pode ser escolhida com o botão 2 do Wiimote, classifique os auxiliares de desenho de acordo com a dificuldade de utilização.** *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Muito Difícil - 1	2	3	4	5 - Muito Fácil
Suavização do Traço					
Best Fit Plane - Tubos					
Best Fit Plane - Plano					
CALI					
Convex Hull					

9. **9) Atentando ao esquema anterior, e relembrando que a Suavização do Traço pode ser escolhida com o botão 2 do Wiimote, classifique os auxiliares de desenho de acordo com o grau de utilidade.** *

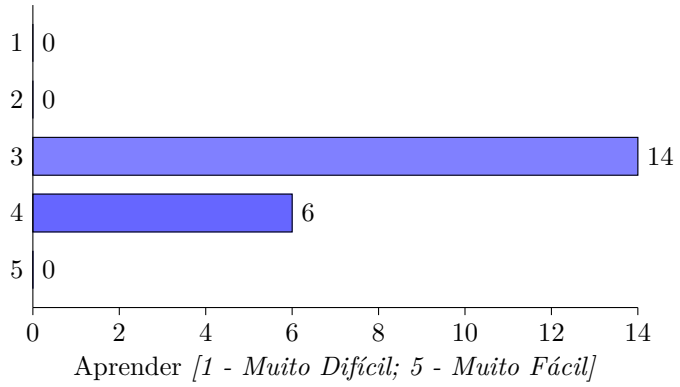
Marcar apenas uma oval por linha.

	Nada Útil - 1	2	3	4	5 - Muito Útil
Suavização do Traço					
Best Fit Plane - Tubos					
Best Fit Plane - Plano					
CALI					
Convex Hull					

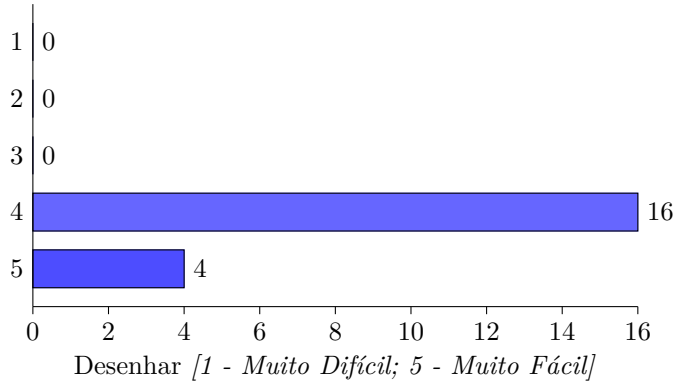
Com tecnologia
Google Forms

A.4.4 Resultados do Questionário do Sistema ASfOR

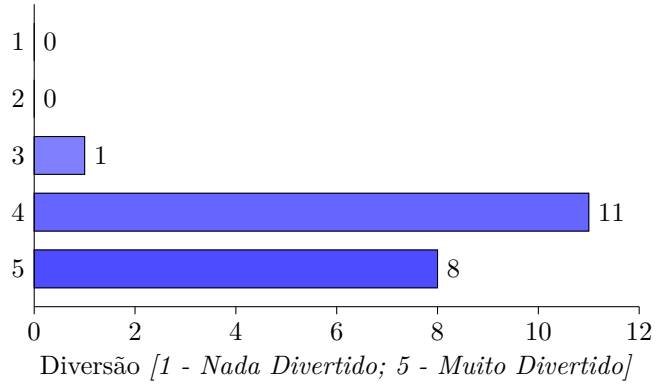
1) Que dificuldade sentiu ao aprender a interagir com o sistema?



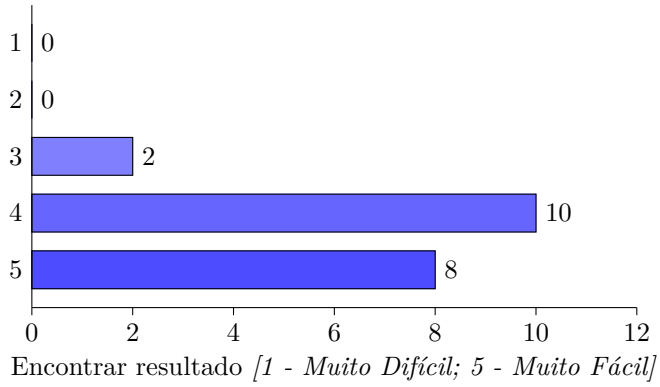
2) Que dificuldade sentiu ao desenhar um objecto?



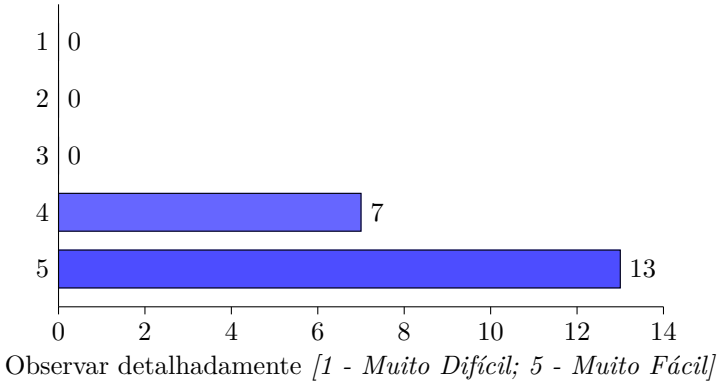
3) Quão divertido foi desenhar um objecto?



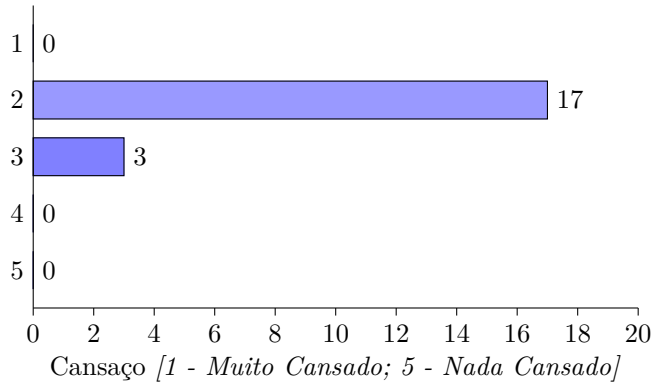
4) Que dificuldade sentiu em encontrar na lista de resultados um resultado?



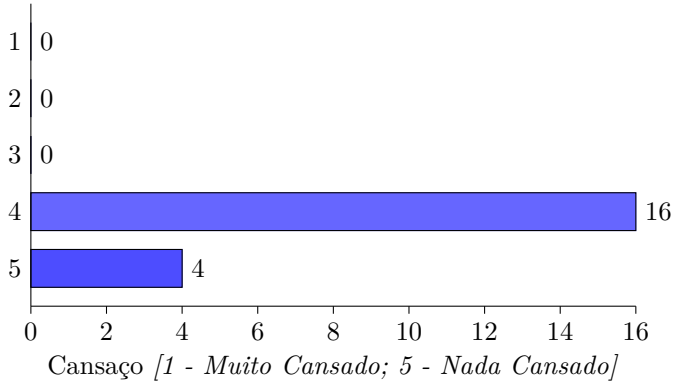
5) Que dificuldade sentiu em observar detalhadamente um resultado?



6) Quão cansado se sentiu relativamente ao esforço visual que fez?

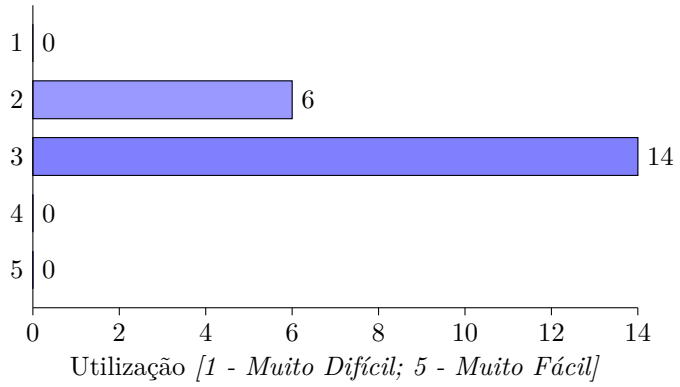


7) Quão cansado se sentiu relativamente ao esforço físico que fez?

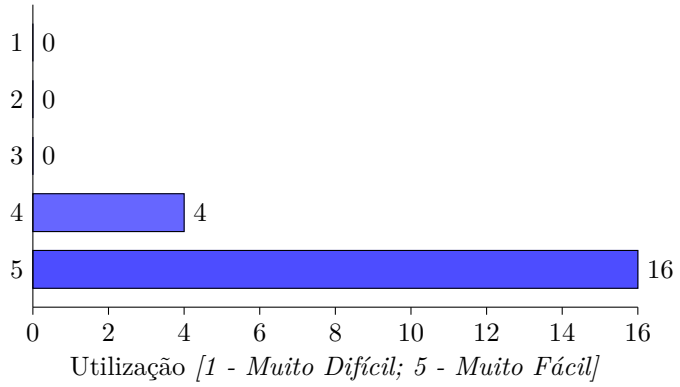


8) Atentando ao esquema anterior, e relembrando que a Suavização do Traço pode ser escolhida com o botão 2 do Wiimote, classifique os auxiliares de desenho de acordo com a dificuldade de utilização.

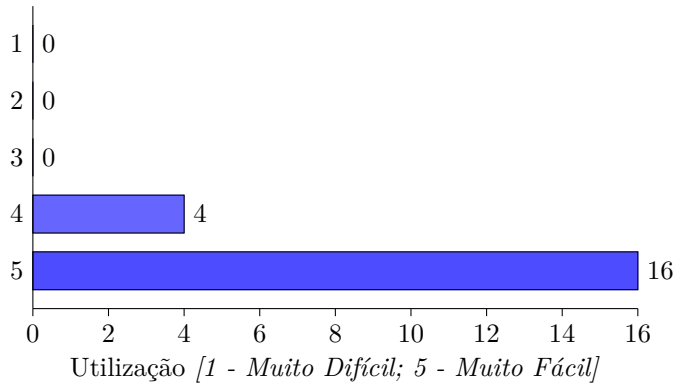
Suavização do Traço:



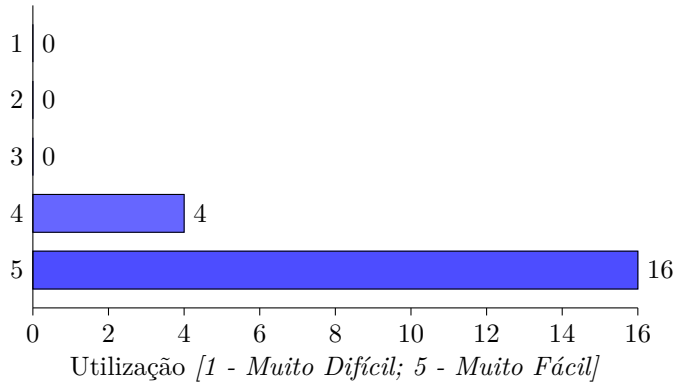
Best Fit Plane - Tubos:



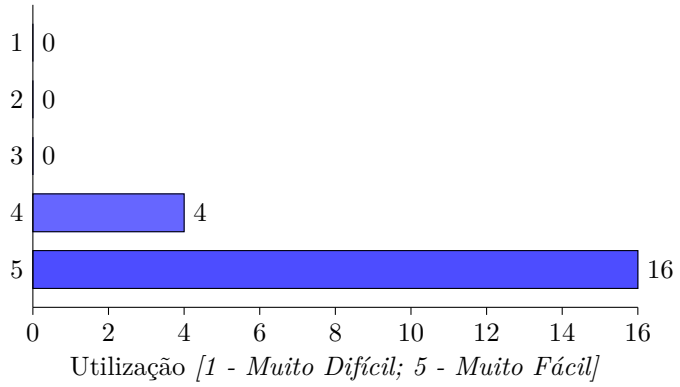
Best Fit Plane - Planos:



CALI:

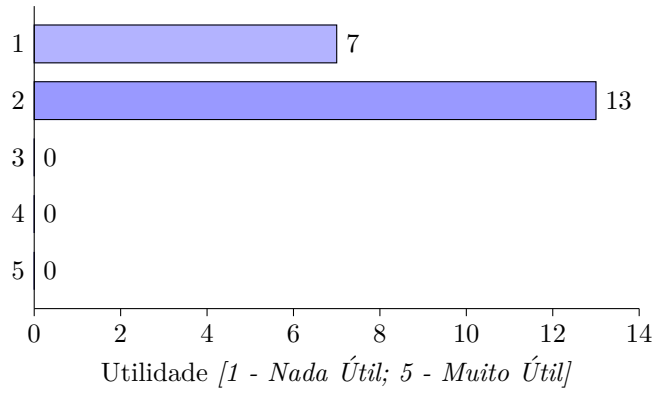


Convex Hull:

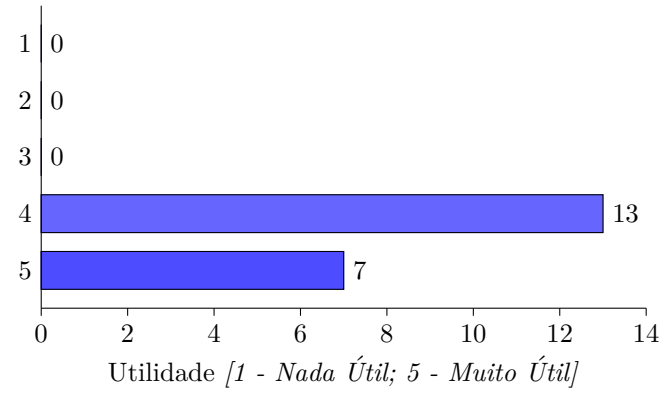


9) Atentando ao esquema anterior, e relembrando que a Suavização do Traço pode ser escolhida com o botão 2 do Wiimote, classifique os auxiliares de desenho de acordo com o grau de utilidade.

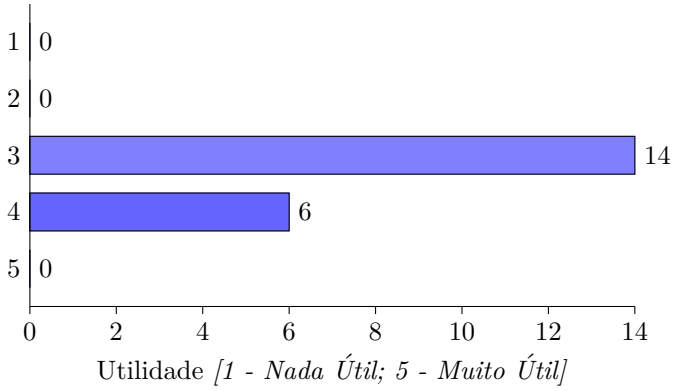
Suavização do Traço:



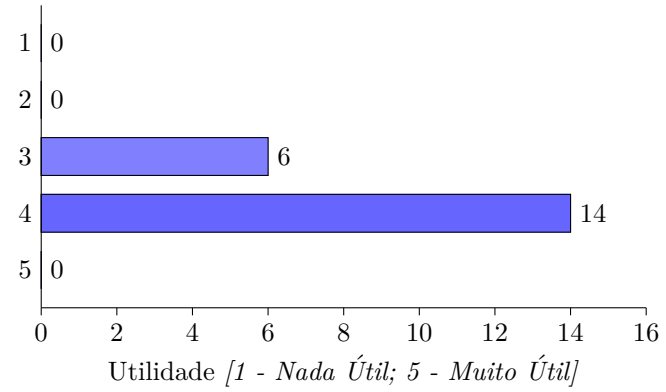
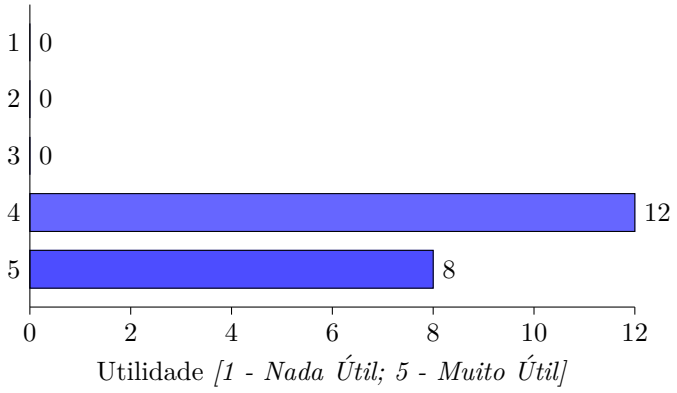
Best Fit Plane - Tubos:



Best Fit Plane - Planos:



CALI:



Convex Hull: