



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

LTouchIt

Modelação de LEGO em Superfícies Multi-toque

Daniel Filipe Martins Tavares Mendes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em:
Engenharia Informática e de Computadores

Júri

Presidente: Prof. Doutor Ernesto José Marques Morgado
Orientador: Prof. Doutor Alfredo Manuel dos Santos Ferreira Júnior
Vogais: Prof. Doutor Joaquim Armando Pires Jorge
Prof. Doutor Nuno Manuel Robalo Correia

Outubro de 2011

Agradecimentos

No decorrer desta dissertação, muitos foram os apoios, incentivos e colaboração, a que não posso deixar de manifestar o meu mais sincero agradecimento. Antes de mais, ao Instituto Superior Técnico, em particular ao grupo de VIMMI, pela oportunidade e meios que permitiram a realização deste trabalho, e ao Prof. Doutor Alfredo Ferreira pelo desafio proposto, bem como por toda a orientação e acompanhamento prestados.

Ao Pedro Lopes, pela disponibilidade e ajuda que dedicou nas etapas mais cruciais. Ao Luís Martins pela colaboração prontamente prestada, sempre com boa disposição. Ao David Lucas e ao João Oliveira pela partilha de ideias, frutíferas discussões e constante companheirismo. Ao Nuno Rodrigues e ao Ricardo Figueira pela amizade e necessários momentos de descontração.

Um agradecimento especial é devido à Susana Costa, por toda a dedicação e o apoio que me permitiram ultrapassar os momentos mais difíceis. Reconheço-lhe também a compreensão e abnegação que revelou ao longo desta etapa.

A todos aqueles que se disponibilizaram para participar nas diversas sessões de avaliação devo o meu apreço, bem como a todas as pessoas que colaboraram indirectamente através do interesse demonstrado.

Gostaria ainda de referir o suporte financeiro da Fundação para a Ciência e Tecnologia, através do projecto 3DORuS (PTDC/EIA-EIA/102930/2008).

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus pais por me proporcionarem todo o percurso de vida que me permitiu atingir este momento. Devo-lhes também o incondicional apoio, desde sempre oferecido, sem o qual esta meta não teria sido alcançada.

Resumo

As superfícies multi-toque têm-se vulgarizado. Desde dispositivos portáteis a mesas e ecrãs de grandes dimensões, existem soluções cada vez mais acessíveis. Nos últimos anos, tem existido considerável investigação nestes dispositivos com notáveis resultados. Contudo, para alguns desafios, como a manipulação de objectos tridimensionais, falta encontrar uma solução definitiva. Os trabalhos existentes foram concebidos para cenários cujo plano de visualização é perpendicular a um eixo da cena, não sendo facilmente aplicáveis a vistas livres.

Esta dissertação foca-se neste desafio. É proposto um conjunto de abordagens adequadas para este cenário, que podem ser usadas por pessoas sem experiência ou conhecimento em modelação 3D ou CAD. Apresenta-se também um conjunto de gestos para posicionamento e orientação da câmara, que funciona conjuntamente com as abordagens propostas. As técnicas para manipulação de objectos foram avaliadas por utilizadores, tendo sido comparadas entre elas e com soluções existentes. Identificou-se como os utilizadores preferem manipular objectos tridimensionais em superfícies multi-toque, em cenas sem uma vista estática, demonstrando-se que as soluções até agora existentes não se adequam a estes ambientes.

Como cenário de estudo, desenvolveu-se o LtouchIt, uma ferramenta de modelação LEGO virtual, tirando partido da popularidade da construção LEGO. Esta aplicação permite aos utilizadores criarem modelos tridimensionais através de uma entrada multi-toque bimanual. Foi implementada segundo uma adaptação de interacções com blocos de construção e gestos para superfícies multi-toque. Comparou-se o LTouchIt com outras aplicações LEGO. Os resultados sugerem que consegue providenciar uma interacção simples, mesmo para utilizadores inexperientes com aplicações 3D ou superfícies multi-toque.

Abstract

Multi-touch surfaces are becoming common. From portable devices to large surfaces, several low cost solutions are available. In recent years, considerable research has been carried out regarding interaction on such devices with remarkable results. However, for some challenges, such as three-dimensional object manipulation, definitive solutions are yet to be found. Current approaches were developed to scenarios with confined viewpoints, and cannot be easily applied to scenes with unconstrained views.

This document focuses on this challenge. It is proposed a set of approaches that suit this scenario and can be used by people with no experience or knowledge on 3D modeling or CAD. It is also presented a set of gestures for camera positioning and orientation that works together with the proposed approaches. The techniques for object manipulation were subject to user evaluation, being compared among each other and with existing solutions. It was identified how users prefer to manipulate 3D objects on multi-touch surfaces in scenes without a static viewpoint, being shown that current research approaches do not suit this kind of scenario adequately.

As a test bed, a virtual LEGO modeling tool was developed - LTouchIt, taking advantage of LEGO popularity. This application allows users to create 3D models and accounts for bimanual multi-touch input. It was implemented accordingly to an adaptation of building blocks interactions and gestures for multi-touch tabletops. LTouchIt was compared with other LEGO applications. Results suggest that it provides an easy-to-use interaction, even for users with no expertise in 3D applications or multi-touch surfaces.

Palavras-Chave/Keywords

Palavras-Chave

Interacção Multi-toque

Manipulação de Objectos Tridimensionais

Interface Utilizador Natural

Concepção Centrada no Utilizador

Blocos de Construção LEGO

Keywords

Multi-touch Interaction

Tridimensional Object Manipulation

Natural User Interface

User-Centered Design

LEGO Construction Blocks

Conteúdo

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Palavras-Chave/Keywords	ix
1 Introdução	1
1.1 Problema	1
1.2 Abordagem	2
1.3 Contribuições	3
1.4 Publicações	5
1.5 Organização do Documento	6
2 Contexto	7
2.1 Interfaces Post-WIMP	7
2.2 Superfícies Multi-toque	8
2.2.1 Multi-toque Face ao Rato	9
2.2.2 Interfaces Baseadas em Gestos	10
2.3 Aplicações Multi-toque	11
2.4 Sumário	13
3 Trabalho Relacionado	15

3.1	Manipulação de Objectos Utilizando Multi-toque	15
3.1.1	Manipulação de Objectos 2D	15
3.1.2	Manipulação de Objectos 3D	17
3.1.3	Interacção Baseada em Simulações Físicas	22
3.1.4	Discussão sobre Técnicas de Manipulação de Objectos 3D	23
3.2	Manipulação da Câmara em Superfícies Multi-toque	26
3.2.1	Discussão sobre Técnicas de Manipulação da Câmara	27
3.3	Sistemas de Modelação de LEGO	28
3.3.1	LEGO Digital Designer	28
3.3.2	MLCad	29
3.3.3	LeoCAD	30
3.3.4	SR 3D Builder	32
3.3.5	LSketchIt	33
3.3.6	Blocks!!	34
3.3.7	Discussão sobre Modeladores LEGO	35
3.4	Sumário e Discussão Crítica	37
4	Aplicação LEGO Multi-toque	39
4.1	Estudo de Ferramentas Actuais	39
4.1.1	Avaliação com Utilizadores	39
4.1.2	Análise dos Resultados	40
4.1.3	Conclusões do Estudo	41
4.2	LTouchIt	42
4.3	Arquitectura Utilizada	43
4.4	Conjunto de Peças Suportado	44
4.5	Processamento de Toques	45
4.6	Interface Utilizador	45
4.7	Modo Fotográfico	47
4.8	Sumário	47

5 Manipulação de Objectos e Câmara	49
5.1 Metodologia	49
5.2 Translação de Objectos 3D	50
5.2.1 Técnica <i>Orthogonal</i>	51
5.2.2 Técnica <i>Horizontal-Z</i>	51
5.2.3 Técnica <i>Plane-Switch</i>	52
5.2.4 Solução Adoptada - Técnica <i>Grab'N Translate</i>	53
5.3 Rotação de Objectos 3D	54
5.3.1 Técnica <i>Camera-Defined-Axis</i>	54
5.3.2 Técnica <i>User-Defined-Axis</i>	54
5.3.3 Técnica <i>Rotation-Handles</i>	55
5.3.4 Solução Adoptada - Técnica <i>Rotation-Handles Revista</i>	56
5.4 Acções Específicas	57
5.4.1 Clonar	57
5.4.2 Colorir	57
5.4.3 Ocultar	58
5.5 Manipulação da Câmara	59
5.5.1 Abordagem Inicial	59
5.5.2 Observações Recolhidas	61
5.5.3 Solução Adoptada	62
5.6 Sumário	64
6 Avaliação	65
6.1 Avaliação de Técnicas para Manipular Objectos	66
6.1.1 Técnicas Avaliadas	66
6.1.2 Metodologia	66
6.1.3 Aparato e Participantes	67
6.1.4 Análise dos Resultados	68
6.2 Validação da Solução Adoptada	71

6.2.1	Aplicações Testadas	71
6.2.2	Metodologia	72
6.2.3	Aparato e Participantes	73
6.2.4	Análise dos Resultados	74
6.3	Sumário	77
7	Conclusões	79
7.1	Trabalho Futuro	81
Bibliografia		83
Anexos		87
A	Tecnologias Multi-toque	89
B	Representação das peças LDraw em OpenSG	91
B.1	Especificação LDraw	91
B.2	Representação em OpenSG	92
C	Testes Técnicas Manipulação	95
C.1	Questionário	95
C.2	Resultados	96
D	Testes Validação Solução	97
D.1	Instruções da “Casinha do Guarda”	97
D.2	Questionários	98
D.3	Resultados	100

Lista de Tabelas

3.1	Comparação de várias técnicas para manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque.	24
3.2	Comparação de vários modeladores LEGO.	35
4.3	Aplicações LEGO testadas - principais vantagens e desvantagens.	41
5.4	Técnicas desenvolvidas para a manipulação de objectos, com referência das quais derivam.	50
6.5	Técnicas de manipulação de objectos implementadas e utilizadas na avaliação por utilizadores.	66
6.6	Resultados do questionário para cada aplicação.	75

Lista de Figuras

2.1 Jefferson Han a interagir com um ecrã multi-toque.	9
2.2 RoomPlanner a ser utilizado por duas pessoas.	12
3.3 Técnica Rotate'N Translate.	16
3.4 Técnica Rotate-Scale-translate.	17
3.5 Interacção Shallow-depth.	18
3.6 Técnicas Sticky Fingers e Opposable Thumb.	19
3.7 Z-technique e várias vistas ortogonais.	20
3.8 Formulação Screen-Space.	21
3.9 <i>Proxies</i> utilizados em simulações físicas.	22
3.10 Planos de interacção.	26
3.11 Técnicas para manipulação da câmara em superfícies tátteis - Navidget e ScrutiCam.	27
3.12 Ecrã da aplicação LEGO Digital Designer.	29
3.13 Ecrã da aplicação MLCad.	30
3.14 Ecrã da aplicação LeoCAD.	31
3.15 Ecrã da aplicação SR 3D Builder.	32
3.16 Ecrã da aplicação LSketchIt.	33
3.17 Ecrã da aplicação Blocks!!.	34
4.18 Modelo LEGO a ser construído pelos utilizadores na comparação de aplicações.	40
4.19 LTouchIt a ser executado numa mesa multi-toque de grandes dimensões.	42
4.20 LTouchIt - arquitectura utilizada.	43
4.21 LTouchIt - interface utilizador.	46

4.22 LTouchIt - barras de ferramentas expandidas.	47
4.23 LTouchIt - modo fotográfico activo.	48
5.24 Técnica Orthogonal para a translação de objectos.	51
5.25 Técnica Horizontal-Z para a translação de objectos.	52
5.26 Técnica Plane-Switch para a translação de objectos.	52
5.27 Solução adoptada para a translação de objectos - Técnica Grab'N Translate.	53
5.28 Técnica Camera-Defined-Axis para a rotação de objectos.	55
5.29 Técnica User-Defined-Axis para a rotação de objectos.	55
5.30 Técnica Rotation-Handles para a rotação de objectos.	56
5.31 Solução adoptada para a rotação de objectos.	56
5.32 Solução proposta para duplicar, ou clonar, um objecto.	58
5.33 Solução proposta para colorir peças.	58
5.34 Proposta inicial para orbitar a câmara.	60
5.35 Proposta inicial para aproximar/afastar e mover a câmara.	60
5.36 Solução adoptada para orbitar a câmara.	62
5.37 Solução adoptada para aproximar/afastar e mover a câmara.	63
5.38 Solução proposta para centrar o modelo num ponto específico.	63
6.39 Tarefas para avaliar as técnicas de manipulação de objectos.	67
6.40 Participante da sessão de avaliação de técnicas para a manipulação de objectos, a executar uma tarefa de translação.	68
6.41 Gráficos relativos à avaliação das técnicas de translação.	69
6.42 Gráficos relativos à avaliação das técnicas de rotação.	70
6.43 Modelo LEGO a ser construído pelos utilizadores na validação da solução proposta (a) e apresentação das instruções do modelo a um utilizador (b).	73
6.44 Participante da sessão de validação da solução proposta, a colorir peças do modelo.	74
6.45 Gráfico relativo ao tempo médio para completar a tarefa, por aplicação.	75
B.46 Estrutura de peça de LEGO simplificada para um <i>brick 2x2</i>	92
B.47 Estrutura da <i>cache</i> para o mesmo <i>brick 2x2</i>	93

Capítulo 1

Introdução

As superfícies interactivas sensíveis ao toque têm sido alvo de uma crescente generalização. Este tipo de superfícies não é novo, tendo surgido na década de 1970. Contudo, só após desenvolvimentos recentes se começou a assistir a um aumento do interesse e apostar neste tipo de tecnologias. Existem hoje superfícies multi-toque, capazes de detectar múltiplos pontos de contacto, com um custo de construção cada vez mais acessível. De facto, desde pequenos dispositivos, como *smartphones*, a grandes superfícies, como *tabletops* ou quadros interactivos, são diversas as soluções disponíveis.

O aparecimento destes novos dispositivos dá origem, naturalmente, a novos paradigmas de interacção. Estes terão necessariamente de ser diferentes dos até agora existentes, que se baseiam em periféricos como o rato e o teclado para a introdução de *input* por parte do utilizador. As superfícies multi-toque apresentam um conjunto de potencialidades a explorar, como sendo a manipulação directa do conteúdo visível e, com excepção dos pequenos dispositivos móveis, a possibilidade de uma utilização bimanual. Apesar da interacção através do toque ter sido alvo de diversos estudos, existem ainda várias questões em aberto, nomeadamente no que se refere à manipulação de objectos tridimensionais.

1.1 Problema

As interacções com objectos em cenários virtuais recorrendo a superfícies tácteis têm evoluído nos últimos anos. Alguns paradigmas nesta área já atingiram um nível de maturidade elevado. Exemplo disso é a interacção com objectos bidimensionais, para a qual já foi definido um standard *de facto* [HCV⁺06]. Por outro lado, diferentes abordagens para a manipulação de objectos e

navegação em cenas tridimensionais foram propostas, mas nenhuma foi ainda considerada uma solução definitiva.

A maioria das soluções existentes para o desafio da manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque foca-se em cenários onde o utilizador não possui a liberdade para orientar a câmara em diferentes ângulos [HtCC09, MCG10a, WIH⁺08]. Nestas, a visualização da cena é efectuada segundo um plano perpendicular a um dos eixos. Para a manipulação dos objectos, oferecem as típicas abordagens bidimensionais, aplicadas a este plano, acrescendo a manipulação da profundidade do objecto e mais dois eixos de rotação. Devido às características referidas, estas soluções não são facilmente aplicáveis em cenários nos quais o utilizador possa manipular a câmara como pretender.

Desta forma, ainda não foi encontrada uma abordagem para a interacção com objectos tridimensionais neste tipo de ambientes que tenha provado ser natural e passível de ser utilizada por utilizadores sem experiência ou conhecimento sobre programas de manipulação tridimensional ou CAD (*computer-aided design* - desenho assistido por computador). Pretende-se, com o trabalho proposto neste mestrado, **identificar a melhor forma de manipular objectos tridimensionais numa superfície multi-toque de grandes dimensões**, tanto no que se refere à sua movimentação como à especificação da sua orientação.

1.2 Abordagem

Para abordar o problema identificado, relativo à manipulação de objectos virtuais em ambientes tridimensionais utilizando pontos de vista sem restrições, foi necessário definir um contexto específico. Considerou-se a implementação de um cenário simples de blocos de construção numa mesa multi-toque, tornando-se imperativo desenvolver todo um método de interacção que permita manipular as peças e o ponto de vista, de forma a ser possível construir o modelo desejado.

Pretendeu-se, com a utilização deste cenário, tirar partido da popularidade dos blocos de construção, entre pessoas das mais diversas idades, sendo os mais famosos blocos deste tipo da marca LEGO. Hoje em dia existem diversas aplicações que permitem fazer construções em LEGO de forma virtual, sem a necessidade de adquirir os ditos blocos. Cada uma segue, de alguma forma, uma abordagem diferente no que toca à apresentação das peças disponíveis, à manipulação das peças e ao controlo da visualização. No entanto, nenhuma foi desenhada tendo em vista uma interacção recorrendo a superfícies multi-toque de médias/grandes dimensões.

Para melhor se compreender como abordar a manipulação de objectos nestas superfícies, utilizando blocos de construção como objectos de estudo, seguiram-se várias etapas. Começou-se

por analisar o estado da arte no que diz respeito à interacção com superfícies multi-toque, com foco na manipulação de objectos tridimensionais, tanto para os mover como para os rodar, assim como o controlo da câmara em cenários que contêm este tipo de objectos. Estudaram-se também os referidos modeladores LEGO, procurando identificar os principais aspectos a considerar no desenvolvimento de uma solução que vise a construção desse tipo de modelos.

Para permitir o estudo de abordagens para a manipulação de objectos, desenvolveu-se um protótipo para a construção de modelos LEGO numa mesa multi-toque, com dimensões de visualização e interacção de 1.58x0.87m (maior que A0), no qual o utilizador possui a liberdade de mover, aproximar e rodar a câmara livremente. Neste protótipo foram implementadas diferentes abordagens para manipulação das peças, tanto para a movimentação como para a rotação, de modo a poder identificar qual a mais adequada para o cenário em questão.

Foram levados a cabo vários testes com utilizadores, com o objectivo de os envolver desde o início no desenvolvimento deste trabalho. Procurou-se alcançar uma solução que fosse de encontro às suas expectativas e ao que consideram ser mais natural. Existiram três momentos em que a sua participação se mostrou indispensável. No primeiro destes momentos, foram estudadas as aplicações de construção de LEGO existentes. Numa fase posterior, foram comparadas diferentes técnicas de manipulação de objectos tridimensionais numa mesa multi-toque. Por fim, a aplicação foi sujeita a uma avaliação por utilizadores com o objectivo de comprovar a interface desenvolvida.

1.3 Contribuições

O principal objectivo do trabalho descrito neste documento visa identificar as abordagens mais simples e naturais para manipular objectos tridimensionais em superfícies multi-toque, oferecendo, ao mesmo tempo, a possibilidade ao utilizador de controlar a câmara livremente. Foram estudadas várias abordagens para manipulação de objectos, as quais foram sujeitas a avaliações com utilizadores. Para que este estudo fosse possível, foi desenvolvida uma ferramenta para construção de modelos LEGO em superfícies multi-toque. Assim, as principais contribuições resultantes deste trabalho são:

- **Definição de conjunto de técnicas para manipulação de objectos**

As soluções até agora existentes para manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque focam-se em cenários nos quais o utilizador não possui a liberdade para controlar a câmara e posicioná-la com o ângulo que mais convier. Neste trabalho, são propostas diversas técnicas para a manipulação de objectos, tanto para a sua translação

como rotação, em cenários que permitem um controlo da câmara sem restrições. Estas abordagens foram testadas com utilizadores e daí resultou um conjunto final que vai de encontro às suas expectativas.

- **Proposta de solução para o controlo da câmara**

Para estudar a manipulação de objectos no cenário apresentado, o utilizador tem de poder efectuar operações sobre a posição da câmara na cena tridimensional. Neste contexto, é apresentada uma solução para um controlo natural da câmara, recorrendo a gestos. Esta solução permite diversas acções sobre a câmara, como orbitar, aproximar e afastar (*zoom*), deslocar (*pan*) e centrar num dado ponto.

- **Desenvolvimento de aplicação para construção de modelos LEGO**

A ferramenta desenvolvida para o estudo das técnicas de manipulação de objectos tridimensionais e da câmara em superfícies multi-toque, foi levada além do conceito de protótipo experimental. A solução alcançada é uma aplicação funcional que permite a livre construção de modelos LEGO, tendo sido desenvolvida com cuidado tanto na sua funcionalidade e estabilidade, como no aspecto visual de toda a sua interface. O utilizador, para além de poder manipular peças e câmara, tem à disposição um vasto conjunto de diferentes peças, que pode utilizar sem restrições, assim como diversas funcionalidades existentes nas actuais aplicações deste tipo, como pintar e ocultar peças ou salvar e carregar modelos construídos.

Sendo estas as principais contribuições desta dissertação, foram ainda desenvolvidos outros aspectos que poderão ser de utilidade para outros trabalhos. Assim, as contribuições para a comunidade resultantes da elaboração deste trabalho são:

- **Biblioteca para conversão de peças em formato LDraw para OpenSG**

No desenvolvimento da ferramenta para a construção de modelos LEGO, foi imperativo desenhar os objectos em causa. Tendo-se recorrido à biblioteca de peças com o formato aberto LDraw¹, que se encontra disponibilizada para a comunidade e cuja representação é meramente descritiva, efectuou-se a conversão para uma representação em OpenSG. Desta forma é possível processar graficamente e apresentar as peças e o modelo construído ao utilizador. A biblioteca permite efectuar diversas operações sobre as peças, como mover, rodar e modificar a cor. Possui ainda funções para carregar e gravar ficheiros de modelos compatíveis com o formato LDraw.

¹LDraw, <http://www.ldraw.org/>, visitado em 8 de Agosto de 2011.

- **Estudo comparativo de aplicações LEGO actuais**

No início deste trabalho, foram identificadas as principais vantagens e desvantagens dos programas mais utilizados para a construção de modelos LEGO que recorrem ao corrente paradigma de interacção baseado em rato. Foram estudadas as abordagens utilizadas por cada aplicação para mover, rodar e colocar as peças num ambiente tridimensional, controlar a câmara e listar as peças disponíveis. Este estudo foi feito com uma avaliação por utilizadores e pode-se mostrar relevante para quem pretenda desenvolver soluções para este cenário, ou até de modelação tridimensional de uma forma geral.

- **Aplicação para conversão de toques nativos do Windows 7 para TUIO**

O protocolo TUIO¹ tem sido muito utilizado no desenvolvimento de protótipos que utilizam dispositivos multi-toque baseados em tecnologias ópticas. Recentemente a Microsoft lançou o seu próprio suporte nativo para interfaces baseadas em toque, o qual tem sido a aposta das soluções comerciais que vão surgindo. Isto impossibilita a utilização destes novos dispositivos com aplicações que utilizam o protocolo TUIO, como seja o protótipo apresentado nesta dissertação. Para ultrapassar este obstáculo, foi criada uma aplicação capaz de ser executada por cima das restantes, em ambiente Windows 7, e que converte as mensagens de toques deste sistema operativo em pacotes TUIO. Quando da necessidade desta ferramenta, já existiam outras aplicações com o mesmo propósito, mas que não se mostraram capazes de o fazer eficazmente.

1.4 Publicações

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação deu origem a várias publicações avaliadas por painéis de peritos e aceites em conferências científicas. Estas publicações estão listadas de seguida, ordenadas cronologicamente, da mais recente para a mais antiga.

1. **Daniel Mendes**, Pedro Lopes e Alfredo Ferreira, *Hands-on Interactive Tabletop LEGO Application*, ACE 2011 - 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, Novembro 2011.
2. **Daniel Mendes** e Alfredo Ferreira, *Evaluation of 3D Object Manipulation on Multi-touch Surfaces Using Unconstrained Viewing Angles*, INTERACT 2011 - 13th IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction, Setembro 2011.

¹TUIO, <http://www.tuio.org/>, visitado em 8 de Agosto de 2011.

3. Pedro Lopes, **Daniel Mendes**, Bruno Araújo e Joaquim A. Jorge, *Combining bimanual manipulation and pen-based input for 3D modelling*, SBIM 2011 - International Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling, Agosto 2011.
4. **Daniel Mendes** e Alfredo Ferreira, *Virtual LEGO Modelling on Multi-Touch Surfaces*, WSCG 2011 - 19th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, Fevereiro 2011.
5. **Daniel Mendes** e Alfredo Ferreira, *Estudo Comparativo de Aplicações para a Construção de Modelos LEGO*, Interacção 2010 - 4ª Conferência Nacional em Interacção Humano-Computador, Outubro 2010.

1.5 Organização do Documento

Os restantes conteúdos da dissertação estão organizados da forma que a seguir se apresenta. O Capítulo 2 começa por contextualizar o problema no que toca às novas interfaces emergentes, tecnologias de multi-toque e algumas aplicações actuais do multi-toque. No Capítulo 3 são ainda discutidos trabalhos relacionados, tanto no que se refere à manipulação de objectos em cenas tridimensionais, como no que diz respeito a programas de construção de modelos LEGO virtuais.

No Capítulo 4 é apresentado o protótipo desenvolvido, partindo do estudo comparativo das diferentes aplicações LEGO existentes e respectivas conclusões, até à tecnologia e arquitectura escolhidas. O Capítulo 5 detalha a solução proposta para a manipulação dos objectos tridimensionais e da câmara.

O Capítulo 6 apresenta as avaliações com utilizadores efectuadas para a identificação das melhores abordagens de manipulação e no contexto da validação da solução desenvolvida. Finalmente, o Capítulo 7 conclui o trabalho e discute possíveis caminhos para trabalho futuro.

Capítulo 2

Contexto

Para uma total compreensão do trabalho apresentado neste documento é importante conhecer o contexto em que este se enquadra. Começar-se-à por abordar as novas interfaces emergentes, denominadas de Post-WIMP [VD97], para as quais as superfícies tácteis, nomeadamente as multi-toque, se revelaram uma boa plataforma. No que diz respeito a estes novos dispositivos, serão apresentadas algumas das suas vantagens face a métodos de entrada tradicionais, assim como qual o principal paradigma de interacção subjacente e algumas das suas aplicações actuais.

2.1 Interfaces Post-WIMP

Acompanhando a natural evolução da tecnologia, os paradigmas de interacção vão igualmente sofrendo modificações. Segundo van Dam [VD97], ao contrário da previsível evolução dos componentes informáticos descrita pela lei de Moore, as interfaces padecem de longos períodos de estabilidade seguidos por uma transição brusca. Após os cartões perfurados e as linhas de comandos, encontra-mo-nos actualmente nas interfaces baseadas em janelas, ícones, menus e dispositivos apontadores, como o rato, as ditas interfaces WIMP (*Windows, Icons, Menus and Pointing devices*).

Este tipo de interfaces provou ser de simples utilização, mesmo para utilizadores inexperientes. No entanto, para além dos utilizadores acabarem por gastar mais tempo a utilizar a interface do que a tirar partido das funcionalidades das aplicações [VD97], estas interfaces não conseguem proporcionar uma interacção natural para um ser humano, como as que este está habituado a utilizar no seu quotidiano, como gestos e fala.

As interfaces WIMP tornaram-se populares há mais de vinte e cinco anos e a tecnologia capaz de providenciar uma interacção mais natural e poderosa tem-se tornado mais acessível. Surge agora a necessidade de desenvolver a próxima geração de interfaces, as que van Dam denomina de Post-WIMP. Visa-se, com esta nova geração de interfaces, alcançar uma interacção pessoa-máquina que se aproxime cada vez mais da interacção humana.

Com a crescente ubiquidade de dispositivos móveis que se tem vindo a observar, originou-se uma migração dos sistemas computacionais dos laboratórios e escritórios para o exterior. Estes novos cenários de utilização têm de ser considerados na criação das novas interfaces, integrando os dispositivos no ambiente e adquirindo dados deste. Jacob et al. [JGH⁺07] classificaram estas interacções como interacções no mundo real.

Estes autores introduzem outro conceito relacionado, as interacções como no mundo real. Afirmando que será melhor para os utilizadores explorar conhecimento básico adquirido durante a infância, do que outro menos natural. As novas técnicas de interacção deverão permitir aos utilizadores efectuarem tarefas realistas de forma realista e utilizar analogias para funções não contempladas no mundo real.

Para auxiliar no processo de tornar as interfaces dotadas de uma interacção mais natural, Schewsig [Sch08] sugere que o dispositivo de entrada e a interface gráfica poderão ser utilizados pelo utilizador como um todo, reflectindo a complexidade dos dados de entrada do utilizador numa interface gráfica que possua um tempo de resposta muito curto, animações suaves e um comportamento consistente. Inspira-se assim a ilusão de que a informação nela contida faz parte do mundo físico envolvente.

Selker [Sel08] afirma que os investigadores devem desenvolver cenários de uso que as pessoas queiram desempenhar, e que sejam simples e produtivos. Hoje existe a potencialidade para criar aplicações que capturem a riqueza da interacção humana, como gestos por exemplo. Segundo o autor, as interfaces baseadas em multi-toque são um exemplo dessa potencialidade, oferecendo emocionantes e eficientes formas de interagir directamente com a informação. Estas interfaces têm vindo a demonstrar metáforas naturais, permitindo uma manipulação coordenada que visa substituir o que seriam múltiplas acções utilizando um dispositivo tradicional.

2.2 Superfícies Multi-toque

Os ecrãs sensíveis ao toque permitem uma interacção directa com o que está visível no ecrã. Este método de interacção não é novo, tendo aparecido os primeiros sistemas na década de 1970 [SBD⁺08], os quais não detectavam mais de um toque em cada momento. O trabalho de

Han [Han05] em superfícies multi-toque capazes de detectar vários toques simultâneos, ilustrado na Figura 2.1, aumentou o interesse por estas superfícies e acelerou o desenvolvimento de técnicas para criar este tipo de superfícies de forma mais acessível. Hoje em dia existem diversos tipos de tecnologia para criar superfícies tácteis, algumas das quais estão sucintamente apresentadas no Anexo A.



Figura 2.1: Jefferson Han (à direita) a interagir com um ecrã multi-toque. (Imagen extraída de [Sel08].
©2008 ACM)

Com a vulgarização das superfícies multi-toque emerge a necessidade de desenvolver interfaces capazes de tirar proveito da tecnologia inerente. Surge assim a capacidade de se interagir directamente com objectos virtuais usando os dedos, uma interacção que se aproxima cada vez mais da interacção com objectos físicos. Com este tipo de interacção disponível, é conveniente avaliar a sua potencialidade face aos métodos actuais, nomeadamente o recurso ao rato.

2.2.1 Multi-toque Face ao Rato

Como foi já referido, a existência de superfícies sensíveis ao toque não é recente, já existindo estudos que compararam a utilização deste tipo de dispositivos com o tradicional rato. Sears e Shneiderman [SS91] concluíram, através de um conjunto de testes por eles levados a cabo e de outros efectuados antes deles, que ecrãs sensíveis ao toque são mais eficientes na selecção de objectos do que um rato e menos propensos a erros para alvos de tamanho superior a 4 pixéis por lado.

Num estudo mais recente, Forlines et al. [FWSB07] investigaram as diferenças, tanto a nível de

desempenho como de preferência, entre interacção directa (com os dedos) e indirecta (utilizando um rato) para tarefas com uma e duas mãos. Os resultados mostraram que para tarefas que necessitem de um único ponto de interacção, o rato é mais eficiente. No entanto, para tarefas com duas mãos, a interacção directa com toques revelou-se mais apropriada.

Kin et al. [KAD09] compararam a utilização de um rato com um dedo, dois dedos de mãos diferentes e vários dedos para a selecção de alvos. Comprovaram que utilizando uma interacção directa com um dedo é mais rápido que utilizar um rato e que uma interacção a duas mãos é mais rápida que utilizar apenas um dedo. Apesar deste estudo e o anteriormente referido não serem coincidentes relativamente à utilização de rato face a um único ponto de contacto, no que se refere a uma interacção com mais de um toque ambos convergem no sentido desta ser a mais eficiente.

2.2.2 Interfaces Baseadas em Gestos

A vantagem das superfícies sensíveis ao toque, face aos dispositivos actualmente utilizados, prende-se com a possibilidade de tocar nos objectos virtuais, suscitando uma interacção mais natural. Esta interacção poderá ser baseada num vocabulário gestual, o qual se poderá inspirar nas interacções que os utilizadores efectuariam com objectos físicos.

Hornecker [Hor08] estudou o tipo de interacção que surge quando utilizadores são expostos a uma aplicação multi-toque. Para isso, colocou uma mesa multi-toque numa ala de um museu, com uma aplicação de questões relacionadas com a evolução da vida. Observou que, com tal instalação, as pessoas eram atraídas e interagiam com a mesa sem hesitações, nem sendo intimidadas pela tecnologia. Muitas vezes os visitantes utilizavam a mesa simultaneamente, explorando a aplicação em conjunto. Com este estudo, Hornecker concluiu que uma interface cujo desenho não se assemelhe aos tradicionais ecrãs de computadores desperta a curiosidade dos utilizadores, incentivando a um vasto reportório de gestos, tanto com vários dedos como com ambas as mãos.

Um pouco à semelhança desta experiência, Peltonen [PKS⁺08] colocou uma superfície multi-toque num espaço público. Desta vez tratava-se de um ecrã de grandes dimensões, numa movimentada rua da Finlândia. Mais uma vez demonstrou-se que as pessoas se sentem atraídas por um método de interacção diferente, que, neste caso, é um método que fomenta uma interacção mais natural através de gestos, embora essa atracção fosse maior quando já havia alguém a explorar a interface. Frequentemente os utilizadores utilizavam o ecrã simultaneamente, originando dois tipos de interacção distintos, um em que eram desconhecidos e realizavam uma interacção paralela, outro em que interagiam aos pares, auxiliando-se na descoberta da aplicação.

Num contexto mais concreto, Fiorella et al. [FSL09] compararam duas interfaces para manipulação de objectos tridimensionais recorrendo a uma superfície multi-toque de um dispositivo móvel, uma baseada em gestos e outra em botões. Efectuaram um conjunto de testes com utilizadores, os quais consistiam num conjunto de tarefas seguido de um questionário. De uma forma geral, a interface baseada em gestos mostrou-se a mais eficiente e de agrado dos utilizadores, mesmo aos mais inexperientes com este tipo de interacção.

Muitos dos gestos utilizados em diversos protótipos que têm sido desenvolvidos para superfícies multi-toque foram criados pelas equipas de desenvolvimento. Para Wobbrock et al. [WMW09], estes gestos, embora adequados para investigações iniciais, podem não reflectir o comportamento dos utilizadores. Estes autores levaram a cabo um estudo no qual solicitaram aos participantes que efectuassem o gesto que considerassem dar origem a uma dada acção. Com este estudo definiram um conjunto de gestos naturais para os utilizadores, possibilitando a criação de aplicações para *tabletops* cuja interacção seja consistente e de fácil reconhecimento.

Mostrou-se que as novas interfaces baseadas em gestos multi-toque têm potencialidade para substituir as actuais. Nesse sentido, apresentam-se de seguida alguns exemplos de como tirar partido destes dispositivos para novos tipos de interacção em diversas áreas.

2.3 Aplicações Multi-toque

Com a vulgarização das superfícies multi-toque, um dos passos a dar consistiu em criar novas modalidades de interacção para aplicações já existentes. Kim et al. [KKBL06] aplicaram uma interacção com uma mesa multi-toque à aplicação de navegação num modelo virtual tridimensional do planeta Terra da Google, o Google Earth. Implementado um conjunto de gestos, tanto com uma como com duas mãos, permitiram uma utilização mais natural para controlar a navegação no mapa.

Um pouco à semelhança deste último trabalho, Tse et al. [TSGF06] desenvolveram também uma nova interface para o Google Earth, desta vez adicionando comandos por voz. Implementaram ainda uma outra interface multi-modal, utilizando novamente gestos e voz, para controlar o jogo Warcraft 3. Desta forma, os utilizadores podiam apontar locais directamente no mapa para criar percursos ou movimentar tropas, ou simplesmente navegar de uma forma que consideraram ser muito natural.

Vão sendo também criadas aplicações desenhadas de raiz com uma interacção baseada em gestos. Wu e Balakrishnan [WB03] exploraram técnicas de visualização e interacção para suportarem ambientes partilhados e privacidade. Criaram um protótipo para organização de mobília numa

planta, o RoomPlanner (Figura 2.2), que se baseia num conjunto de gestos diversificados, quer utilizando um dedo, dois dedos, uma mão e duas mãos. Este protótipo corre na mesa Diamond-Touch [DL01] e pode ser usado por dois utilizadores em simultâneo, colocados frente a frente.



Figura 2.2: RoomPlanner a ser utilizado por duas pessoas. (Imagen extraída de [WB03]. ©2003 ACM)

Chang et al. [CSPW09] conjugaram o multi-toque com uma simulação de física para a criação de *origami*. A solução implementada foi testada com utilizadores, os quais consideraram que a combinação das duas tecnologias fez com que a interacção tridimensional fosse natural, visualmente plausível e agradável.

Num contexto diferente, Logtenberg [Log09] desenvolveu uma aplicação para visualização de modelos tridimensionais de moléculas no âmbito da investigação biomédica. O objectivo deste trabalho foi proporcionar uma forma mais interactiva e confortável para examinar a visualização de moléculas. Para o efeito, considerou um variado conjunto de gestos, que procurou serem o mais naturais possíveis, para controlar a manipulação da câmara em torno do modelo.

Mostrando as possibilidades do multi-toque noutras áreas, como a música, Lopes et al. [LFP10] apresentaram uma ferramenta virtual para DJing numa superfície multi-toque horizontal. Com esta ferramenta, os utilizadores podem controlar os diversos objectos presentes na interface de forma semelhante ao que fariam com uma instalação física. Após uma avaliação com utilizadores peritos, foi demonstrado que a solução apresentada é apropriada para quaisquer DJs com alguma experiência, sendo que o sistema foi pelo menos tão simples de utilizar como um sistema de DJ tradicional.

Recentemente, Kin et al. [KMB⁺11] desenvolveram uma aplicação para criação de cenários 3D utilizando uma superfície multi-toque. Nesta aplicação, destinada a artistas habituados a construir este tipo de cenários, podem-se seleccionar modelos presentes numa lista e utilizá-los para popular a cena, sendo possível manipulá-los através de um conjunto de gestos para alterar as suas propriedades.

As aplicações acima referidas são apenas uma selecção das consideradas relevantes para demonstrar as capacidades e possibilidades de interacção das superfícies tácteis de média/grande dimensão. Não está no âmbito deste trabalho apresentar um estudo exaustivo das aplicações para superfícies multi-toque. De referir, contudo, que não existe ainda nenhuma aplicação destinada à criação de modelos LEGO virtuais.

2.4 Sumário

Neste capítulo contextualizou-se a relevância das superfícies multi-toque no âmbito das novas técnicas de interacção emergentes. Mostrou-se que estas superfícies são capazes de proporcionar uma interacção mais directa, sendo possível tocar directamente nos objectos virtuais, e natural, visto ser possível utilizar gestos próximos dos utilizados no mundo físico. Estes são aspectos imperativos no desenvolvimento das novas interfaces que visam substituir as tradicionais baseadas em ratos e teclados. Foram também apresentadas algumas aplicações do multi-toque nos mais diversos cenários de utilização.

Capítulo 3

Trabalho Relacionado

Compreendida a aposta nas superfícies multi-toque para o trabalho apresentado neste documento, serão seguidamente analisadas as soluções existentes para a manipulação de objectos e câmara nestas superfícies. Começar-se-á com objectos em ambientes bidimensionais, seguindo-se os tridimensionais. Serão também estudadas abordagens para controlar a visualização de cenas nestes ambientes. Por fim, uma vez que o cenário escolhido foi a construção de LEGO virtual, serão analisadas as aplicações existentes para a construção de modelos virtuais deste tipo de blocos, maioritariamente baseadas no paradigma de interacção WIMP.

3.1 Manipulação de Objectos Utilizando Multi-toque

Em qualquer interface gráfica, a manipulação dos objectos visíveis é fundamental. Na interacção com uma superfície sensível ao toque, espera-se que tal se consiga fazer de uma forma o mais natural possível. Centrando-se este trabalho no manuseamento de objectos em superfícies multi-toque de forma natural, torna-se crucial estudar as soluções existentes para este desafio, nomeadamente em ambientes tridimensionais.

3.1.1 Manipulação de Objectos 2D

A investigação sobre manipulação de objectos em superfícies multi-toque começou por ser feita em cenários bidimensionais. Wu e Balakrishnan [WB03], no trabalho já apresentado na secção 2.3, propõem um conjunto de gestos com vários dedos e mãos para interacção com objectos numa cena bidimensional. Os gestos propostos passam por: utilizar um único toque para seleccionar e movimentar um objecto; abrir um menu contextual com um duplo toque; efectuar rotações e

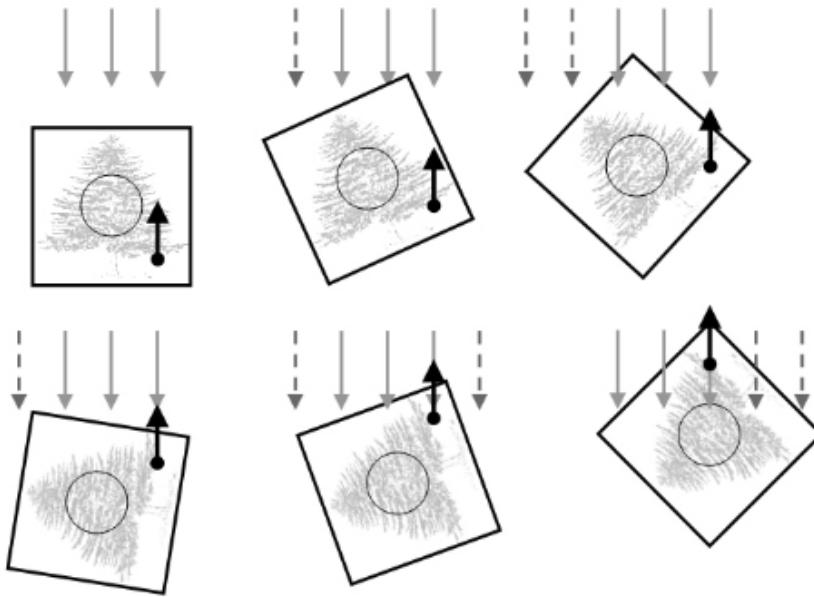


Figura 3.3: Técnica Rotate'N Translate - movimento não equilibrado, resultando numa translação vertical e numa rotação no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, partindo do ponto situado no canto inferior direito do objecto. (Imagen extraída de [KCST05]. ©2005 ACM)

escalas com dois toques (medindo o ângulo e a distância entre os dois toques, ou, para a rotação, através de um *widget* para regular o ângulo).

Além de gestos com dedos, Wu e Balakrishnan recorrem ainda a interacções com a mão toda. Desta forma, os autores proporcionam a possibilidade de rodar a planta, varrer os objectos, obter propriedades destes e visualizar informação privada. Utilizando as duas mãos, é possível varrer e agrupar os objectos compreendidos entre elas, e colocando as duas mãos em forma de canto cria-se uma área de trabalho individual.

Com o objectivo de integrar a rotação e translação de objectos bidimensionais de forma fluída, Kruger et al. [KCST05] desenvolveram a técnica Rotate'N Translate (RNT). Os autores pretendiam proporcionar uma interacção contínua e sem interrupções, no que toca à rotação e translação de objectos, uma vez que no mundo físico estas duas acções são inseparáveis. Esta técnica tem como objectivo proporcionar uma rotação para qualquer ângulo pretendido, minimizando a acção e o esforço cognitivo necessários. Tiveram também como objectivos integrar as acções de rotação e translação e que a técnica possa ser aplicável em diversos tipos de dispositivos, mesmo aqueles que apenas suportam um ponto de contacto.

A RNT recorre à ideia de uma corrente, uma força constante, com direcção oposta à do movimento do toque e de que o mesmo ponto do objecto se mantém constantemente em contacto com o toque. Um objecto irá rodar até que se encontre um equilíbrio entre o movimento do toque e a

corrente, como ilustrado na Figura 3.3. Se o movimento do toque provocar uma situação muito desequilibrada, as rotações serão mais bruscas. Tal implica que um movimento recorrendo ao centro do objecto resulte apenas numa translação.

Hancock et al [HCV⁺06], investigaram várias técnicas para a manipulação de objectos bidimensionais. Uma destas técnicas é a rotação e translação com dois pontos (*two-point rotation and translation*), também conhecida como *rotate-scale-translate* (RST), ou *pinch zoom* [WMW09] quando apenas associada a escalas. Nesta técnica, o primeiro ponto de contacto é utilizado para mover o objecto, enquanto o segundo é usado para rodar o objecto, usando o primeiro toque como centro da rotação, como demonstrado na Figura 3.4. Recorrendo à variação da distância entre os dois toques, esta técnica também pode ser utilizada para escalar o objecto. A RST é actualmente o standard *de facto* para este tipo de interacções. Está presente em diversas aplicações existentes, incluindo comerciais, para *smartphones* e não só.

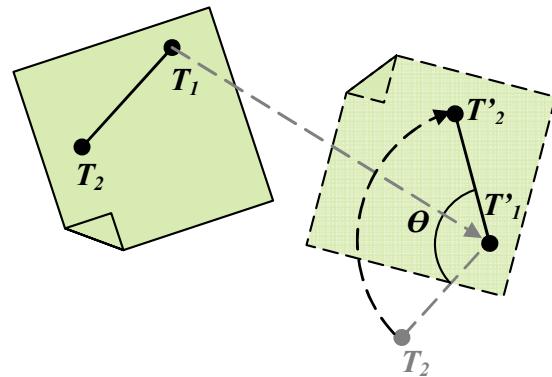


Figura 3.4: Técnica Rotate-Scale-translate - o primeiro ponto de contacto, T_1 , é usado tanto como centro da rotação como ponto fixo para a translação. (Imagem extraída de [HCV⁺06]. ©2006 IEEE)

3.1.2 Manipulação de Objectos 3D

No que toca à manipulação de objectos tridimensionais, nenhum tipo de standard foi ainda definido. Com este tipo de manipulações em vista, Grossman e Wigdor [GW07] analisaram diversas tecnologias de *tabletops*, criando uma taxonomia para efectuar a sua classificação. Recorrendo a esta taxonomia, discutiram um conjunto de aspectos a considerar no desenvolvimento de aplicações interactivas tridimensionais, focando-se na relação entre o espaço dimensional do input e da visualização.

Hancock et al. [HCC07] apresentaram um conjunto de guias para o desenvolvimento de interfaces com objectos tridimensionais, de forma a providenciar o maior número de graus de

liberdade (*degrees of freedom - DOF*), manter uma ligação visual e física com o objecto a ser manipulado e oferecer um retorno visual 3D apropriado (por exemplo, sombras). Expõem também um estudo sobre manipulação com objectos tridimensionais utilizando um, dois e três toques em simultâneo.

Interacção Shallow-Depth

Os autores começaram por estender o algoritmo RNT à terceira dimensão. Utilizando apenas um toque (entrada de 2 DOF) conseguem-se alcançar 5 DOF. Ao tocar num ponto do objecto, esse ponto seguirá o dedo, fazendo com que o objecto rode em torno dos três eixos e se movimente em x e y, como mostra a Figura 3.5.

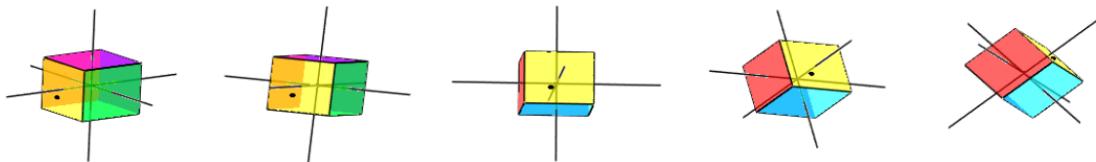


Figura 3.5: Interacção Shallow-depth - sequência de movimento utilizando interações com um toque. O ponto representa o toque do utilizador. (Imagen extraída de [HCC07]. ©2007 ACM)

Utilizando dois pontos de contacto (entrada de 4 DOF) conseguem-se 6 DOF. Com o primeiro toque utiliza-se o algoritmo RNT para translações em x e y e rotações em torno de z, e com um segundo toque conseguem-se as rotações em torno de x e y. Utilizando a distância entre os dois toques consegue-se ainda translações em z.

Por fim, recorrendo a três toques mapeia-se uma entrada de 6 DOF para uma saída de 6 DOF. O primeiro toque é utilizado para mover o objecto em x e y, o segundo toque para rodar em torno de z e, através da distância entre os dois toques, para mover em z, e o terceiro toque para rodar em torno de x e y.

Os autores efectuaram testes com estes métodos de interacção. Os resultados mostraram que uma interacção com mais pontos de contacto tende a ser mais rápida, sendo que com apenas um toque os utilizadores acabam por despender mais tempo a efectuar processamento cognitivo.

Sticky Tools

Continuando o trabalho apresentado, Hancock et al. introduziram as Sticky Tools [HtCC09]. Estas consistem num conjunto de três conceitos que permitem a manipulação de objectos numa cena tridimensional. O primeiro destes conceitos é denominado Sticky Fingers, que consiste em

manter os pontos iniciais de um toque constantemente em contacto com o dedo que o originou. Utilizando esta abordagem com um ou dois dedos é possível controlar 4 DOF: translação em x e y (um dedo - Figura 3.6 (a)); elevação em z; e rotação em torno de z (dois dedos - Figura 3.6 (b) e (c)).

Para alcançar os 6 DOF surge o segundo conceito, Opposable Thumb (Figura 3.6 (d)), que estende o conceito anterior, acrescentando um terceiro dedo que permite rotações em torno de x e y. Utilizando os dois primeiros toques para definir um eixo de rotação, o movimento do terceiro irá desencadear a rotação em torno desse eixo.

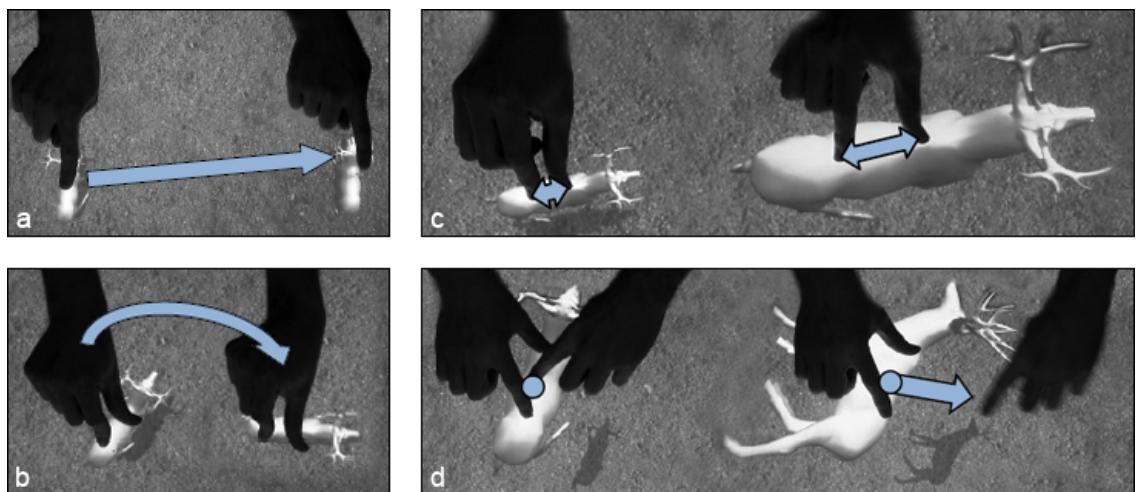


Figura 3.6: Técnicas Sticky Fingers (a, b e c) e Opposable Thumb (d). (Imagen extraída de [HtCC09]. ©2009)

Por fim, as Virtual Tools possibilitam uma interacção mais complexa, disponibilizando um conjunto de objectos virtuais que permitem interagir com outros objectos da cena para, por exemplo, alterarem determinadas propriedades dos segundos.

Múltiplas Vistas Ortogonais

Em [MCG10a], Martinet et al. apresentam duas técnicas para posicionamento de objectos numa cena tridimensional. A primeira dessas técnicas consiste no recurso a várias vistas ortogonais (Figura 3.7 (ii) e (iii)). Quando o utilizador toca num objecto numa das vistas, passa a poder movimentar o objecto num plano paralelo ao de visualização. Ao tocar numa segunda vista, o objecto é colocado com a profundidade correspondente ao local onde o segundo dedo teve contacto com a superfície.

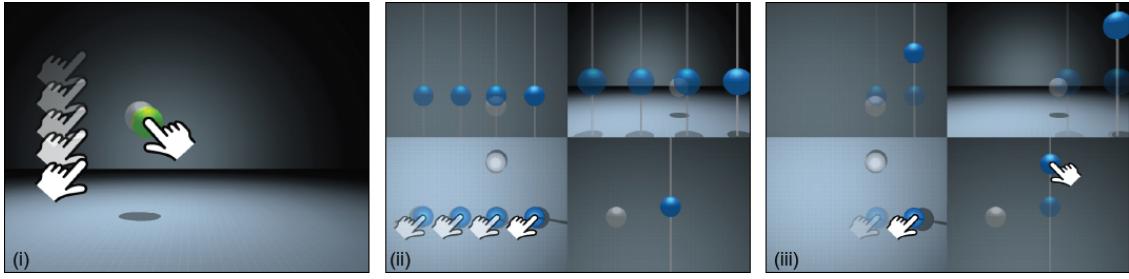


Figura 3.7: Z-technique (i) e várias vistas ortogonais (ii e iii). A linha cinzenta indica a movimentação permitida para o segundo toque. (Imagen extraída de [MCG10a]. ©2010 IEEE)

Z-Technique

A segunda técnica proposta em [MCG10a], denominada de Z-technique (Figura 3.7 (i)), utiliza apenas uma visualização da cena. Ao tocar num objecto, o utilizador pode movimentá-lo num plano paralelo ao de visualização e, com um segundo ponto de contacto, pode regular a profundidade do objecto, através de movimentos para cima e para baixo, que afastam e aproximam o objecto da câmara, respectivamente.

Posteriormente, os autores complementaram esta abordagem com a técnica apresentada de seguida, permitindo também manipular a orientação dos objectos e, assim, alcançando o controlo de 6 DOF [MCG10b]. Nesta proposta existe uma separação total entre a manipulação da posição e da orientação, o que, de acordo com os testes apresentados pelos autores, originou um melhor desempenho e maior preferência por parte dos utilizadores, quando comparada com as técnicas de Hancock et al. [HtCC09] e Reisman et al. [RDH09].

Formulação Screen-Space

Reisman et al. [RDH09] propõem aplicar o algoritmo RST a objectos tridimensionais, alcançando à partida 4 DOF: translação nos eixos x e y em relação à câmara e rotação em torno de z como se faria numa cena bidimensional, aplicando o gesto de escala para translações segundo z. Recorrendo a três ou mais toques no objecto em simultâneo, é possível controlar 6 DOF simultaneamente. Para isto, é utilizada uma função para a resolução de restrições (*constraint solver*) que calcula a nova posição e orientação do objecto, mantendo a correspondência entre as posições dos dedos no espaço 2D do ecrã e a posição 3D dentro da cena virtual.

Com dois dedos da mão não dominante é possível definir dois pontos no objecto que, juntos, formam um eixo sobre o qual um dedo da mão dominante pode efectuar rotações, semelhante ao que acontece em abordagens anteriores. No entanto, se o dedo da mão dominante efectuar

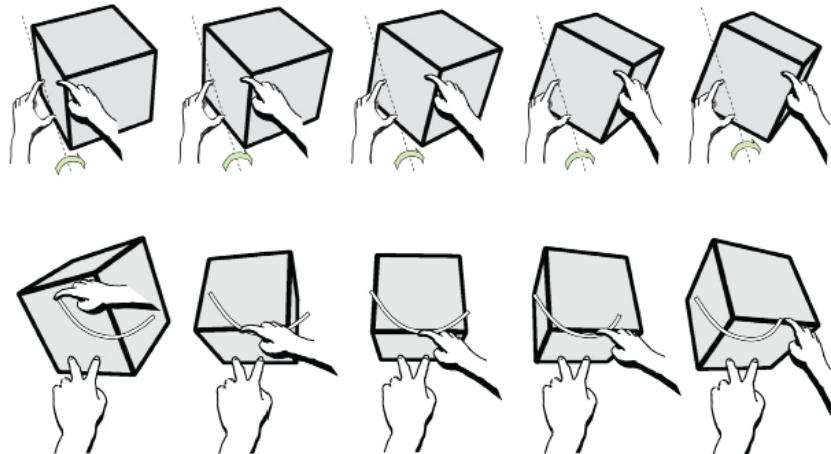


Figura 3.8: Formulação Screen-Space - dois tipos de rotações com três dedos. (Imagen extraída de [RDH09]. ©2009 ACM)

movimentos não coincidentes com o da rotação em torno do eixo definido, o objecto rodará de forma a também seguir o dedo, como a Figura 3.8 mostra. Por outro lado, se algum dos toques iniciais se mover, o objecto será rodado ou movido de forma a tentar reflectir esse movimento.

Segundo os autores, esta técnica pode trazer algumas complicações quando os pontos usados para definir o eixo de rotação têm profundidades diferentes, provocando rotações ambíguas. Por outro lado, ao fazer com que o objecto siga os toques do utilizador, inclusive os da mão não dominante, surgiu um conjunto de interacções não previsto, como rotações em simultâneo com torções e escalas.

Widget para Transformações 3D

Mais recentemente, Cohé et al. [CDH11] apresentaram um *widget* para efectuar transformações em objectos segundo 9 DOF separadamente (três para translações, três para rotações e três para escalas), o qual consiste nos contornos de um cubo. Arrastando uma das arestas, o objecto é movido de acordo com a direcção dessa aresta. A rotação é feita arrastando uma face no sentido pretendido. Para escalar o objecto, o utilizador terá de arrastar duas arestas opostas.

3.1.3 Interacção Baseada em Simulações Físicas

Wilson et al. [WIH⁺08, Wil09] optaram por uma abordagem bastante diferente. Propõem uma forma de interacção com objectos numa superfície multi-toque que não se baseie em reconhecimento de gestos concretos, isto é, que não seja uma interacção pré-programada. Com o objectivo de tornar a interacção mais livre, natural e fluida, são criados *proxies* que interajam com os objectos da cena, utilizando-se, para isso, um motor de física.

Estes *proxies* são objectos virtuais criados com partículas geradas para terem a forma do contorno do contacto do utilizador com a mesa, quer sejam dedos, a mão completa, ou até mesmo objectos, a partir da posição do toque até ao primeiro objecto encontrado, como exemplificado na Figura 3.9. Os referidos *proxies* actuam na cena como qualquer outro corpo rígido e permitem, por exemplo, mover e rodar um objecto, ou vários simultaneamente, através de forças de contacto, como fricção ou colisão. Assim consegue-se transpor o acto de agarrar objectos para superfícies multi-toque.

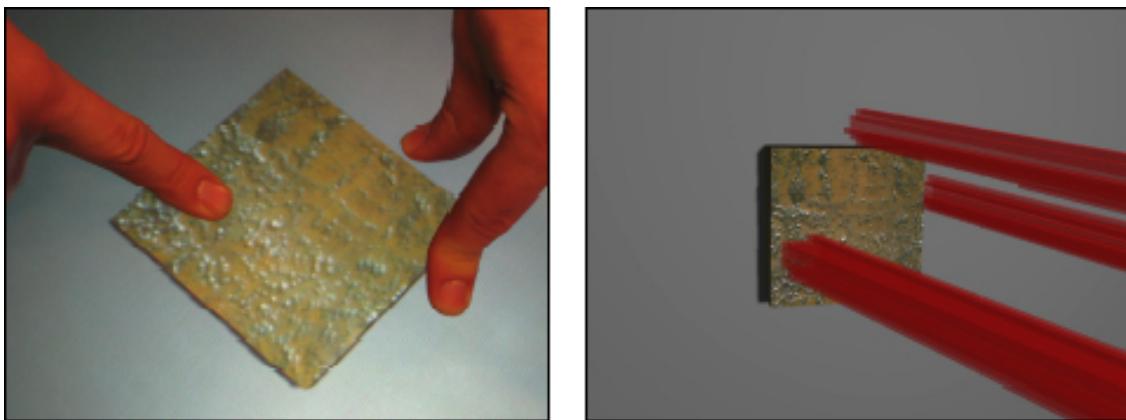


Figura 3.9: *Proxies* utilizados em simulações físicas, aproximados à forma dos múltiplos contactos. (Imagen extraída de [WIH⁺08]. ©2008 ACM)

São-nos expostas duas abordagens para controlar os *proxies*. Uma primeira consiste em criar as partículas em todos os *frames*, actualizar a simulação física com elas e removendo-as de seguida [WIH⁺08]. Esta técnica tem a vantagem de não estar sujeita a erros relativos ao seguimento dos toques, mas, devido à sua instantaneidade, não permite agarrar um objecto. Este problema é ultrapassado pela segunda técnica, que passa por tornar as partículas persistentes durante todo o tempo do toque, sendo que de *frame* para *frame* é procurada a partícula mais próxima, considerando que se trata da mesma partícula e é aplicada a força necessária a tal movimento [Wil09].

3.1.4 Discussão sobre Técnicas de Manipulação de Objectos 3D

Para além do trabalho relacionado atrás apresentado, no que concerne a manipulação de objectos tridimensionais, existem outros dignos de nota, nomeadamente as soluções desenvolvidas por Schmidt et al. [SSB08] e por Shuralyov e Stuerzlinger [SS11]. A primeira consiste em utilizar esboços para despoletar *widgets* que permitem manipular os objectos, enquanto que a segunda recorre ao rato e conta com diversos mecanismos auxiliares para tornar a interacção mais simples e eficiente. Estes trabalhos não se encontram descritos mais exaustivamente, uma vez que a sua relevância para este estudo é limitada, visto não se focarem numa interacção multi-toque.

Tendo-se exposto as técnicas para a manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque, apresenta-se assim a sua discussão. A Tabela 3.1 compara as várias abordagens, relacionando o número de toques (directos e indirectos) com os graus de liberdade, tanto para translações como para rotações, que oferecem. Entende-se por toque directo um toque que está sempre em contacto com o ponto do objecto inicialmente tocado, mesmo quando o dedo do utilizador é movido. Para que isto seja possível, o objecto a ser manipulado sofrerá transformações para que os pontos de contacto com os dedos do utilizador se mantenham ao longo da interacção. Analogamente, um toque indirecto é um que pode alterar as propriedades do objecto sem que haja um ponto de contacto fixo.

Convém salientar a relação entre o número de toques e o número de graus que cada técnica oferece. Visto que cada toque fornece uma entrada de 2 DOF, uma técnica que tenha pelo menos um total de DOF que seja o dobro do número de toques será capaz de fornecer, certamente, uma interacção explícita, controlada e pouco exigente para o utilizador.

No primeiro caso, a abordagem com um toque de Hancock et al. apresentada em Shallow-depth [HCC07], possui translações apenas segundo um plano paralelo ao de visualização. As rotações, embora segundo os três eixos, com apenas um toque, que também está associado à translação, podem tornar-se pouco precisas, sendo capazes de originar uma certa frustração a um utilizador ao tentar colocar um objecto na posição e orientação pretendidas.

No mesmo documento, Hancock et al. propõem uma segunda abordagem, utilizando dois toques, alcançando assim os seis graus de liberdade. Para mover um objecto utiliza a mesma técnica que com um toque, acrescentando um segundo toque para o mover segundo um eixo perpendicular ao da câmara, aproximando-o e afastando-o. Esta acção é efectuada através da variação das distâncias entre os toques, de forma semelhante à já uniformizada técnica de escala para objectos bidimensionais. A técnica parece promissora, levantando apenas algumas questões relativamente à sua aplicabilidade em cenas cuja visualização não é feita com um plano perpendicular a um dos eixos. As rotações continuam, no entanto, complexas. Para rotações em torno

	Número de Toques			DOFs Controlados		
	Total	Directos	Indirectos	Total	Translação	Rotação
Shallow-Depth	1	1	-	5	2	3
	2	1	1	6	3	3
	3	1	2	6	3	3
Sticky Fingers	1	1	-	2	2	-
	2	2	-	4	3	1
	3	2	1	6	3	3
Múltiplas Vistas Ortogonais	1	1	-	2	2	-
	2	2	-	3	3	-
Z-Technique	1	1	-	2	2	-
	2	1	1	3	3	-
Screen-Space Formulation	1	1	-	2	2	-
	2	2	-	4	3	1
	3+	3+	-	6	3	3
Simulação Física	?	?	?	?	?	?

Tabela 3.1: Comparação de várias técnicas para manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque.

de um eixo perpendicular ao de visualização continua-se a utilizar o mesmo toque que para as translações, e os dois toques para as rotações segundo os outros dois eixos parecem acrescentar uma complexidade extra à interacção.

Também de Hancock et al., os Sticky Fingers [HtCC09] sugerem ser uma simplificação da abordagem com dois toques de Shallow-Depth. Mantendo a mesma forma de mover objectos, foram retiradas rotações segundo dois eixos, mantendo-se apenas rotações em torno de um eixo perpendicular ao de visualização, sendo utilizada uma técnica idêntica ao já banalizado algoritmo RST para objectos bidimensionais. Não obstante esta limitação poder condicionar a experiência de interacção, esta será mais simples e familiar e, por conseguinte, potencialmente mais satisfatória para o utilizador. Surge novamente a questão que se prende com planos de visualização que não sejam perpendiculares a um dos eixos da cena. Nestes casos, a interacção pode possuir

um comportamento inesperado para o utilizador.

Ainda dos mesmos autores, as técnicas que recorrem a três toques presentes tanto em [HCC07] e [HtCC09] são bastante semelhantes. Estas consistem em usar uma abordagem idêntica aos Sticky Fingers, acrescentando mais um ponto de contacto para a interacção (o Opposable Thumb), que proporciona rotações em torno dos dois eixos não contemplados anteriormente. Consegue-se assim uma abordagem simples que permite a manipulação de objectos tridimensionais segundo os seis possíveis graus de liberdade. Fica apenas a dúvida relativa aos planos de visualização não perpendiculares aos eixos da cena.

As duas técnicas apresentadas por Martinet et al. [MCG10a], não fornecem a possibilidade de se rodar objectos, apenas de os mover. A que recorre a múltiplas vistas ortogonais, parece ser eficaz, mas não se mostra natural para o utilizador inexperiente e não pode ser aplicada a uma visualização livre. A Z-Technique, ultrapassa este problema. Essencialmente, a técnica é semelhante à interacção com dois dedos de Hancock et al., mas utiliza um segundo toque para determinar a profundidade do objecto, em vez do gesto de pinça. Esta abordagem poderá tornar a movimentação do objecto segundo os três eixos mais fluída, mas, no entanto, os gestos talvez não sejam tão naturais para o utilizador.

A abordagem seguida por Reisman et al. [RDH09] pode oferecer uma interacção natural. Por outro lado, a possibilidade de controlar 6 DOF simultaneamente pode limitar a precisão e ser susceptível de causar alguma confusão. A abordagem mais simples parece ser quando se usam dois dedos para fixar o objecto, servindo para definir o eixo de rotação, e usando um terceiro dedo para efectuar a rotação, indo de encontro à abordagem Opposable Thumb.

Quanto à proposta de trazer a física para simular as interacções entre o utilizador e os objectos virtuais de Wilson et al. [WIH⁺08, Wil09], é complicado definir ao certo quantos graus de liberdade consegue alcançar. Todo o trabalho aparenta ter sido desenvolvido para manipular objectos num plano, como a simular um tampo de secretária, não permitindo movimentar os objectos em profundidade nem efectuar rotações segundo eixos paralelos ao plano de visualização. No entanto, uma vez que a interacção não está pré-programada, não é possível afirmar que tal seja de todo impossível.

De qualquer das formas, esta abordagem aparenta não ser muito precisa para, por exemplo, agarrar um objecto que esteja muito próximo de outros, nem para efectuar rotações que não sejam em torno do eixo perpendicular ao plano de visualização. A vantagem desta técnica consiste no facto de não ser necessário ensinar ao utilizador quais os gestos que tem ao seu dispor, permitindo assim uma interacção mais livre e natural.

Foi referido que várias das técnicas apresentadas podem levantar algumas questões devido ao

facto de terem sido conceptualizadas para cenas cujos planos de visualização são perpendiculares a um dos eixos do referencial. De facto, várias efectuam a translação dos objectos num plano paralelo ao de visualização e rotações com eixos paralelos ou perpendiculares ao mesmo plano.

Como se pode observar na Figura 3.10, quando se oferece a liberdade ao utilizador de definir o ponto de vista, o plano de visualização pode deixar de ser perpendicular a um dos eixos, afectando o plano de interacção. Nestes casos, o arrastar de um objecto provocará translações nos três eixos simultaneamente e as rotações serão em torno de um eixo não coincidente com nenhum dos do referencial da cena, o que poderá não ir de encontro às expectativas do utilizador.

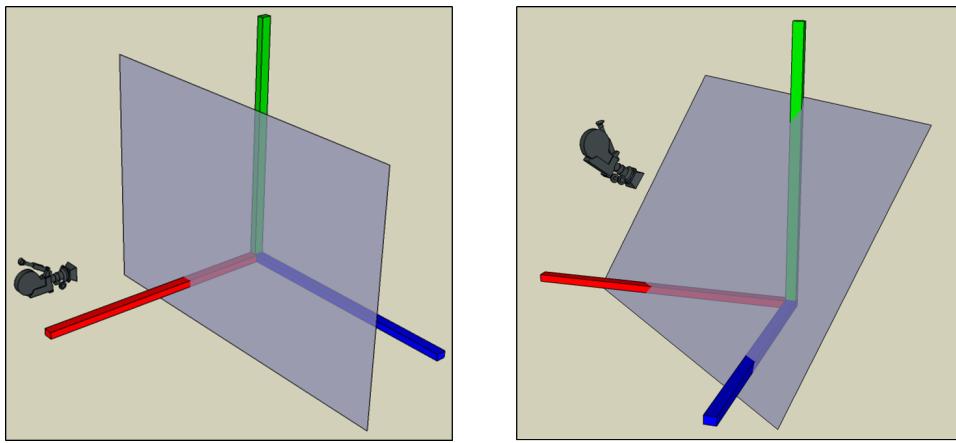


Figura 3.10: Planos de interacção numa cena com o vector de visualização paralelo a um dos eixos do referencial (esquerda) e não paralelo com nenhum dos eixos (direita).

3.2 Manipulação da Câmara em Superfícies Multi-toque

Apesar do foco deste mestrado ser a manipulação de objectos, a manipulação da câmara é uma questão importante em qualquer aplicação com um ambiente tridimensional. Existem actualmente várias soluções para efectuar os diversos movimentos da câmara, algumas das quais serão apresentadas na secção 3.3, mas que nem sempre a transposição para superfícies tácteis é possível.

Navidget

Com este tipo de superfícies em mente, Hachet et. al introduziram a Navidget [HDKG08], uma técnica que proporciona um controlo simples e rápido para posicionar a câmara numa cena tridimensional através de uma entrada bidimensional. O utilizador define um ponto de interesse

no qual pretende focar a visualização, iniciando-se uma movimentação suave da câmara em direcção à nova posição, sendo-lhe apresentada uma meia esfera para escolher alguns parâmetros de visualização, como a direcção e a aproximação, esfera essa ilustrada na Figura 3.11 (a).

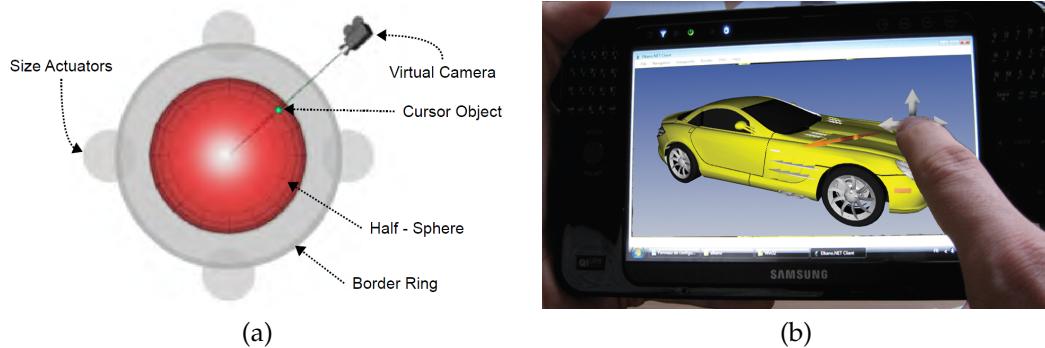


Figura 3.11: Técnicas para manipulação da câmara em superfícies tácteis - Navidget (a) (Imagen extraída de [HDKG08]) e ScrutiCam (b) (Imagen extraída de [DHG09]).

ScrutiCam

A ScrutiCam, apresentada por Decle et al. [DHG09], é outra técnica de manipulação da câmara num ambiente 3D, também esta baseada num ponto de interesse do utilizador. Com esta abordagem é possível controlar a câmara com apenas dois gestos, um que move o centro do ecrã de forma a ficar alinhado com a superfície do modelo, e outro que o move em qualquer outra direcção para movimentar a vista segundo o plano do ecrã, como demonstra a Figura 3.11 (b). Mais uma vez, é possível manipular a câmara numa cena tridimensional utilizando uma entrada bidimensional.

3.2.1 Discussão sobre Técnicas de Manipulação da Câmara

Começando pela Navidget [HDKG08], esta técnica apresenta-se como mais indicada para navegação em cenas extensas ou observar pequenos detalhes, devido ao facto de permitir seleccionar um objecto pequeno ou longínquo com precisão. A semi-esfera mostra-se eficaz para escolher a aproximação e o ângulo de visualização após se ter seleccionado o alvo. No entanto, para navegar à volta de um modelo, a técnica não será a mais prática.

Por outro lado, a ScrutiCam [DHG09], foi desenvolvida tendo em conta a visualização de um modelo tridimensional, sendo que o utilizador controla a câmara movimentando-se à volta do modelo. A vantagem desta abordagem é a desvantagem da Navidget e vice-versa: embora adequada para a visualização de modelos, esta técnica não é adequada para a navegação numa cena

tridimensional.

As abordagens para manipulação de objectos em superfícies multi-toque apresentadas foram concebidas para cenários de visualização apenas, não tendo em mente cenários interactivos, como o de blocos de construção. Não havendo uma solução que vá de encontro a estes cenários, serão analisadas de seguida aplicações existentes que possuem essa funcionalidade, embora recorrendo a paradigmas de interacção diferentes. Pretende-se, com esta análise, ter como ponto de partida os sistemas de modelação LEGO e aplicar nesse contexto as técnicas de manipulação multi-toque já apresentadas.

3.3 Sistemas de Modelação de LEGO

Existem actualmente diversas aplicações que permitem a criação de modelos de LEGO virtuais, cada uma apresentando algumas particularidades em relação às demais: umas pretendem dar a sensação de se construir um modelo de LEGO como se faria na realidade, enquanto outras seguem uma abordagem mais técnica, orientadas à modelação tridimensional; umas utilizam bibliotecas de peças *open-source*, outras são proprietárias e recorrem ao seu próprio sistema de peças.

Serão apresentados seis sistemas de modelação de LEGO: LEGO Digital Designer, MLCad, LeoCAD, SR 3D Builder, LSketchIt e Blocks!!.. Com excepção dos dois últimos, todos utilizam paradigmas de interacção WIMP. Os sistemas serão analisados tendo em conta aspectos como a procura e selecção das peças, a colocação das peças no espaço tridimensional e construção do modelo, assim como a manipulação da câmara para a visualização do modelo.

Foi efectuado um conjunto de testes com utilizadores, com o propósito de avaliar as três aplicações mais vulgarmente utilizadas para este tipo de modelação. Estes testes encontram-se descritos na secção 4.1.

3.3.1 LEGO Digital Designer

O primeiro destes sistemas, o LEGO Digital Designer (LDD)¹, é uma aplicação proprietária da LEGO, pelo que é uma aplicação fechada. A modelação de LEGO é feita num ambiente tridimensional e possui um sistema de ajuda nas ligações entre as peças. Encontra-se actualmente na sua quarta versão, apresentando diferenças significativas em relação às versões anteriores. É a única aplicação neste estudo que impede a sobreposição de peças.

¹LEGO Digital Designer, <http://ldd.lego.com/>, visitado em 8 de Agosto de 2011.

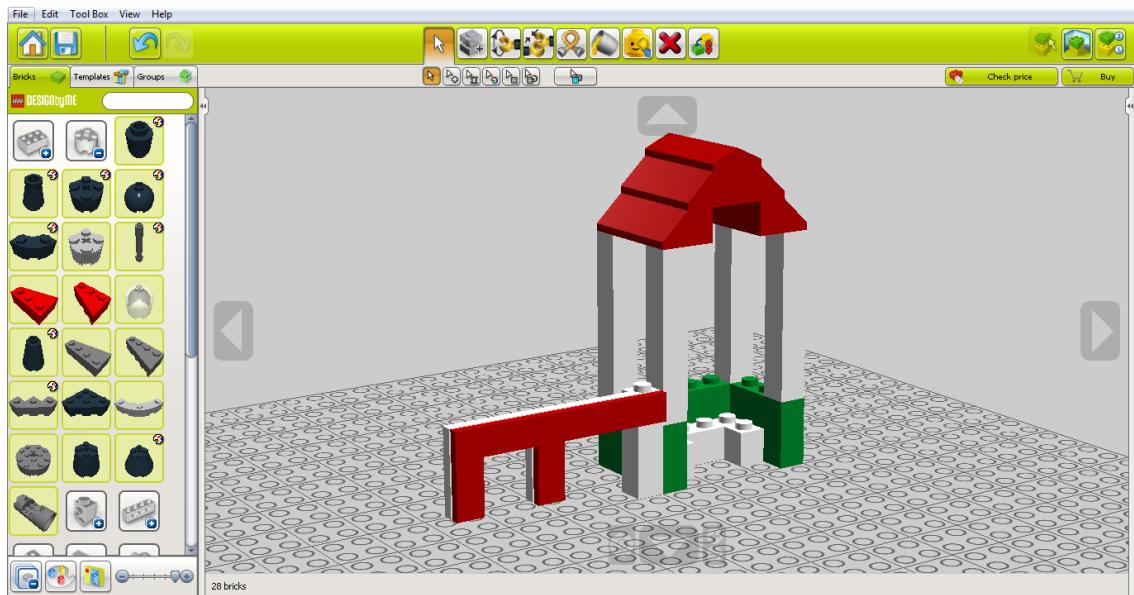


Figura 3.12: Ecrã da aplicação LEGO Digital Designer.

A aplicação apresenta as peças listadas pela sua pré-visualização, sendo possível incluir nesta lista peças iguais de cores diferentes, ou apenas uma peça representativa e escolher posteriormente a respectiva cor. Existe uma grelha sempre visível, simulando uma placa de construção, conforme se pode observar na Figura 3.12. A movimentação das peças faz-se exclusivamente no plano desta grelha, à qual se adaptam, ligando-se a outras peças que já estejam no modelo sempre que o programa considere conveniente. A rotação das peças faz-se apenas segundo dois eixos, utilizando-se as setas direcccionais para cada rotação de 90°.

O movimento da câmara é efectuado arrastando-se o rato e para aproximar e afastar recorre-se à roda de deslocamento (*scroll wheel*). Para arrastar a câmara o sistema mapeia o movimento do rato, não seguindo o cursor de forma exacta. No que toca à rotação da câmara, esta roda em torno dos eixos horizontal e vertical da vista actual do modelo, orbitando em torno de um ponto e sem nunca se inclinar.

3.3.2 MLCad

O Mike's Lego CAD (MLCad)¹ é um sistema de CAD aplicado à construção de modelos de LEGO. Possui quatro vistas diferentes do modelo: três ortogonais (uma de topo, uma de frente e uma de lado) e uma perspectiva, conforme se pode ver na Figura 3.13. No entanto, apenas

¹MLCad, <http://mlcad.lm-software.com/>, visitado em 8 de Agosto de 2011.

é possível realizar alterações ao modelo nas vistas ortogonais, sendo a vista perspectiva apenas para visualização. Utiliza como base a biblioteca de peças open-source LDraw.

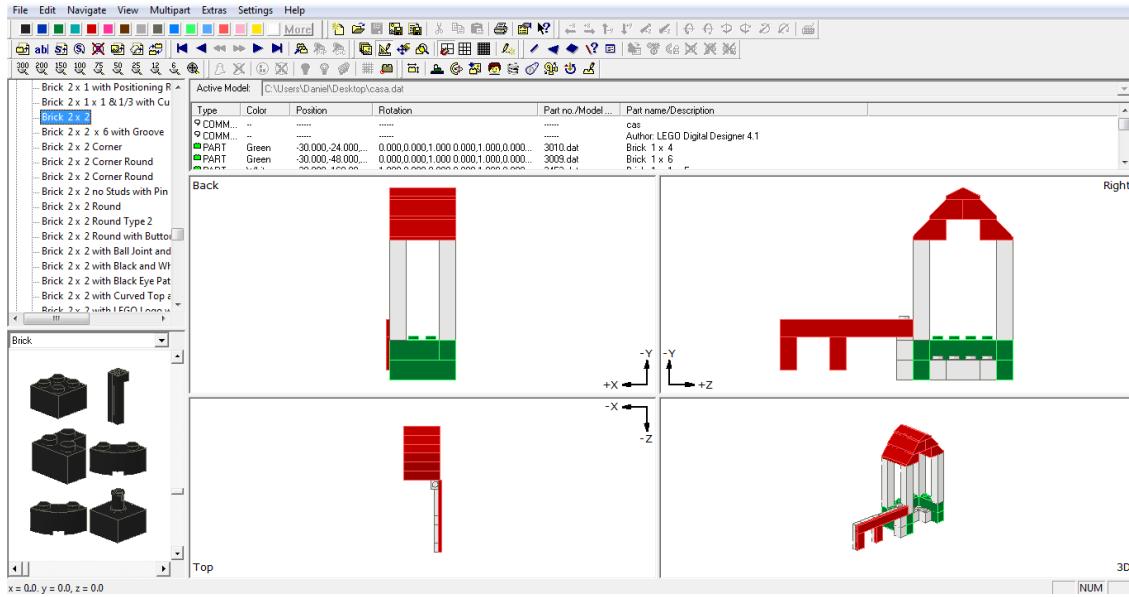


Figura 3.13: Ecrã da aplicação MLCad.

A pesquisa das peças é efectuada segundo agrupamentos das peças, os quais são identificados textualmente, e as respectivas peças encontram-se listadas em dois locais: numa lista textual e noutra pelas suas pré-visualizações. Estas imagens nem sempre estão de acordo com a peça seleccionada na primeira lista. O deslocamento das peças efectua-se apenas num plano paralelo ao das vistas ortogonais, as quais não possuem nenhum tipo de grelha auxiliar, não existindo qualquer restrição na posição da peça nem ligações com outras peças. Existem seis botões na interface para controlar a rotação das peças, dois para cada um dos três eixos, para rotações de 90° em sentidos opostos.

A movimentação da câmara é feita arrastando um ponto da vista com o rato. A roda de deslocamento é utilizada para aproximar e afastar. A aplicação proporciona rotações da câmara em torno dos três eixos, sendo o modelo centrado após cada rotação.

3.3.3 LeoCAD

O LeoCAD¹ utiliza também a biblioteca LDraw, mas possui a vantagem de esta já vir incluída no programa. As suas opções disponibilizam uma grelha, à qual as peças se adaptam a cada meia

¹LeoCAD, <http://www.leocad.org/>, visitado em 8 de Agosto de 2011.

unidade, e diversos conjuntos de vistas ortogonais. Tanto a grelha como estas vistas ortogonais não vêm activos por omissão, mas podem ser activados se desejado. Para alternar entre as diversas funções, como movimentar as peças ou rodar a câmara, é sempre necessário recorrer aos botões da interface.

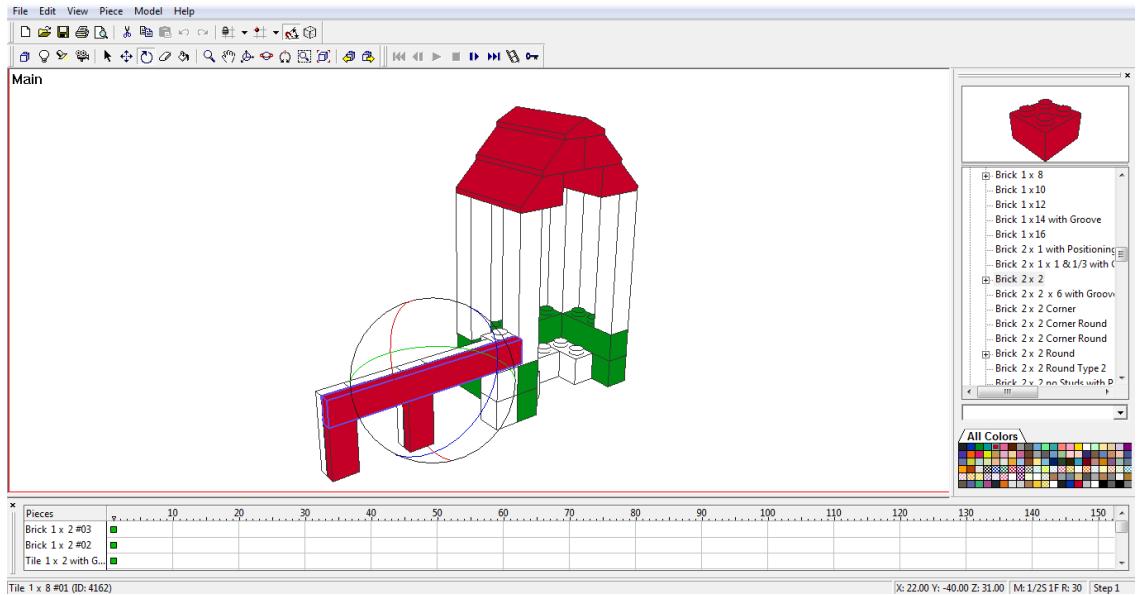


Figura 3.14: Ecrã da aplicação LeoCAD.

As peças são apresentadas através de uma lista com grupos, cuja identificação, tanto das peças como dos grupos, é apenas textual. Existe ainda uma pré-visualização da peça seleccionada. As peças deslocam-se apenas num plano horizontal na vista em perspectiva, sendo que para as movimentar num plano vertical é necessário premir o botão do lado direito do rato ou seleccionar o eixo correspondente. No caso de se utilizarem vistas ortogonais, as peças movimentam-se paralelamente aos seus respectivos planos de visualização. O movimento do rato é mapeado segundo os eixos, não existindo um ponto que siga o cursor.

Para a rotação das peças recorre a uma esfera, visível na Figura 3.14 e idêntica ao Arcball [Sho92], que roda a peça em intervalos de 30° relativamente a cada um dos três eixos. Efectuando a rotação clicando numa das circunferências faz com que esta se faça exclusivamente segundo um eixo.

O arrastar da câmara para a mover é feito de forma muito sensível ao movimentar o rato. Pelo contrário, a roda de deslocamento utilizada para afastar e aproximar a câmara é pouco sensível. De sublinhar que esta aplicação oferece diversas formas de rotação da câmara: rodar em torno dela própria, orbitar à volta de um ponto e inclinar.

3.3.4 SR 3D Builder

Um dos mais recente sistemas de modelação de LEGO disponibilizados para a comunidade aqui apresentados é o SR 3D Builder¹, visível na Figura 3.15. Esta aplicação é compatível com a biblioteca LDraw e possui um sistema de ligação das peças que permite seleccionar todas as peças ligadas a uma específica, assim como uma grelha centrada na peça que se estiver a manipular.

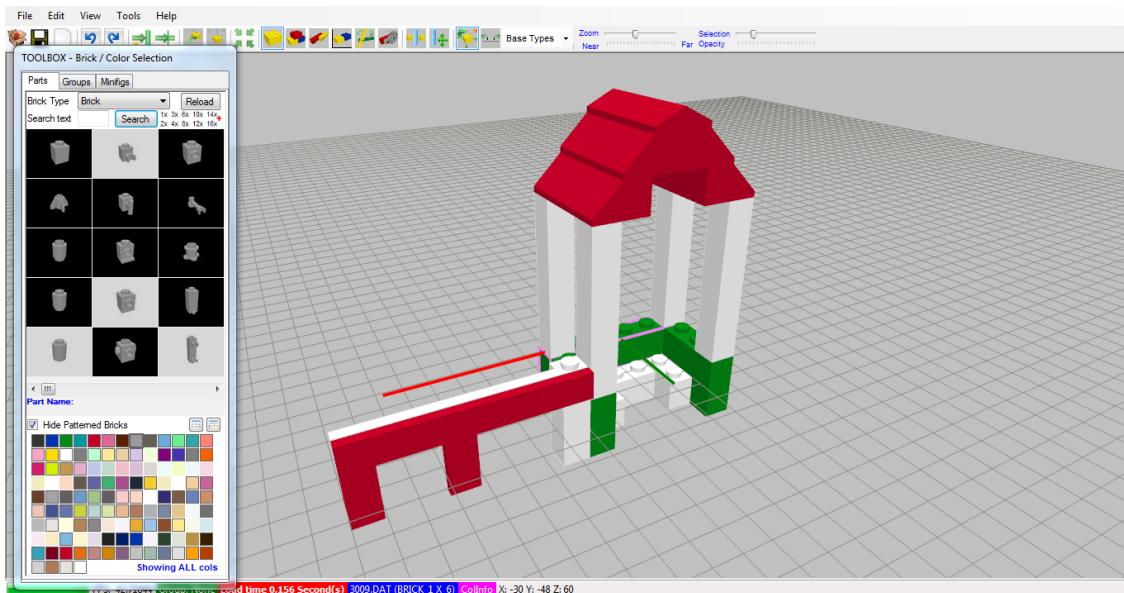


Figura 3.15: Ecrã da aplicação SR 3D Builder.

Os grupos de peças são identificados textualmente e as peças são listadas pela sua pré-visualização. A movimentação das peças é feita exclusivamente num plano horizontal, sendo que se movimentam verticalmente utilizando a roda de deslocamento do rato. Para terminar a colocação de uma peça é necessário premir a tecla *Enter*. A rotação das peças é semelhante ao LEGO Digital Designer, com a diferença de se utilizarem as teclas I, J, L e M para efectuar a rotação segundo dois eixos, em vez das setas direcccionais.

A posição da câmara é controlada arrastando o rato, seguindo exactamente o cursor do rato. Para aproximar e afastar, para além de se utilizar a roda de deslocamento, é necessário manter premida a tecla *Ctrl*. As rotações da câmara efectuam-se em torno dos três eixos.

¹SR 3D Builder, <http://staff.polito.it/sergio.reano/>, visitado em 8 de Agosto de 2011.

3.3.5 LSketchIt

Afastando-se do paradigma WIMP, O LSketchIt [SFDF08], ilustrado na Figura 3.16, possui uma interface caligráfica. Utiliza como base o LeoCAD, mas tem a particularidade de permitir a construção dos modelos LEGO utilizando esboços. O sistema apresenta uma grelha à qual as peças se adaptam, *bounding boxes* das peças seleccionadas e um sistema de detecção de ligações de peças, que permite manipular conjuntos de peças ligadas a uma seleccionada.

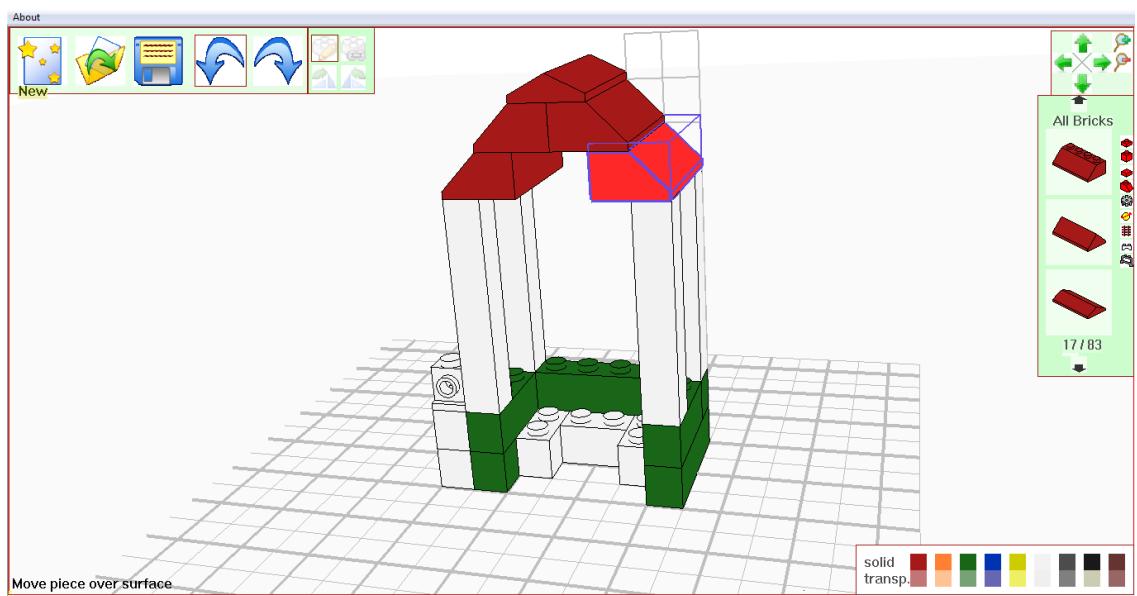


Figura 3.16: Ecrã da aplicação LSketchIt.

A procura e selecção de peças são feitas desenhando esboços das peças que se pretendem obter e no sítio que se deseja que fiquem colocadas. Tendo em conta esse esboço, o programa apresenta uma lista de sugestões e permite que se façam modificações às peças. Pousando o cursor em cima de uma peça na lista, esta roda, de modo a ter-se uma melhor noção da peça em questão.

Inicialmente a peça é colocada no local do esboço, mas é possível movê-la posteriormente. Arrastando a peça, esta move-se no plano da grelha. As peças deslocam-se automaticamente na vertical de modo a colocarem-se numa posição na qual não estejam a colidir com outras. A rotação das peças é feita através de dois botões na interface e apenas segundo um eixo vertical.

Mantendo-se premido o botão do meio do rato é possível arrastar a câmara e para se aproximar e afastar utiliza-se a roda de deslocamento. Para a rotação da câmara esboça-se um círculo que não contenha peças no seu interior, podendo-se de seguida orbitar em torno de um ponto ou inclinar a vista.

3.3.6 Blocks!!

Impulsionada pela disseminação dos dispositivos portáteis multi-toque, a aplicação Blocks!!¹, apresentada na Figura 3.17, foi recentemente lançada no mercado. O conjunto de peças e os recursos disponíveis de uma forma geral, quando comparados com as outras aplicações apresentadas, indicam que esta aplicação visa apenas a construção de modelos simples.

As novas peças podem ser acrescentadas seleccionando-as numa lista e, de seguida, tocar no local pretendido. Arrastando peças faz deslocá-las no plano da grelha, sendo empilhadas quando colidem. As peças podem ser rodadas usando dois toques, um fixa o objecto e o outro efectua a rotação. Múltiplos toques numa peça também fazem com que esta rode, mas em intervalos de 90° para cada toque e, quando se alcança uma rotação de 360°, a peça é removida.

Nesta aplicação, a manipulação da câmara é realizada com um toque para a mover (*pan*) e as variações do ângulo e da distância entre dois toques são utilizadas para rotação e *zoom*, respectivamente.

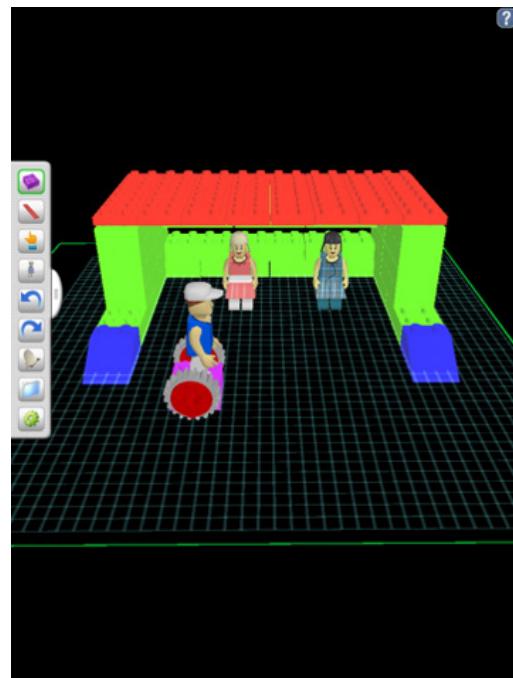


Figura 3.17: Ecrã da aplicação Blocks!!.

¹Blocks!!, <http://itunes.apple.com/us/app/blocks/id390088835>, visitado em 8 de Agosto de 2011

3.3.7 Discussão sobre Modeladores LEGO

Começou-se com uma análise empírica inicial das aplicações de criação de modelos LEGO já apresentadas, tendo esta sido complementada por testes com utilizadores efectuados sobre três destas aplicações, presente na secção 4.1. Algumas das principais características identificadas para cada aplicação foram resumidas na Tabela 3.2.

	Manipulação de Peças				Câmara		Pesquisa por Peças	
	Translação		Rotação		Tipo de Vista	Pode Inclinar		
	DOF	Colisões	DOF	Intervalo				
LEGO Digital Designer	2	Sim	2	90º	Perspectiva	Não	Imagens	
MLCad	2	Não	3	90º	Ortogonal	-	Texto e Imagens	
LeoCAD	3	Não	3	30º	Perspectiva	Sim	Texto	
SR 3D Builder	3	Não	2	90º	Perspectiva	Sim	Imagens	
LSKetchIt	2	Sim	1	90º	Perspectiva	Sim	Imagens	

Tabela 3.2: Comparação de vários modeladores LEGO.

Iniciando a discussão pela translação de peças, o LEGO Digital Designer mostra-se simples, efectuando com sucesso a transposição de um método de entrada de 2 DOF para uma colocação em três dimensões. Ao adaptar as peças ao sítio que pareça mais provável ser o destino pretendido pelo utilizador, assumindo que se a peça não estiver por cima de nenhuma outra será colocada na grelha que simula a base de construção, evita a sobreposição irrealista das peças. Nenhum dos outros programas com interface WIMP evita esta sobreposição. O MLCad também se mostra eficaz na colocação de peças, mas apenas para utilizadores já minimamente familiarizados com aquele tipo de vistas da cena, o que normalmente não é o caso de utilizadores inexperientes.

O SR 3D Builder, que apresenta uma movimentação das peças semelhante ao LeoCAD, no qual o arrastamento das peças é feito exclusivamente no plano horizontal, sendo necessária uma acção especial para as deslocar na vertical, acaba por oferecer uma experiência pouco natural. O arrastar das peças no LSketchIt, devido à movimentação vertical das peças para evitar colisões, é pouco previsível e pode provocar distração.

No que toca à rotação das peças, o SR 3D Builder é idêntico ao LEGO Digital Designer, diferindo nas teclas utilizadas e no facto de estas não serem explícitas para o utilizador. Este tipo de

rotação, embora limitativo por só permitir rotações em torno de dois eixos, acaba por retirar a complexidade de mais um eixo, sendo na mesma possível colocar as peças com a orientação pretendida. No entanto, não sendo óbvio sobre qual eixo a rotação será efectuada ou que rotações efectuar para compensar o eixo não disponível, nem sempre a interacção acaba por ser simples. Menos complexo é o LSketchIt, permitindo apenas rotações segundo um eixo vertical. Apesar de bastante limitativo, para alguns casos é o suficiente, acabando por retirar o esforço cognitivo necessário à identificação do eixo sobre o qual se pretende efectuar a rotação.

As rotações oferecidas pelo MLCad, embora bem explícitas em botões na interface, perdem na naturalidade precisamente por ser necessário utilizá-los, originando uma quebra na fluidez da interacção. A rotação de peças do LeoCAD, apesar de possuir rotações segundo os três eixos e permitir rotações de forma completamente livre, acaba por ser confusa e faz com que seja complicado colocar a peça com a orientação pretendida.

Finalmente, no que se refere à manipulação da câmara, a simplicidade do LEGO Digital Designer volta a sobressair. Orbitando em torno do modelo e sem inclinações, é fácil obter o ângulo de visualização que se deseja. Sendo que o LeoCAD oferece três tipos de rotações diferentes da câmara, a função de orbitar semelhante ao LEGO Digital Designer foi a mais requerida pelos utilizadores durante os testes, provando-se que esta abordagem é a que melhor cumpre o objectivo. As restantes abordagens nesta aplicação serviram apenas para causar uma certa confusão. O LSketchIt utiliza exclusivamente a função de orbitar do LeoCAD para rodar a câmara, indo de encontro às preferências dos utilizadores.

Ainda relativamente ao LeoCAD, a movimentação da câmara é demasiado sensível, ao contrário da função de aproximação, o que originou a frustração dos utilizadores, obrigando-os a recorrer ao botão que centra o modelo na vista. O MLCad apresenta uma utilização simples com as suas vistas, evitando grande parte da manipulação da câmara. O problema destas vistas, como já foi dito, é a falta de naturalidade na interacção para o utilizador comum.

No que concerne a pesquisa de peças, o LEGO Digital Designer apresenta-se mais eficiente que os restantes, como comprovado pelos testes com utilizadores. O facto de se basear nas imagens de peças, até para os grupos, ajuda a passar a sensação de procurar peças LEGO. No entanto, poderia melhorar expondo de forma mais clara as dimensões das peças, já que existem muitas peças semelhantes que diferem apenas em tamanho e, numa imagem pequena, essa diferença nem sempre é notória. De forma semelhante, as imagens representativas dos grupos podem não ser completamente explícitas do seu conteúdo.

As aplicações que baseiam a procura das peças por nome, como o LeoCAD e o MLCad, são mais práticas quando se sabe o nome, mas, com excepção dos testes realizados e de utilizadores

peritos, estes nomes não são conhecidos pelos utilizadores, o que pode originar frustração na procura das peças. O MLCad apresenta a vantagem de apresentar o conteúdo dos grupos por imagens, imagens essas que, por vezes, são demasiado pequenas para serem compreendidas e, seleccionando uma peça na lista textual, a lista com imagens desloca-se de forma a mostrar a peça seleccionada, mas sem ser claro de qual das peças apresentadas se trata.

O SR 3D Builder não se destaca de forma alguma, possuindo os grupos e as peças listados de forma semelhante ao MLCad, mas sem peças identificadas por nome. O LSketchIt possui um detalhe interessante na listagem das peças parecidas com o esboço feito, dotando as peças listadas de uma animação na qual são rodadas, de modo a dar a entender melhor que peças são.

Todas as aplicações de criação de modelos LEGO discutidas foram desenvolvidas tendo em conta dispositivos de interacção tradicionais, com excepção do LSketchIt, que possui uma interface caligráfica. Nenhuma foi pensada para uma interacção multi-toque de média/grande dimensão.

3.4 Sumário e Discussão Crítica

Foram estudadas abordagens para os principais desafios subjacentes ao trabalho constante neste documento. São estes desafios a manipulação de objectos e controlo da câmara em ambientes tridimensionais, utilizando superfícies multi-toque.

Para a movimentação de objectos tridimensionais em superfícies deste tipo, das várias técnicas estudadas, as propostas de Hancock et al. com os Sticky Fingers [HtCC09] e Martinet et al. com a Z-Technique [MCG10a] são as que aparecam ser mais naturais, proporcionando um controlo da posição do objecto de forma clara, utilizando um mapeamento claro entre as dimensões do *input* e os graus de liberdade manipulados. Estas duas técnicas são muito semelhantes entre si, diferindo no gesto utilizado para regular a profundidade do objecto em relação à câmara.

Para definir a orientação das peças, a abordagem de Reisman et al. [RDH09] é a que oferece mais liberdade, embora seja precisamente este aspecto que a prejudica. Como demonstrado em [MCG10b], é conveniente separar a manipulação da posição e da orientação. Mais, como se verificará nos testes descritos na secção 4.1, os utilizadores preferem um controlo independente das rotações em torno de cada eixo. Assim, de entre as abordagens propostas para a rotação das peças, a de Hancock et al. com os Sticky Fingers e o Opposable Thumb [HtCC09] aparenta ser a mais adequada, garantindo que a esta seja independente da translação.

Problema comum às técnicas de Hancock et al. e Martinet et al. é o facto de terem sido desenvolvidas para cenários com vistas perpendiculares a um dos eixos do referencial da cena. Será necessário apurar a melhor forma de as utilizar em ambientes nos quais o utilizador é livre de

orientar a câmara como preferir.

Na movimentação da câmara, dado que as abordagens estudadas diferem no seu cenário de utilização, a proposta de Decle et al. [DHG09] é a que melhor se adequa à visualização de modelos 3D. No entanto, esta abordagem visa apenas a visualização, não sendo claro como se poderá conjugar com a manipulação de objectos. Por outro lado, algumas das abordagens existentes, como o controlo da câmara presente no LEGO Digital Designer, podem ser transpostas para interacções multi-toque, sendo possível combiná-las com um vocabulário gestual familiar ao utilizador, como o *pan* e o *zoom* apresentados por Wobbrock e Wilson [WMW09].

Pretendendo-se abordar este desafio com recurso ao cenário de blocos de construção, verificou-se que não existe ainda nenhuma aplicação destinada à modelação de LEGO utilizando superfícies multi-toque de médias/grandes dimensões. Para determinar os aspectos principais a ter em consideração no cenário em questão, foram analisados os programas destinados à construção de modelos LEGO utilizando paradigmas de interacção convencionais. Aqui, o LEGO Digital Designer salientou-se, sendo o que melhor transmite o *look-and-feel* da construção de LEGO tradicional. As suas abordagens simples para procurar peças, colocá-las no modelo e manipular tanto as peças como a câmara foram as que se demonstraram mais práticas e familiares.

Através da análise efectuada e apresentada neste capítulo, definiram-se as técnicas a utilizar como ponto de partida deste trabalho, que, como referido, visa identificar a melhor abordagem para manipular objectos tridimensionais em superfícies multi-toque. Os aspectos principais a considerar em aplicações para construção de modelos LEGO foram também tidos em conta no desenvolvimento do protótipo que serviu de base ao estudo.

Capítulo 4

Aplicação LEGO Multi-toque

Para desenvolver uma aplicação que possua uma interacção natural com objectos tridimensionais numa superfície multi-toque, é necessário criar uma arquitectura que a suporte e definir o vocabulário gestual que servirá de base à interacção. Neste capítulo focar-se-ão alguns detalhes da aplicação desenvolvida, utilizada para o estudo da manipulação de objectos.

4.1 Estudo de Ferramentas Actuais

Com o objectivo de identificar a melhor abordagem a seguir no desenvolvimento de uma aplicação de construção de modelos LEGO virtuais, começou-se por analisar as soluções actuais. Estas foram descritas na Secção 3.3 e baseiam-se no tradicional paradigma de interacção WIMP.

4.1.1 Avaliação com Utilizadores

Para uma mais correcta identificação dos principais aspectos a ter conta na criação de uma aplicação de construção LEGO, foi efectuado um conjunto de testes com utilizadores. Nestes testes foram avaliadas três das mais vulgarmente utilizadas aplicações de LEGO: LEGO Digital Designer, MLCad e LeoCAD. A avaliação contou com a presença de vinte e um participantes, com diferentes formações e idades compreendidas entre os nove e os cinquenta e cinco anos.

No início da sessão, foram apresentadas as principais características de cada aplicação, seguindo-se uma fase de treino, na qual os utilizadores interagiam livremente com a aplicação durante três minutos. Concluída esta fase, foi solicitado aos utilizadores que efectuassem uma tarefa em cada uma das aplicações. A tarefa consistia em construir um modelo simples, ilustrado na Figura 4.18,

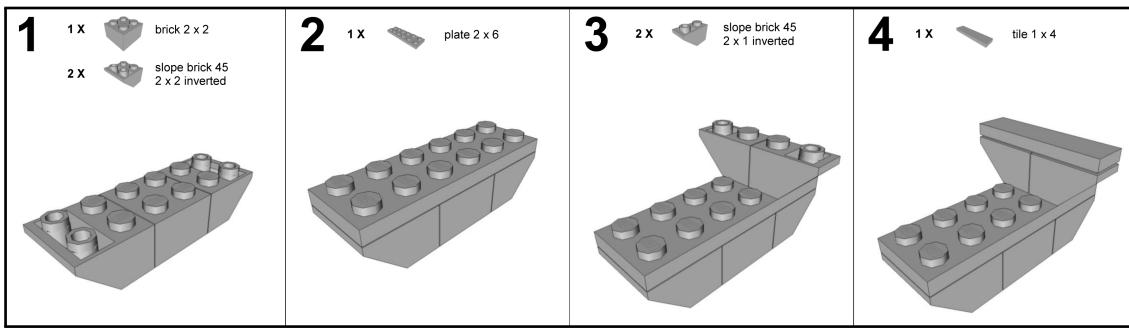


Figura 4.18: Modelo LEGO a ser construído pelos utilizadores na comparação de aplicações.

a qual implicava procurar, seleccionar, manipular (movendo e rodando) e colocar várias peças. Para contornar a aprendizagem da tarefa por parte dos utilizadores, foi seleccionada uma ordem aleatória das aplicações para cada um.

Durante a construção do modelo, foi solicitado aos utilizadores que pensassem alto (*think aloud*), de modo a que fosse possível entender melhor quais as principais dificuldades encontradas. Visto o principal objectivo consistir em identificar o que mais cativa e desagrada aos utilizadores, não foram consideradas medidas de desempenho, uma vez que são incompatíveis com o método de observação utilizado.

Uma vez completada a tarefa nas três aplicações, cada utilizador preencheu um pequeno questionário sobre a experiência de utilização. Era objectivo deste questionário avaliar a preferência dos utilizadores em relação a vários aspectos das aplicações, nomeadamente a pesquisa e manipulação de peças e controlo da câmara. O questionário consistia num primeiro conjunto de questões para identificação do perfil do utilizador, seguido por uma secção de avaliação das aplicações utilizando uma escala de Likert com quatro valores e uma questão de resposta aberta para que os utilizadores pudessem deixar comentários para cada aplicação.

4.1.2 Análise dos Resultados

Os resultados das questões quantitativas presentes no questionário foram sujeitos a uma avaliação estatística, sendo que as classificações das aplicações para cada aspecto se revelaram significativamente diferentes. A análise dos resultados mostrou que o LEGO Digital Designer foi a aplicação que mais agradou aos utilizadores, seguida pelo MLCad e, por fim, pelo LeoCAD. Esta última sofreu avaliações negativas para todos os aspectos com excepção da pesquisa das peças. Em [MF10] estão detalhados os resultados obtidos e a respectiva análise. As principais vantagens e desvantagens de cada aplicação estão sumariadas na Tabela 4.3.

LDD	<ul style="list-style-type: none"> + Procura de peças por imagens + Sistema de colocação das peças + Rotação das peças com intervalos de 90º + Câmara simples que orbita à volta do modelo - Apenas dois eixos para a rotação das peças - Inexistência de informação sobre que eixo de rotação está a ser utilizado
MLCad	<ul style="list-style-type: none"> + Vistas ortogonais boas para utilizadores experientes + Eixos de rotação das peças claramente identificados + Rotação das peças segundo três eixos + Rotação das peças com intervalos de 90º - Vistas ortogonais más para utilizadores inexperientes - Grupos de peças identificados textualmente - Não impede sobreposição de peças - Implica utilizar botões na interface para rodar as peças
LeoCAD	<ul style="list-style-type: none"> + Rotação das peças segundo três eixos - Procura de peças por nome - Não impede sobreposição de peças - Permite rotações das peças à volta de mais que um eixo simultaneamente - Rotação das peças com intervalos de 30º - Controlos de câmara frustrantes, com excepção da função de orbitar - Necessidade constante de utilizar botões da interface

Tabela 4.3: Aplicações LEGO testadas - principais vantagens (+) e desvantagens (-).

O estudo apresentado revelou que os utilizadores esperam um sistema que simule o comportamento das peças no mundo real, contribuindo para uma interacção mais natural com a aplicação. Por exemplo, convém evitar que duas peças se sobreponham, ocupando a mesma posição, e será desejável que as suas posições sejam adaptadas a uma grelha. Por outro lado, foi possível compreender que demasiada liberdade pode originar frustração nos utilizadores, como foi o caso do LeoCAD, que permitia rotações das peças segundo três eixos simultaneamente.

4.1.3 Conclusões do Estudo

Através da análise da avaliação quantitativa e qualitativa efectuada pelos utilizadores, tanto através do que foi respondido no questionário como o que foi referido durante a execução das tarefas, foram identificados factores importantes a considerar no desenvolvimento de uma aplicação que permita a visualização de modelos e a manipulação de peças LEGO. Vários destes factores podem também ser válidos noutras contextos de modelação e/ou manipulação tridimensional.

Com as conclusões apresentadas, foi possível desenvolver uma solução que tire partido dos pontos positivos encontrados nas aplicações estudadas, aliando-os com a naturalidade de interacção proporcionada pelas superfícies multi-toque.

4.2 LTouchIt

Para que fosse possível alcançar uma solução para o desafio da manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque, foi criado um protótipo completamente funcional, de seu nome LTouchIt, para a construção de modelos LEGO. Com esta aplicação foi possível implementar diferentes técnicas tanto para a translação como para a rotação das peças LEGO, os objectos considerados para o estudo. O LtouchIt foi desenvolvido especificamente para uma superfície horizontal multi-toque de grandes dimensões, como é visível na Figura 4.19.

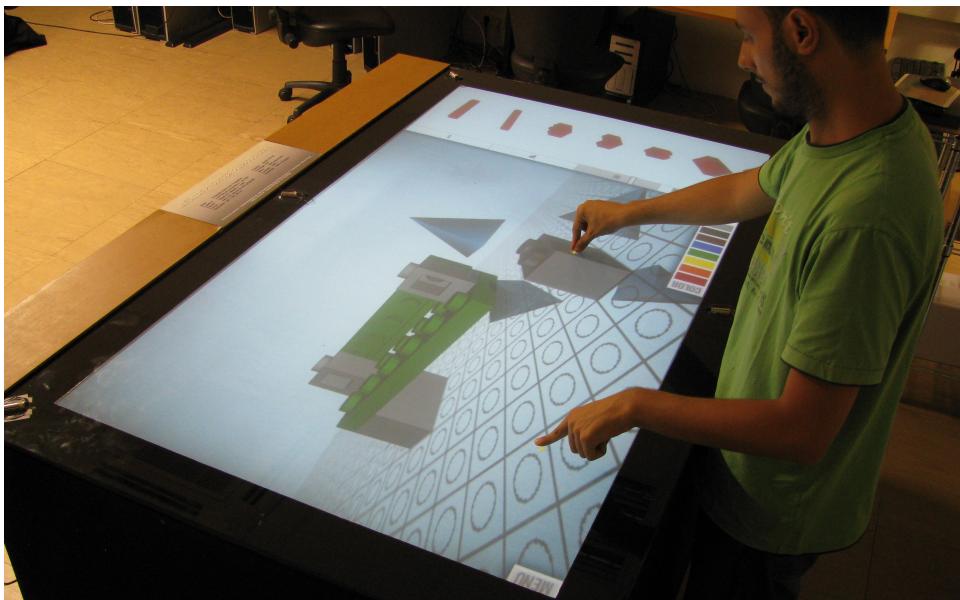


Figura 4.19: LTouchIt a ser executado numa mesa multi-toque de grandes dimensões.

Para obter a informação relativa às peças LEGO, a aplicação utiliza o standard definido pelo LDraw. O LDraw é um *standard* aberto para programas de criação de modelos de LEGO virtual e que disponibiliza livremente uma vasta biblioteca de peças para a comunidade. Desta forma, todas as construções efectuadas na aplicação podem ser abertas em qualquer outra que seja compatível com o formato. De igual modo, o LTouchIt é capaz de apresentar modelos construídos noutras aplicações.

4.3 Arquitectura Utilizada

No desenvolvimento da aplicação LTouchIt, foi seguida a arquitectura ilustrada na Figura 4.20. O trabalho produzido no âmbito desta dissertação consistiu em implementar os módulos destacados a preto, sendo que os restantes são soluções já existentes e disponibilizadas para a comunidade.

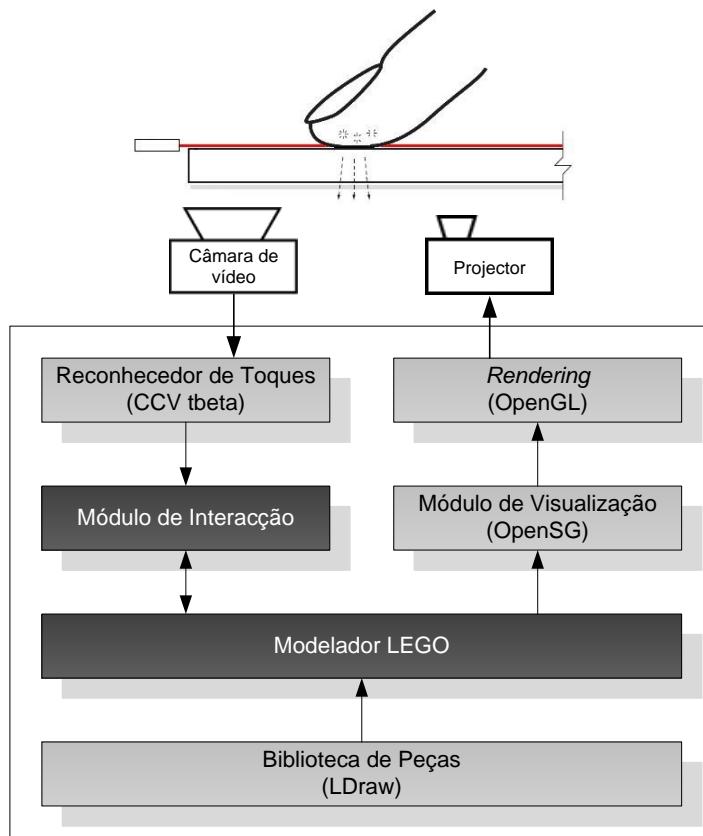


Figura 4.20: LTouchIt - arquitectura utilizada.

O módulo destinado à interacção do utilizador com a aplicação é o mais relevante para o trabalho, uma vez que é neste que é neste que as diferentes abordagens para a manipulação dos objectos foram implementadas. Este módulo recebe as posições dos dedos do utilizador reconhecidas e enviadas pelo reconhecedor de toques (*tracker*), tendo-se utilizado o CCV tbeta¹, e analisa as diversas alterações dos toques do utilizador. Assim, este componente é o responsável por determinar os gestos efectuados pelo utilizador e quais as suas acções pretendidas.

As acções identificadas são então transferidas para o modelador de LEGO. Este é o núcleo da

¹CCV tbeta, <http://ccv.nuigroup.com/>, visitado em 18 de Agosto de 2011.

aplicação e é onde toda a sua lógica está programada. Este módulo contém também todas as peças de LEGO disponíveis, bem como os detalhes das peças utilizados no modelo que está a ser construído, nomeadamente a posição, a orientação e a cor, e informação relativa à câmara.

Todos os dados relacionados com a cena, incluindo a representação das peças utilizadas, a sua posição, orientação e informações sobre a visualização, é armazenada usando OpenSG¹, um sistema de grafos de cena *open source* desenvolvido para criar aplicações com gráficos tridimensionais gerados em tempo real. Este empreende a conversão para primitivas OpenGL, com as quais se pode dar origem ao processo de renderização, por parte do sistema gráfico do computador. A imagem gerada é então projectada na superfície de interacção e apresentada ao utilizador.

A informação respeitante à geometria das peças a serem utilizadas no modelador é proveniente da biblioteca de peças LDraw.

4.4 Conjunto de Peças Suportado

Para a manipulação e visualização das diferentes peças de LEGO utilizadas na aplicação LTouchIt, estas tiveram de ser convertidas do seu formato original em LDraw para um que ofereça funcionalidades como transformações e renderização. Para este efeito, optou-se por trabalhar com OpenSG, sendo que a conversão entre estes formatos se encontra descrita com detalhe no Anexo B.

Apesar da biblioteca LDraw conter mais de três mil e quinhentas peças, nem todas foram consideradas na aplicação desenvolvida. Esta medida foi tomada com o objectivo de reduzir a complexidade da solução implementada, uma vez que o foco principal deste trabalho é estudar a manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque, e não suportar a total diversidade de peças.

Foram descartadas todas as peças que contêm geometrias com polígonos incorrectamente especificados. Entende-se por polígonos incorrectamente especificados aqueles que possuem pontos não co-planares, ângulos não convexos e/ou vértices definidos por uma ordem incorrecta. Foram apenas aceites peças que, para além do referido, suportem algum tipo de recorte de faces traseiras (*back-face culling*) e que utilizam apenas a cor pré-definida do LDraw, de forma a que a peça seja toda colorida por igual. Sempre que uma peça inclua alguma sub-parte que não cumpra com os requisitos apresentados, será ela também descartada.

No total de peças disponíveis do LDraw, mais de oitocentas cumprem com as exigências definidas a nível de desenho. Por mor de simplificação da adaptação à grelha, fundamental para

¹OpenSG: <http://www.opensg.org>, visitado em 8 de Agosto de 2011.

transmitir a sensação de manipulação de blocos LEGO, foram apenas consideradas peças cujo tamanho fosse múltiplo de uma unidade de encaixe. Da lista resultante de mais de quinhentas peças, foram escolhidas noventa e quatro peças ditas banais, de modo a evitar a surpresa dos utilizadores perante peças que consideravam estranhas, como aconteceu em alguns programas analisados. Analogamente, e para simplificar a interacção no momento de definir a cor das peças, foram escolhidas dez cores básicas, entre as quais uma transparente.

4.5 Processamento de Toques

Como referido na arquitectura, a solução final utiliza o reconhecedor de toques CCV tbeta. No entanto, foi também implementado um conversor de toques que utiliza o standard do Windows 7, convertendo-o em mensagens TUOI, idênticas às enviadas pelo CCV tbeta. Assim, foi possível tornar a solução compatível com os dispositivos tácteis que estão a surgir no mercado, cuja detecção de toques segue apenas o protocolo da Microsoft.

Para detectar as alterações nos toques do utilizador, foi desenvolvida uma biblioteca em C++ que recebe os pacotes TUOI, analisa-os e identifica que toques foram iniciados, terminados ou alterados desde a última comunicação. São então geradas mensagens do Windows, não muito diferentes das mensagens nativas do sistema operativo que informam dos eventos de rato ou teclado, utilizadas para notificar a aplicação de cada uma destas modificações de forma independente e explícita.

4.6 Interface Utilizador

A interface da aplicação LTouchIt está ilustrada na Figura 4.21. É na área central que a construção dos modelos é executada, sendo aqui que o utilizador pode manipular as peças. É apresentada uma grelha que ajuda a guiar o utilizador na construção, permitindo uma melhor compreensão do modelo e das posições das peças. A grelha adapta-se quando necessário, expandindo e contraíndo sempre que as peças são movidas na área de construção. Esta grelha assemelha-se a uma placa tradicional de LEGO, ajudando os utilizadores a colocar as peças, as quais se movem em intervalos de uma unidade, adaptando-se a estas unidades.

O painel vertical do lado direito contém todas as peças disponíveis. O utilizador pode navegar pela lista arrastando-a para cima ou para baixo. Esta lista utiliza o conceito de aceleração (*kinect scroll*) presente na grande maioria das aplicações sensíveis ao toque e que permite um deslocamento da lista mais rápido e natural. Dentro do painel, as peças estão organizadas por grupos,

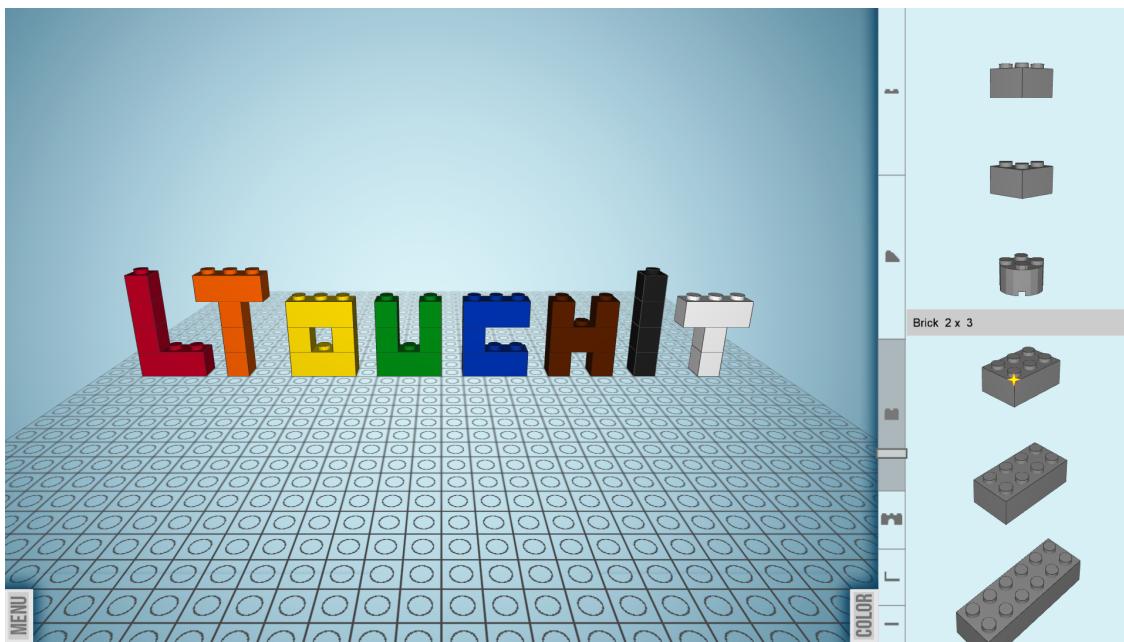


Figura 4.21: LTouchIt - interface utilizador.

facilitando a sua pesquisa. Uma barra de deslocamento (*scroll bar*) permite aos utilizadores acederem rapidamente a um determinado grupo tocando na sua identificação visual - um pequeno ícone que ilustra o tipo de peças que podem ser encontradas dentro do grupo. A barra permite ainda saltar imediatamente para uma posição específica dentro do grupo, se o utilizador assim o entender.

Para utilizar uma determinada peça, o utilizador pode escolhê-la na lista e arrastá-la para a posição desejada. Analogamente, para remover uma peça da zona de construção, o utilizador pode arrastá-la de volta para o painel com a lista de peças. Adicionalmente, mantendo um toque numa peça da lista, será apresentada informação sobre a peça em questão, designadamente o seu nome e dimensão, como presente na Figura 4.21.

Na parte inferior da interface existem duas barras de ferramentas, as quais podem ser expandidas, como estão visíveis na Figura 4.22, e minimizadas. A barra da esquerda contém as funcionalidades habituais de uma aplicação e a barra do lado direito é uma paleta de cores, a qual pode ser usada para mudar a cor de uma peça utilizada no modelo ou de todas as presentes na lista de peças.

Analizando a interface desenvolvida, verifica-se que várias directrizes para o desenho de aplicações para superfícies interactivas foram seguidas, nomeadamente: foi maximizada a área interactiva (77% da área é dedicada à construção de modelos); a mão dominante foi tida em consideração, uma vez que tal proporciona mais conforto e ergonomia durante a interacção; e

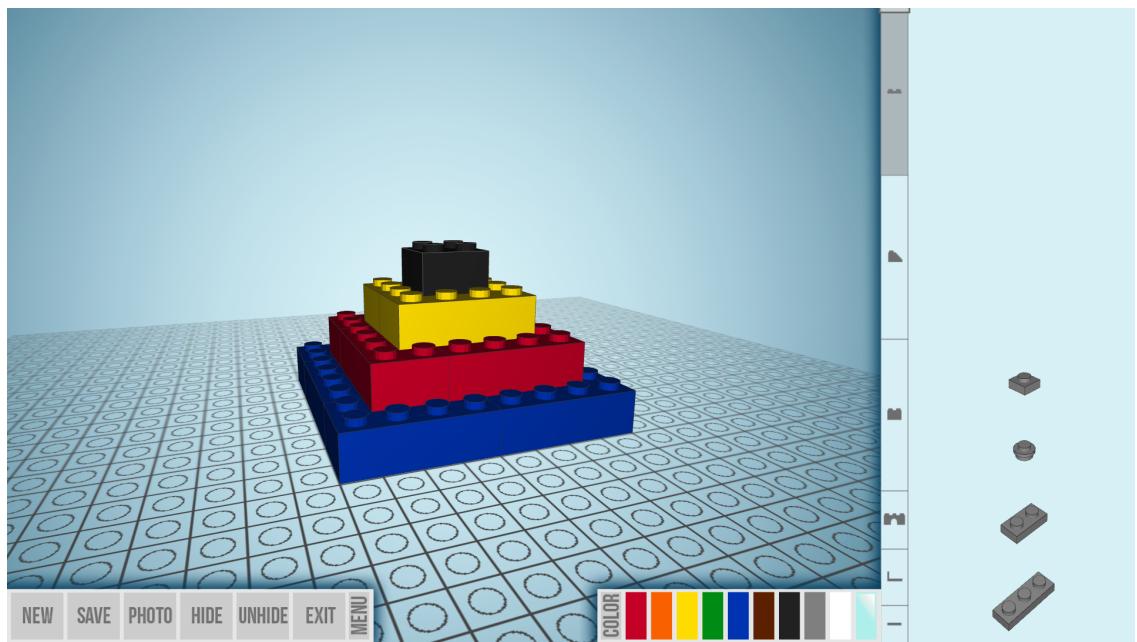


Figura 4.22: LTouchIt - barras de ferramentas expandidas.

os elementos gráficos têm uma dimensão apropriada, o suficiente para serem tocados, mas não ocupando espaço excessivo de forma a minimizar a oclusão da área de trabalho.

4.7 Modo Fotográfico

Uma das funções presentes na barra de ferramentas do lado esquerdo é o denominado modo fotográfico (*photo-mode*), ilustrado na Figura 4.23. Quando seleccionado, este modo oculta a lista de peças e as barras de ferramentas, fazendo com que a área do modelo ocupe toda a superfície. Destinando-se exclusivamente à visualização do modelo construído, quando em modo fotográfico todas as manipulações de peças são desactivadas, mantendo-se o controlo da câmara. Adicionalmente, com o objectivo de tornar a imagem mais realista, o desenho das linhas que contornam as peças é desactivado e é projectada uma sombra do modelo, cuja direcção da fonte de luz é determinada pelo vector de visualização aquando da activação do modo.

4.8 Sumário

Neste capítulo começou-se por apresentar um comparativo entre as três aplicações de LEGO virtuais mais vulgarmente utilizadas, efectuado junto dos utilizadores. Este estudo permitiu identificar os principais aspectos que os utilizadores esperam de uma aplicação deste tipo, servindo

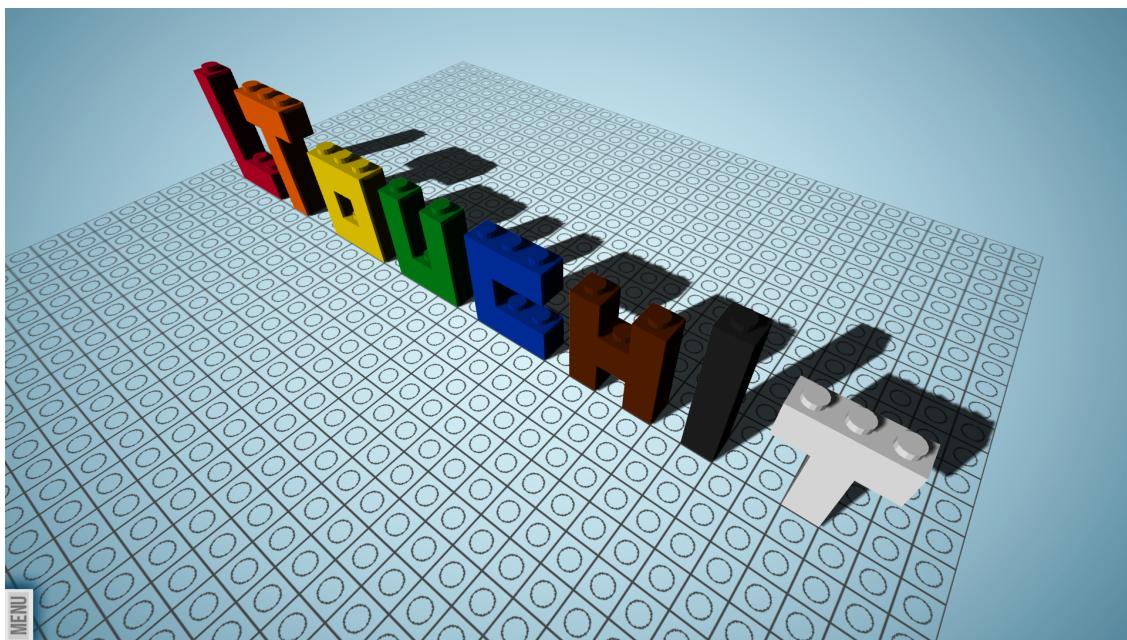


Figura 4.23: LTouchIt - modo fotográfico activo.

como base ao desenvolvimento da aplicação LTouchIt. Esta aplicação foi também apresentada, assim como a arquitectura sobre a qual foi implementada e os seus principais componentes. Por fim, foi explicada a interface concebida, com relevo para cada um dos seus elementos, as suas funcionalidades e como cumpre as directrizes para o desenvolvimento de aplicações multi-toque.

A aplicação LTouchIt, desenvolvida para permitir a construção de modelos LEGO em superfícies multi-toque, suportou o estudo da manipulação de objectos tridimensionais nestas superfícies. Sendo este o foco principal deste trabalho, foi com esta aplicação que se tornou possível a implementação de diferentes abordagens e efectuar as respectivas avaliações.

Capítulo 5

Manipulação de Objectos e Câmara

O foco deste trabalho consiste na manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque, em cenários cuja visualização seja feita segundo um plano livre, cuja direcção de visualização não seja necessariamente paralela com um dos eixos do referencial da cena. Existem já diversas abordagens para a manipulação de objectos, mas estas, em geral, pecam por não terem sido desenvolvidas em conjunto com uma câmara que o utilizador oriente livremente.

Neste capítulo pretende-se estudar a forma de manipular objectos tridimensionais de forma simples e natural, não obstante de providenciar ao utilizador o livre controlo da câmara. Foram usados blocos de construção LEGO virtuais como objectos de estudo, garantindo que o utilizador possa visualizar o modelo a ser construído do ponto de vista que preferir. Para que tal seja possível, para além de desenvolvidas e analisadas abordagens para a translação e rotação de peças, propõem-se formas de controlar a câmara no ambiente tridimensional.

Adicionalmente, são referidas abordagens criadas para outras acções específicas do contexto escolhido, as quais poderão ser aplicáveis noutras cenários. No entanto, ao contrário das abordagens para a manipulação de objectos, estas não foram alvo de um estudo exaustivo.

5.1 Metodologia

Com o objectivo de determinar a melhor abordagem para a manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque, utilizando pontos de vista sem restrições, começou-se por desenvolver três técnicas para a translação e outras três para a rotação, todas baseadas em soluções existentes. Estas foram avaliadas por vinte utilizadores, de forma a identificar-se quais as mais eficientes e que mais lhes agradam. No caso das translações, a Z-Technique [MCG10a] foi também

incluída na comparação, para que se pudesse comprovar a assunção de que técnicas que utilizam um plano de interacção paralelo à vista não são eficazes para o cenário em consideração. As abordagens desenvolvidas estão sumarizadas na Tabela 5.4, bem como os trabalhos nos quais foram baseadas, e descritas nas próximas secções. Informação detalhada sobre a avaliação efectuada com utilizadores encontra-se na Secção 6.1.

	Técnicas	Baseadas em
Translação	Orthogonal Horizontal-Z Plane-Switch Grab'N Translate	[HCV ⁰⁶] [MCG10a] [HCV ⁰⁶] Orthogonal e Plane-Switch
Rotação	Camera-Defined-Axis User-Defined-Axis Rotation-Handles	[HCV ⁰⁶] [HtCC09] [CSH ⁹²]

Tabela 5.4: Técnicas desenvolvidas para a manipulação de objectos, com referência das quais derivam.

Para as técnicas relativas à translação de objectos seguiram-se duas abordagens distintas. Por um lado, com a técnica **Horizontal-Z**, tentou-se adaptar a Z-Technique a planos de visualização livres. Por outro, com as técnicas **Orthogonal** e **Plane-Switch**, pretendeu-se controlar não mais de duas dimensões de cada vez, diferindo no modo como se selecciona o plano de translação. A **Orthogonal** recorre a um plano perpendicular a um dos eixos da cena, sendo utilizado o mais próximo do plano de visualização. A **Plane-Switch** utiliza um plano horizontal, podendo o utilizador alterá-lo para um vertical. Estas duas, após a avaliação por utilizadores, deram origem à técnica **Grab'N Translate**, que alia a utilização do plano de translação mais apropriado considerando a posição da câmara, com a possibilidade do utilizador alternar entre planos horizontais e verticais sem necessidade de rodar a câmara.

No que diz respeito à rotação, cada uma das técnicas desenvolvidas seguiu uma abordagem diferente. Na técnica **Camera-Defined-Axis** procurou-se adaptar a Rotate-Scale-Translate (RST) a um ambiente tridimensional. Com a técnica **User-Defined-Axis** limitou-se a Opposable Thumb a eixos de rotação coincidentes com o referencial da cena. Com a **Rotation-Handles** transpôs-se para o multi-toque uma técnica que recorre a manipuladores virtuais e ao uso de rato.

5.2 Translação de Objectos 3D

Para movimentar as peças no espaço foram inicialmente desenvolvidas três técnicas, e posteriormente uma quarta, que se podem utilizar em cenários com pontos de vista livres. Estas técnicas

foram baseadas em soluções existentes. De forma a manter uma relação clara entre o *input* bidimensional de cada toque e a translação efectuada, em todas as abordagens o movimento de um toque nunca manipula mais de dois graus de liberdade.

5.2.1 Técnica *Orthogonal*

A técnica **Orthogonal** é baseada na técnica RST [HCV⁺06], utilizada para translações bidimensionais. Para a aplicar a um ambiente tridimensional, é seleccionado o plano ortogonal a um dos eixos, cuja direcção da normal é a mais próxima do vector de visualização actual. Assim, arrastando um objecto, este é movido nesse plano, como demonstrado na Figura 5.24.

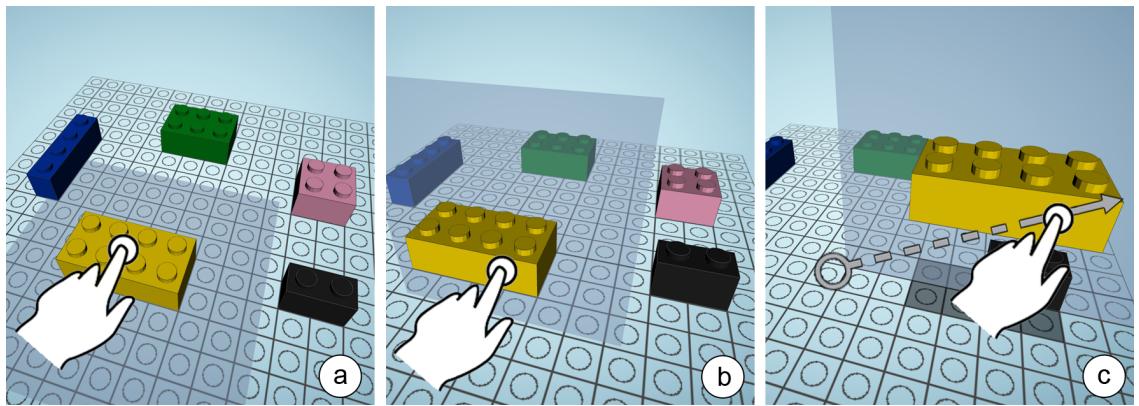


Figura 5.24: Técnica Orthogonal para a translação de objectos: plano de translação horizontal numa vista que se aproxima de uma de topo (a); plano de translação vertical para uma mais próxima de uma frente (b); e translação de objecto no plano vertical (c).

Para mover o objecto num plano diferente, o utilizador terá de rodar a câmara até que o plano desejado seja aquele com o menor ângulo em relação ao plano de visualização. Para indicar qual o plano de translação actual, é apresentado um quadrado azul que o identifica. Desta forma consegue-se aplicar a simplicidade de uma interacção bidimensional a cenário tridimensional.

5.2.2 Técnica *Horizontal-Z*

Uma outra abordagem, que derivou da Z-Technique [MCG10a], é a **Horizontal-Z**, ilustrada na Figura 5.25. Esta, em detrimento de deslocar o objecto num plano paralelo à vista através do arrastar de um toque, como é feito na Z-Technique, utiliza um plano horizontal. O deslocamento vertical de um segundo toque serve para manipular a profundidade do objecto em relação ao utilizador, à semelhança da técnica original. Embora apenas restasse controlar a altura com o segundo toque, uma vez que o primeiro move o objecto num plano horizontal, foi mantida a regulação da profundidade para que objecto nunca deixe de estar em contacto com o primeiro

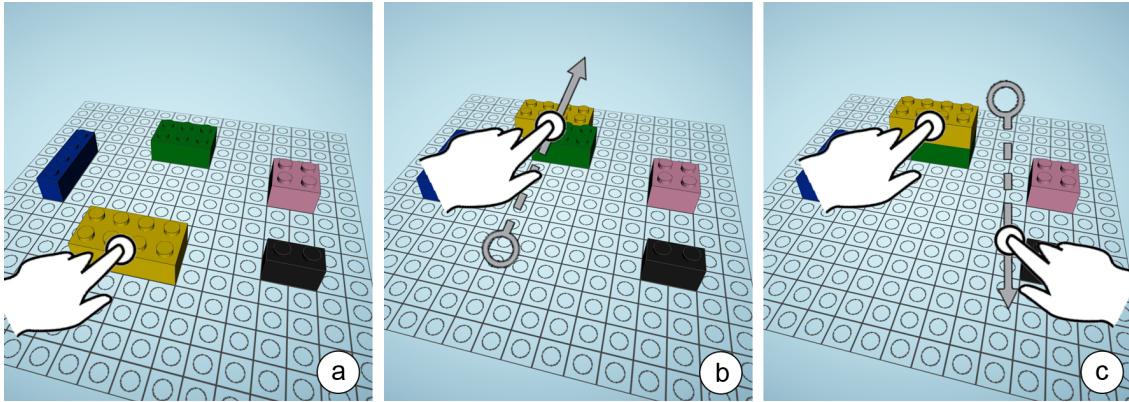


Figura 5.25: Técnica Horizontal-Z para a translação de objectos: um toque desloca o objecto num plano horizontal (a e b); e um segundo toque define a profundidade do objecto (c).

toque. De forma a melhorar a percepção da posição do objecto, é projectada uma sombra do objecto que se está a mover.

5.2.3 Técnica *Plane-Switch*

A última das abordagens iniciais no que diz respeito à translação de objectos foi denominada de **Plane-Switch**. Esta baseia-se, tal como a técnica **Orthogonal**, no algoritmo RST [HCV⁺06]. A diferença consiste em utilizar um plano horizontal para a movimentação do objecto quando arrastado por um toque do utilizador. Tal como na **Orthogonal**, o plano de translação é representado por um quadrado azul. Um segundo toque neste quadrado permite alterar o plano para um vertical, como é visível na Figura 5.26.

O plano de translação vertical utilizado será perpendicular a um dos eixos do referencial da cena, sendo utilizado aquele com o menor ângulo em relação ao vector de visualização. Assim, o

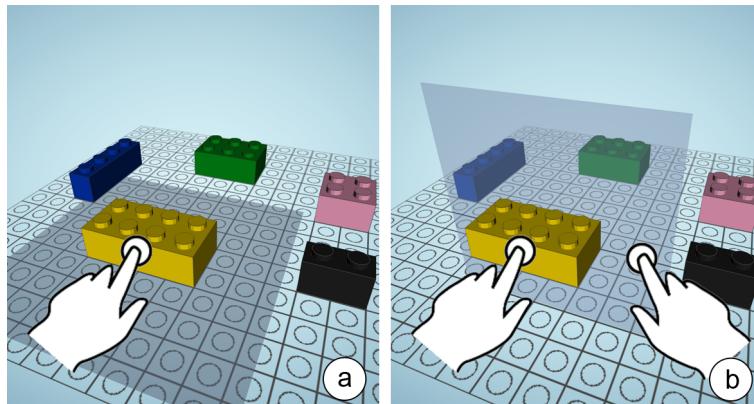


Figura 5.26: Técnica Plane-Switch para a translação de objectos: inicialmente é utilizado um plano de translação horizontal (a); com um toque, o plano é alterado para um vertical (b).

utilizador tem a possibilidade de movimentar o objecto segundo os três eixos sem ter de mudar a câmara, nunca controlando mais de 2 graus de liberdade simultaneamente.

5.2.4 Solução Adoptada - Técnica *Grab'N Translate*

Com base no estudo das técnicas anteriores, desenvolveu-se a técnica **Grab'N Translate** para obter uma interacção natural e familiar para manipular objectos, os blocos de construção LEGO. A solução afasta-se do tradicional conceito de selecção, a qual se baseia em arrastar um objecto com um único dedo. Utilizou-se um gesto para agarrar os objectos, idêntico ao gesto de agarrar um objecto no mundo real. Este gesto consiste em juntar dois dedos, de forma semelhante ao *pinch* de Wobbrock et al. [WMW09] para escalar objectos. Após agarrar o objecto, o utilizador pode movê-lo, sem o largar, como exemplificado na Figura 5.27.

Os resultados da avaliação das abordagens, com utilizadores, para a translação de objectos descritas, definiram que as abordagens **Orthogonal** e **Plane-Switch** foram as mais eficientes e preferidas, sem diferenças significativas entre elas. Na solução **Grab'N Translate**, estas duas abordagens foram combinadas numa só, sendo possível agregar as suas vantagens e colmatar as suas falhas.

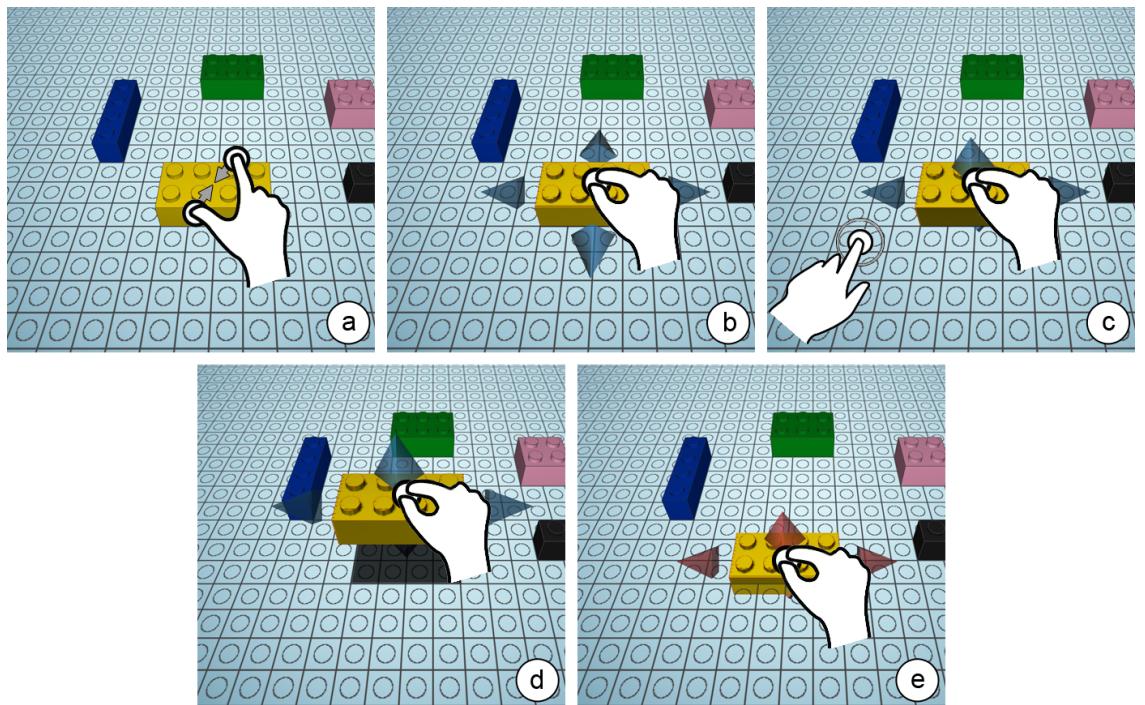


Figura 5.27: Solução adoptada para a translação de objectos - Técnica *Grab'N Translate*: agarrar um objecto (a); plano de translação identificado pelas setas azuis (b); plano de translação alternado entre horizontal e vertical (c); sombra do objecto (d); e setas vermelhas indicando que o objecto está abaixo da grelha (e).

Assim, após agarrar um objecto (Figura 5.27.a), o utilizador pode movimentá-lo num plano perpendicular a um dos eixos, definido pela câmara (Figura 5.27.b), permitindo ao utilizador tirar o maior partido da vista actual. Se o utilizador pretender usar outro plano de translação, não é obrigado a rodar a câmara. Em vez disso, pode efectuar um toque rápido (*tap*) para alternar entre um plano horizontal ou vertical (Figura 5.27.c).

O quadrado azul utilizado para identificar o plano de translação tanto na técnica **Orthogonal** como na técnica **Plane-Switch**, foi, nesta abordagem, trocado por quatro setas azuis (Figura 5.27.d). Estas indicam as direcções de translação possíveis, dando um retorno visual mais explícito ao utilizador. Para oferecer retorno visual sobre a localização do objecto relativamente à grelha, quando o objecto a atravessa, passando a estar abaixo desta, as setas passam a ter a cor vermelha (Figura 5.27.e). A sombra do objecto agarrado continua a ser projectada (Figura 5.27.d), de modo a transmitir uma melhor noção de profundidade ao utilizador.

5.3 Rotação de Objectos 3D

No que se refere à rotação de objectos, foram desenvolvidas três técnicas, posteriormente avaliadas com utilizadores. À semelhança das técnicas para a translação, também estas tiveram origem em soluções existentes. Em todas as abordagens apresentadas, apenas é permitido rodar o objecto segundo um eixo de cada vez, algo que se verificou desejável aquando do estudo comparativo com utilizadores de aplicações LEGO, constante na Secção 4.1.

5.3.1 Técnica *Camera-Defined-Axis*

A técnica **Camera-Defined-Axis** é baseada no algoritmo RST [HCV⁺06]. Ao contrário das restantes técnicas para a rotação de objectos apresentadas, esta permite efectuar translações simultaneamente, sendo apenas possível utilizá-la em combinação com a técnica **Orthogonal**. Neste caso, um primeiro toque é utilizado para mover o objecto de acordo com o plano de translação definido pela câmara. Um segundo toque é utilizado para rodar o objecto no mesmo plano, sendo utilizada a normal ao plano como eixo de rotação e o primeiro toque como centro da rotação (Figura 5.28). Para rodar o objecto em torno de outro eixo, o utilizador terá de mudar a vista.

5.3.2 Técnica *User-Defined-Axis*

Partindo da técnica Opposable Thumb [HtCC09], foi desenvolvida a **User-Defined-Axis**. As principais diferenças em relação à abordagem de Hancock et al. é que a rotação é feita segundo

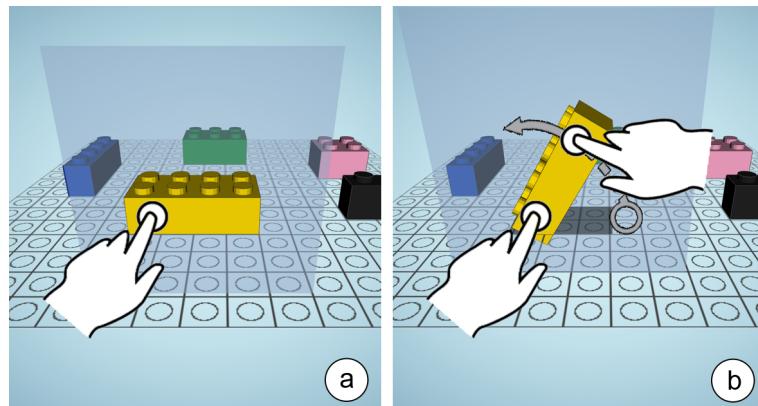


Figura 5.28: Técnica Camera-Defined-Axis para a rotação de objectos: um toque é utilizado para o centro da rotação e um segundo toque efectua a rotação.

um eixo paralelo ao eixo dos XX, YY ou ZZ da cena e o centro do objecto é o centro da rotação. O eixo de rotação utilizado é aquele que for mais próximo do definido pelos dois toques do utilizador. O movimento de um terceiro toque, que tem de ser iniciado no objecto que se pretende manipular, efectua a rotação, como ilustrado na Figura 5.29. Desta forma é possível definir o eixo de rotação de forma directa, sem recorrer a ferramentas virtuais, assim como usar eixos de rotação perceptíveis pelo utilizador.

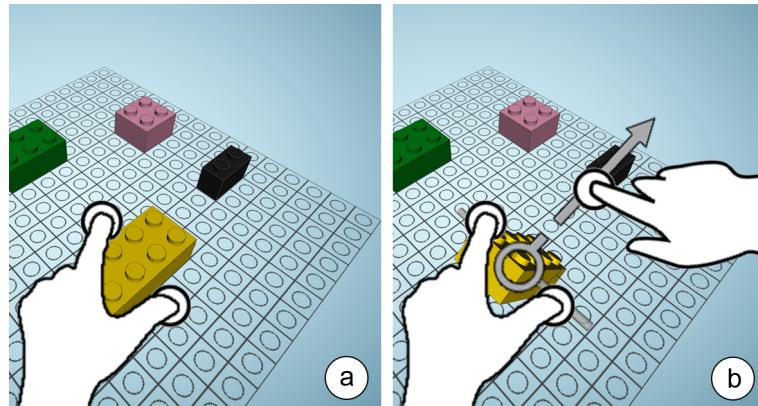


Figura 5.29: Técnica User-Defined-Axis para a rotação de objectos: eixo de rotação definido (a); e rotação efectuada (b).

5.3.3 Técnica *Rotation-Handles*

Por último, adaptou-se o conceito de manipuladores (*handles*) virtuais [CSH⁺92], tendo-se desenvolvido a técnica **Rotation-Handles**. Quando pretende rodar um objecto, o utilizador, mantendo um toque no mesmo, activa os manipuladores. Estes consistem em três cilindros paralelos ao

referencial da cena, que identificam os possíveis eixos de rotação. Na extremidade de cada cilindro existe uma esfera para facilitar a sua selecção. O utilizador pode então seleccionar a esfera correspondente ao eixo de rotação desejado com um toque e, com um segundo toque, arrastar uma segunda esfera para efectuar a rotação, como retratado na Figura 5.30. À semelhança da técnica **User-Defined-Axis**, o centro da rotação é o centro do objecto.

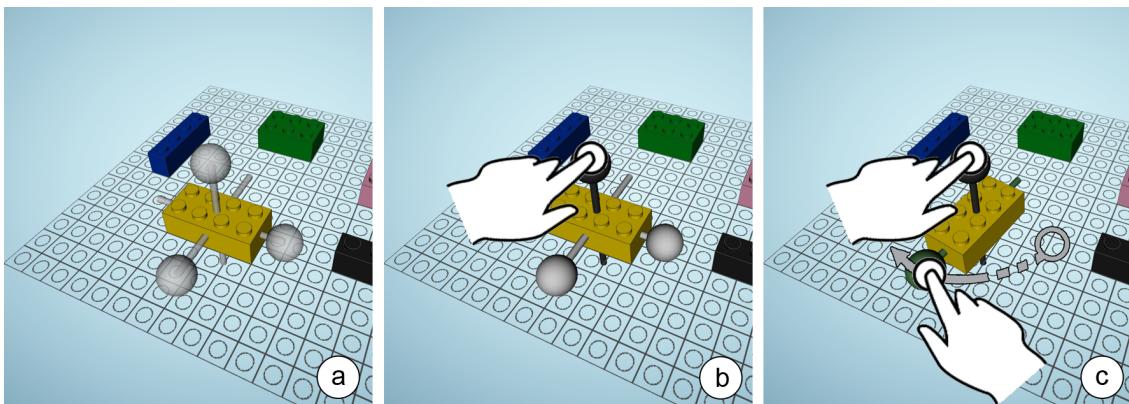


Figura 5.30: Técnica Rotation-Handles para a rotação de objectos: manipuladores activos (a); eixo de rotação seleccionado (b); e rotação efectuada (c).

5.3.4 Solução Adoptada - Técnica *Rotation-Handles Revista*

Através da avaliação com utilizadores das técnicas apresentadas, foi possível observar que a **Rotation-Handles** supera as restantes. Esta técnica obteve um desempenho melhor junto dos utilizadores, uma vez que é capaz de fornecer o retorno visual mais comprehensível que as restantes sobre o eixo de rotação, reduzindo o tempo necessário para o alterar. Tal deve-se ao facto do utilizador não necessitar de mudar a vista, como acontece com a **Camera-Defined-Axis**, ou definir o eixo manualmente, como no caso da **User-Defined-Axis**.

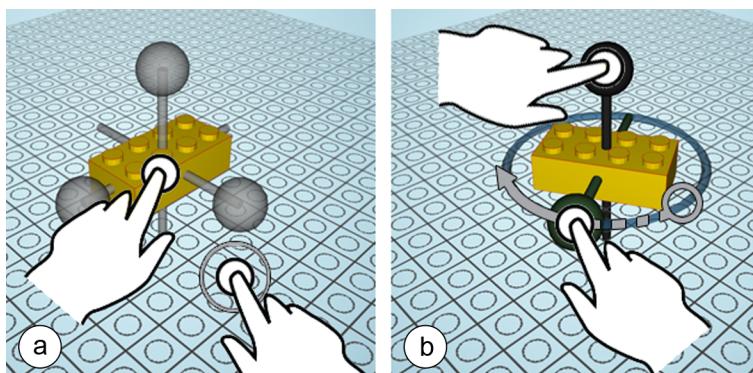


Figura 5.31: Solução adoptada para a rotação de objectos - Técnica Rotation-Handles: manipuladores activos (a); e rotação efectuada (b).

Assim, as **Rotation-Handles** foram integradas na versão final do protótipo LTouchIt. Para facilitar a compreensão sobre qual a rotação em torno de um determinado eixo, foi adicionado um *torus* no qual as esferas se movimentam (Figura 5.31.b). Para tornar os eixos visíveis, o utilizador terá de efectuar um toque rápido (*tap*) algures na superfície, enquanto toca no objecto que pretende rodar (Figura 5.31.a), facilitando a sua utilização conjunta com a técnica **Grab'N Translate**.

5.4 Acções Específicas

A manipulação de objectos tridimensionais, nomeadamente a translação e rotação, é o principal tópico de estudo deste trabalho. No entanto, o protótipo LTouchIt oferece muitas potencialidades e, com o objectivo de enriquecer a sua experiência de utilização, algumas foram exploradas. Assim sendo, foram implementadas acções que se podem efectuar sobre as peças de LEGO virtuais, os objectos utilizados no estudo. Estas acções consistem em clonar peças ou modificar algumas das suas propriedades, como cor ou visibilidade. Estas acções poderão ser aplicadas noutras contextos, que não o de LEGO, e são descritas nas secções seguintes.

5.4.1 Clonar

Se o utilizador pretender utilizar uma peça igual a uma já colocada na cena, é possível duplicá-la, ou cloná-la, de modo a que sejam preservadas as suas propriedades, como a cor e as rotações. Desta forma, é possível obter a peça desejada mais rapidamente, sem necessidade de a procurar na lista e efectuar as alterações pretendidas.

Foi seguida uma metáfora para clonagem baseada em tocar e agarrar, como demonstrado na Figura 5.32, semelhante à proposta de Frish et al. [FHD09] para duplicar nós de um diagrama. O gesto destes autores consiste em fixar o objecto que se pretende duplicar com um dedo da mão não-dominante e mover o mesmo objecto com a mão dominante. No caso das peças LEGO, a acção será despoletada aquando do gesto de agarrar, antes de mover. Feito isto, será criada uma nova peça, em tudo igual à primeira, e colocada por baixo da mão dominante do utilizador. Como se verificou, por vezes, ser difícil tocar e agarrar um objecto com dimensões reduzidas, se o gesto de agarrar for efectuado fora do objecto tocado, este será na mesma duplicado.

5.4.2 Colorir

Em modelação é usualmente necessário alterar propriedades dos objectos. No contexto em questão, uma das vantagens do LEGO virtual, face ao tradicional, consiste na possibilidade de

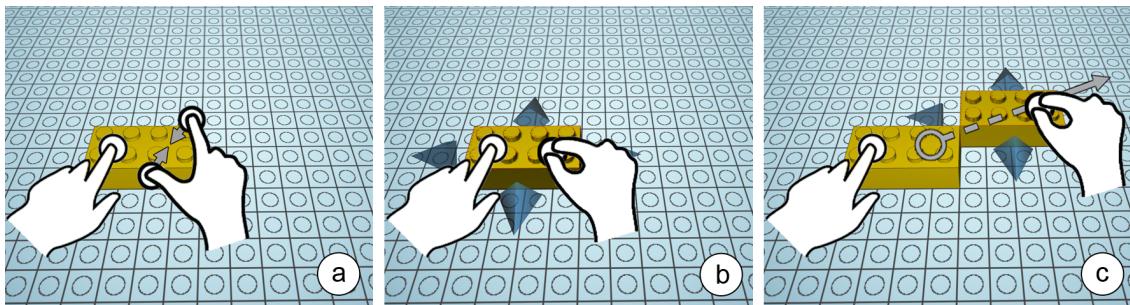


Figura 5.32: Solução proposta para duplicar, ou clonar, um objecto.

trocar a cor de uma peça, em vez de ter de ir procurar uma peça igual à utilizada, mas da cor desejada. Para abordar esta questão foi utilizada a paleta descrita na Secção 4.6. Esta paleta serve dois propósitos: pintar uma determinada peça, já presente no modelo, ou alterar a cor de todas as peças presentes na lista.

Caso seja efectuado um toque apenas na cor, esta será aplicada às peças constituintes da lista. Por outro lado, se o utilizador tocar simultaneamente numa cor e numa peça, essa peça passará a ter essa cor. Desta forma é possível colorir várias peças de seguida, mantendo um toque na cor e movimentando outro toque na cena, pintando todas as peças com as quais entra em contacto, como se de um pincel se tratasse (Figura 5.33). Analogamente, mantendo um toque numa peça e efectuando vários toques sequencialmente em diversas cores permite experimentar rapidamente as diversas cores na peça tocada.

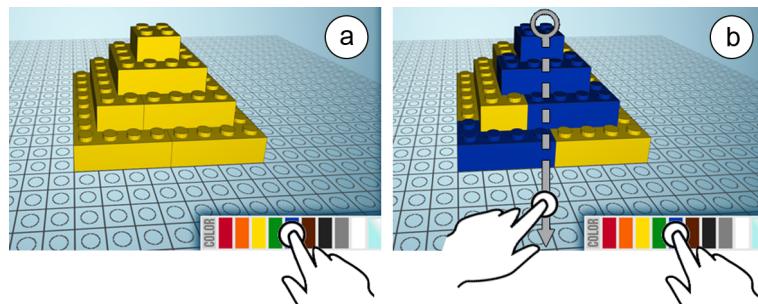


Figura 5.33: Solução proposta para colorir peças: um toque selecciona a cor desejada (a); e outro toque actua como um pincel, pintando todas as peças com que entra em contacto (b).

5.4.3 Ocultar

Outra funcionalidade útil em ferramentas de modelação, e que marca presença em diversas aplicações de construção de LEGO virtual, é a capacidade de ocultar objectos que estejam a dificultar outras acções num determinado momento. Tal também foi considerado, sendo possível ocultar peças temporariamente. Usando uma aproximação semelhante à descrita para escolher

a cor de uma dada peça, o utilizador pode seleccionar a opção *Hide* da barra de ferramentas e, mantendo um toque nesta opção, tocar nas peças que pretende ocultar. Seleccionando a opção *Unhide* todas as peças ocultadas passam a estar visíveis novamente.

De salientar que esta técnica, tal como a anterior, podem facilmente ser transpostas para outros contextos, possibilitando a alteração de outras propriedades dos objectos, como por exemplo o material. Basta que, para isso, o toque associado com a cor ou a função de ocultar seja alterado para a modificação pretendida.

5.5 Manipulação da Câmara

Num cenário de manipulação de objectos tridimensionais num ambiente virtual é fulcral proporcionar um controlo do ponto de vista sobre a cena, um que o utilizador possa movimentar livremente. Inicialmente, foi transposto o método de manipulação da câmara da aplicação LEGO Digital Designer para utilização multi-toque, o qual se mostrou ser do agrado dos utilizadores, como referido na Secção 4.1. Apesar de não ter sido realizada nenhuma avaliação centrada na manipulação da câmara, várias observações foram efectuadas nas sessões de avaliação, onde as abordagens a seguir apresentadas estiveram presentes e foram experimentadas por utilizadores.

5.5.1 Abordagem Inicial

Numa primeira etapa foram implementadas soluções que permitissem orbitar a câmara à volta de um ponto, aproximar/afastar (*zoom*) e mover (*pan*). Com um toque era possível orbitar, como ilustrado na Figura 5.34. O movimento horizontal do toque originava uma rotação em torno de um eixo vertical (Figura 5.34.b), e o movimento vertical provocava uma rotação em torno de um eixo horizontal contido no plano de visualização (Figura 5.34.c). Um toque com movimento horizontal e vertical origina uma rotação em torno de ambos os eixos (Figura 5.34.d).

De forma a evitar potenciais confusões ao utilizador, durante uma rotação em torno de um eixo horizontal, não se permite aumentar o ângulo da mesma após se ter alcançado um vector de visualização vertical. Pelo mesmo motivo, não se permite também inclinar a câmara, visto que os utilizadores não apreciaram tal possibilidade, presente em duas das aplicações testadas.

Aquando desta implementação, era utilizada a Z-Technique [MCG10a] para a manipulação de objectos no protótipo. Por forma a diminuir o léxico de interacção, foi utilizado o mesmo gesto de aproximar e afastar objectos para aproximar e afastar a câmara utilizando o movimento vertical de um segundo toque (Figura 5.35.b), dependendo se o utilizador estava a manipular um objecto

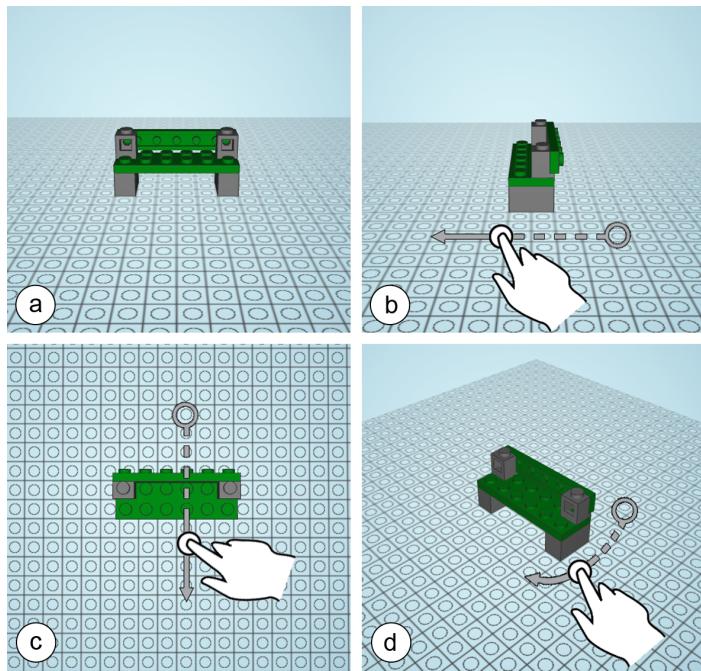


Figura 5.34: Proposta inicial para orbitar a câmara: situação inicial (a); rotação em torno de um eixo vertical (b); rotação em torno de um eixo horizontal (c); e rotação em torno dos dois eixos simultaneamente (d).

ou a câmara com o primeiro toque. Assim, o utilizador tinha a possibilidade de rodar a câmara com uma mão e efectuar operações de aproximação com a outra.

A terceira opção para a manipulação da câmara implementada foi a de *pan*. Esta acção efectuava-se arrastando todos os dedos da mão sobre a superfície na direcção pretendida, como demonstrado na Figura 5.35.c. Por limitações do *hardware* utilizado, o qual nem sempre é capaz de detectar toques demasiados próximos, a acção era despoletada assim que fossem detectados quatro toques simultâneos.

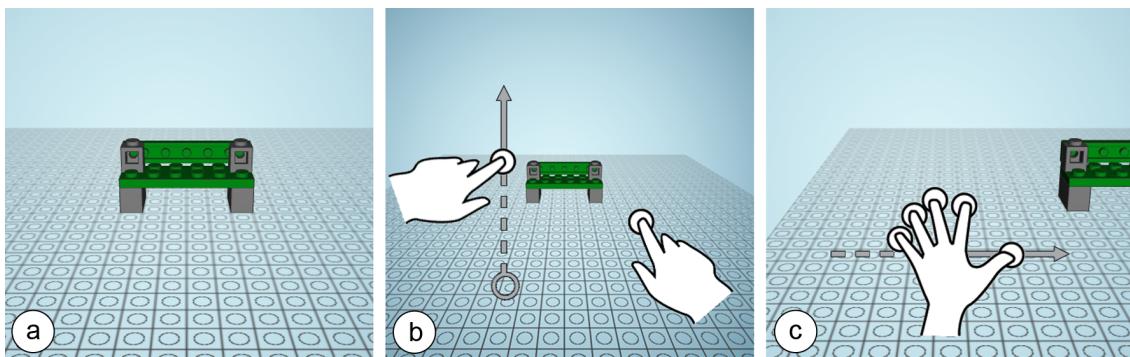


Figura 5.35: Proposta inicial para aproximar/afastar e mover a câmara: situação inicial (a); afastar (b); e *pan* (c).

5.5.2 Observações Recolhidas

A abordagem inicial supra descrita, para o controlo da câmara, foi utilizada na avaliação de técnicas para a manipulação de objectos tridimensionais, com utilizadores, detalhada na Secção 6.1. Sendo que esta sessão de avaliação não se focou na câmara, de modo a não sobrecarregar os utilizadores em demasia, foram apenas registadas observações sobre a experiência destes a manipularem a vista durante a realização das tarefas solicitadas.

Em relação à funcionalidade de orbitar, a abordagem utilizada cumpriu as expectativas dos utilizadores. A única excepção a isto foi o facto de alguns utilizadores, por vezes, tentaram efectuar a operação utilizando dois toques paralelos, geralmente com movimentos verticais.

A função de *zoom*, embora tenha sido apresentada aos utilizadores como descrita acima, raramente foi utilizada dessa forma. Os utilizadores usavam os dois toques, mas movimentavam-nos em sentidos opostos, como é feito em várias aplicações com ambientes bidimensionais. Visto que na maioria das vezes o movimento do segundo toque também tinha uma componente vertical, a aproximação era na mesma efectuada, cumprindo as expectativas, embora o primeiro toque provocasse um deslocamento da câmara.

A operação de *pan* apresentou o resultado esperado. O único aspecto negativo a apontar foi o facto de ser despoletada inadvertidamente por diversas ocasiões. Tal deveu-se ao facto de várias das técnicas de manipulação de objectos testadas recorrerem a três toques simultâneos e da mesa utilizada reconhecer toques de dedos que, embora não tocando na superfície, se encontram muito próximos.

Paralelamente à realização do trabalho apresentado neste documento, foi efectuado um outro no qual se pretendeu aliar a interacção multi-toque à utilização de canetas digitais para criar modelos tridimensionais a partir de esboços [LMdAJ11], no âmbito do projecto MIVis. Neste trabalho, uma vez que o toque único estava destinado à selecção de objectos e manipulação de parâmetros, foram utilizados dois toques para orbitar, sendo a sua distância usada para aproximar e afastar. Foi utilizada a mesma solução de quatro ou mais toques para mover a câmara.

Este trabalho foi também ele sujeito à avaliação com utilizadores, na qual foi possível observar, entre outras coisas, a adequação da solução utilizada para a manipulação da câmara. Verificou-se que orbitar com dois toques pode ser pouco natural quando se utilizam dedos da mesma mão para efectuar movimentos horizontais, caso se use o indicador e o dedo médio, ou para movimentos verticais, utilizando-se o indicador e o polegar.

As técnicas utilizadas para aproximar/afastar e mover a câmara cumpriram as expectativas das utilizadores sem nada a assinalar, exceptuando eventuais apontamentos relativos à sua utilização

quando combinada com uma caneta, o que não faz parte do âmbito do trabalho deste mestrado.

Em ambas as avaliações com utilizadores referidas, existiram alguns casos pontuais de utilizadores que, para a rotação da câmara, tentaram utilizar o gesto de rotação do algoritmo RST (ou *two-point rotation and translation* [HCV⁺06]). Tal denota a familiaridade que os utilizadores já possuem com este gesto, muito utilizado na interacção multi-toque com ambientes bidimensionais.

5.5.3 Solução Adoptada

Tendo em conta as observações recolhidas e apresentadas, alguns dos gestos da abordagem inicial foram revistos e outros acrescentados. Foram mantidas as acções disponíveis, tendo-se adicionado a possibilidade de centrar o modelo.

Na solução final, orbitar a câmara pode ser feito com um toque, como descrito inicialmente (Figura 5.36.b), ou com dois toques. Estes podem ser paralelos, apresentando o comportamento de um toque (Figura 5.36.b), ou semelhantes à técnica RST, sendo a variação do ângulo do vector formado pelos toques mapeada para uma rotação em torno de um eixo vertical (Figura 5.36.c).

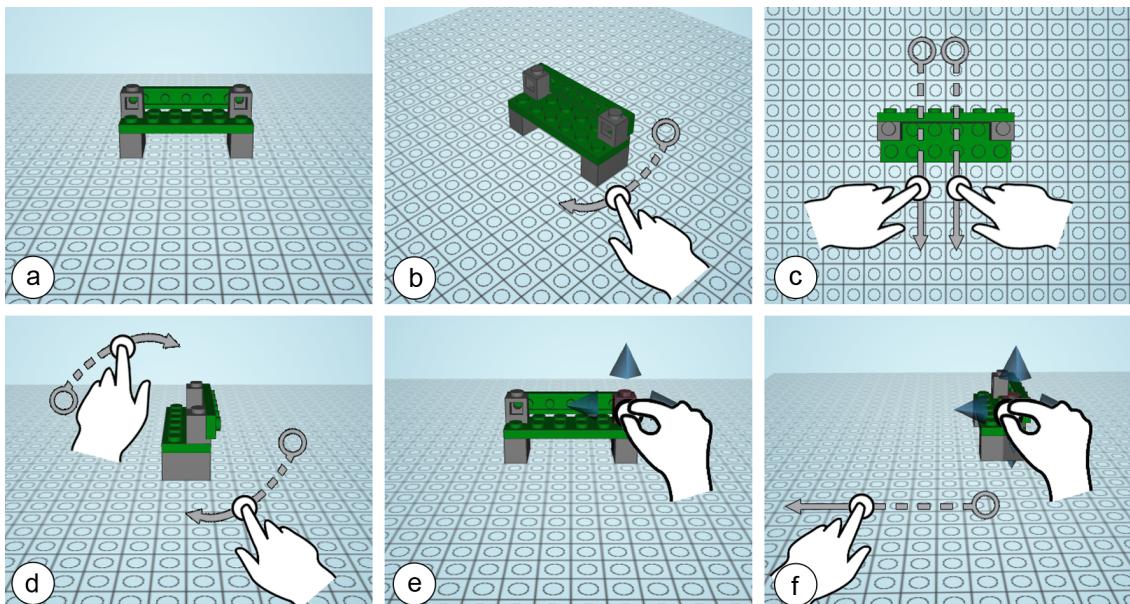


Figura 5.36: Solução adoptada para orbitar a câmara: situação inicial (a); orbitar com um toque (b); orbitar com dois toques num movimento paralelo (c); orbitar com dois toques num movimento circular (d); e alterar o plano de translação enquanto movendo um objecto (e e f).

Com o objectivo de proporcionar uma interacção mais fluída, foi adicionada a possibilidade de rodar a câmara enquanto movendo um objecto. Desta forma, o utilizador pode mudar a vista com uma mão, deslocando um objecto agarrado com a outra. Mais, o plano de translação é mudado de acordo com a nova perspectiva, facilitando a translação de objectos em diferentes

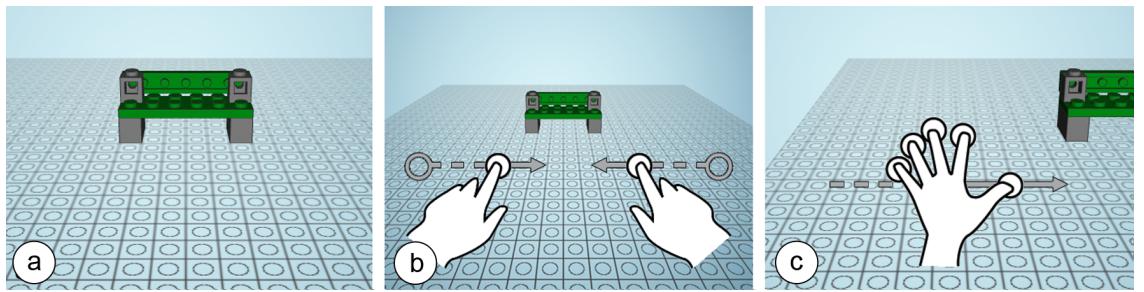


Figura 5.37: Solução adoptada para aproximar/afastar e mover a câmara: situação inicial (a); afastar através da variação da distância entre dois toques (b); e mover (c).

planos, como é visível na Figura 5.36.f. Durante este processo, o objecto permanece sempre em contacto com os dedos do utilizador que iniciaram a sua manipulação.

Usando dois toques, para além de rodar a câmara, o utilizador pode aproximar e afastar a câmara. Para isto é utilizada a variação da distância entre os toques usada pelo algoritmo *two-point rotation and translation* [HCV⁺06], sendo que um aumento da distância entre os toques aproxima a câmara e uma diminuição afasta (Figura 5.37.b).

Para mover a câmara (*pan*), são utilizados quatro ou mais toques, sendo assumido que se trata da mão completa do utilizador como na abordagem inicial (Figura 5.37.c), com a ressalva dos quatro toques terem de estar próximos, evitando-se assim algumas eventuais activações acidentais.

Para agilizar alguns movimentos da câmara, foi acrescentada a funcionalidade de centrar a vista num determinado ponto, como demonstrado na Figura 5.38. Estando o utilizador a mover a câmara com uma mão, pode utilizar um dedo da outra mão para tocar no ponto, do modelo ou da grelha, que pretende centrar. Um toque num espaço vazio da área de construção, sem blocos nem grelha, coloca a vista no centro do modelo.

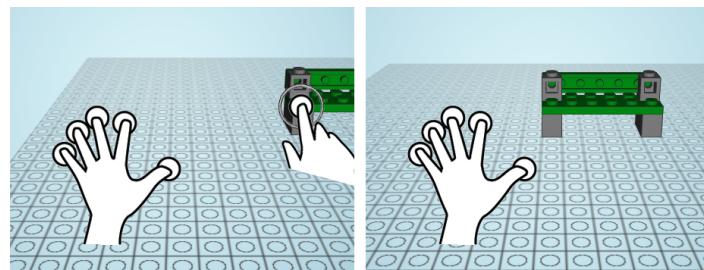


Figura 5.38: Solução proposta para centrar o modelo num ponto específico: tocar no ponto enquanto em modo de mover a câmara.

A função de centrar a vista foi inspirada na ScrutiCam [DHG09], que aparenta ser útil na visualização de modelos. Aliou-se a possibilidade de centrar a câmara no ponto desejado com as restantes interacções existentes no protótipo desenvolvido, como o aproximar, afastar e rodar a câmara de forma livre, sendo que tal não é suportado pela ScrutiCam.

5.6 Sumário

O foco principal do trabalho contido nesta dissertação consiste na manipulação de objectos tridimensional em cenas sem restrições na sua visualização, utilizando uma interacção multi-toque. Neste capítulo foram apresentadas várias abordagens para o desafio em causa, tanto no que se refere à translação como à rotação, tendo-se utilizado propostas existentes como ponto de partida. Estas abordagens, após terem sido sujeitas a avaliação por utilizadores, deram origem à solução adoptada e integrada na aplicação LTouchIt.

Para a translação, foram criadas as abordagens **Orthogonal**, **Plane-Switch** e **Horizontal-Z**, com base em propostas existentes. Além disso, foram combinadas as técnicas **Orthogonal** e **Plane-Switch**, criando-se a técnica **Grab'N Translate**. A **Horizontal-Z** baseia-se na Z-Technique, utilizando um plano de translação horizontal. Com a **Orthogonal** e a **Plane-Switch** controlam-se não mais de duas dimensões em simultâneo. Com a **Orthogonal** é utilizado um plano de translação perpendicular a um dos eixos da cena, sendo definido pela orientação da câmara. Na **Plane-Switch** é utilizado um plano horizontal, podendo o utilizador alterá-lo para um vertical. Estas duas últimas originaram a **Grab'N Translate**, que consiste em utilizar um plano de translação igual ao da **Orthogonal** e a possibilidade de alternar entre planos, como a **Plane-Switch**.

No que concerne à rotação, a técnica **Camera-Defined-Axis** utilizou o já provado RST, aplicando-o a um ambiente tridimensional. A **User-Defined-Axis** partiu da Opposable Thumb, recorrendo exclusivamente a eixos de rotação coincidentes com os do referencial da cena. Por último, a **Rotation-Handles**, que foi revista para a solução adoptada, utilizou o conceito de *handles* virtuais para definir o eixo e a amplitude da rotação.

Foram também descritas algumas acções específicas para o cenário considerado de blocos de construção (duplicar, colorir e ocultar peças), as quais poderão eventualmente ser aplicadas em diferentes contextos. Estas acções, visto não terem sido estudadas de forma aprofundada, beneficiarão de futura avaliação.

Para abordar o desafio deste trabalho, foi fundamental implementar mecanismos de controlo da câmara sem restrições. Começou-se por desenvolver uma solução inicial, a qual foi aperfeiçoada através de observações recolhidas em vários momentos de avaliação por utilizadores. Na solução proposta estão contidas as acções de orbitar, aproximar/afastar, mover e centrar a câmara.

As soluções propostas, tanto para manipulação de objectos como da câmara, foram incluídas na aplicação LTouchIt. Esta foi sujeita a mais uma avaliação por utilizadores, na qual foi comparada com outros sistemas de modelação LEGO, com o objectivo de comprovar as abordagens escolhidas e a naturalidade da interacção.

Capítulo 6

Avaliação

Durante a realização do trabalho constante deste documento, envolveram-se utilizadores em diversas etapas, captando-se as suas preferências e opiniões. Assim, foi possível ir de encontro às suas expectativas, relevantes no processo de identificar a interacção mais natural com objectos tridimensionais em superfícies multi-toque. Contou-se com a participação dos utilizadores em três momentos: um comparativo de aplicações LEGO existentes; a avaliação das técnicas para a manipulação de objectos desenvolvidas; e a validação da solução adoptada.

Inicialmente, foram testadas e comparadas três das aplicações de LEGO virtual mais vulgarmente utilizadas. Com estes testes, apresentados na Secção 4.1, identificaram-se os principais aspectos a ter em consideração para o desenvolvimento do protótipo LTouchIt, descrito na Secção 4.2.

Este protótipo suportou o estudo de técnicas de manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque. Foram implementadas diversas técnicas com este objectivo, tendo sido consideradas a translação e a rotação dos objectos. Estas técnicas foram comparadas entre si, numa sessão de avaliação por utilizadores.

Após a avaliação das técnicas para a manipulação de objectos, desenvolveu-se uma proposta de solução que aborda tanto a translação como a rotação dos objectos. Esta solução foi, no final, sujeita a um processo de validação junto dos utilizadores, no qual foi avaliada relativamente à sua facilidade de utilização e comparada com duas aplicações de modelação LEGO que recorrem ao paradigma WIMP. Nesta validação final estiveram também presentes propostas de técnicas de interacção para o controlo da câmara e outras acções, como colorir, duplicar e procurar peças. Estas foram sujeitas a um processo de avaliação menos exaustivo durante o seu desenvolvimento que as técnicas de manipulação de objectos, visto não se tratar do desafio central deste trabalho.

6.1 Avaliação de Técnicas para Manipular Objectos

Na primeira versão do protótipo de modelação LEGO, foram implementadas várias abordagens para a translação e rotação das peças. Esta versão do protótipo permitia manipular peças já presentes na cena, rodando-as e movendo-as sem qualquer tipo de restrição. Era também possível efectuar operações sobre a câmara, sendo elas: orbitar à volta do modelo, aproximar/afastar e mover.

6.1.1 Técnicas Avaliadas

Foram implementadas, nesta versão do protótipo LTouchIt, quatro técnicas para a translação e três para as rotações, presentes na Tabela 6.5. Para a translação das peças, foi implementada, para além das técnicas **Orthogonal**, **Horizontal-Z** e **Plane-Switch** (descritas na Secção 5.2), a Z-Technique. No que se refere à rotação das peças, foram incluídas as técnicas **Camera-Defined-Axis**, **User-Defined-Axis** e **Rotation-Handles**, explicadas na Secção 5.3.

Translação	Rotação
Orthogonal	Camera-Defined-Axis
Horizontal-Z	User-Defined-Axis
Plane-Switch	Rotation-Handles
Z-Technique	

Tabela 6.5: Técnicas de manipulação de objectos implementadas e utilizadas na avaliação por utilizadores.

A Z-Technique foi incluída para verificar a dificuldade da utilização de um plano de translação perpendicular ao de visualização, nos casos em que este plano não é perpendicular a nenhum dos eixos da cena. A técnica Sticky Fingers não foi utilizada, devido ao facto de ser uma técnica muito semelhante à Z-Technique, diferindo apenas no gesto para manipular a profundidade do objecto. Para além disso, a técnica Sticky Fingers necessita de dois toques no objecto para efectuar a referida acção, enquanto que a Z-Technique requer apenas um, adequando-se melhor a objectos que possam aparecer pequenos no ecrã.

6.1.2 Metodologia

As sessões de testes, destinadas a comparar e avaliar as várias abordagens para a manipulação de objectos tridimensionais já referidas, foram divididas em três etapas:

1. Introdução à experiência e às técnicas a testar

Nesta primeira etapa, o objectivo e a metodologia da sessão eram expostas aos participantes. Seguia-se uma apresentação e explicação do protótipo LTouchIt de uma forma geral, assim como das diferentes técnicas para a translação e rotação dos objectos.

2. Execução das tarefas de manipulação

Após a explicação das técnicas de translação ou rotação, era solicitado aos utilizadores que completassem, para cada uma das técnicas, as tarefas ilustradas nas Figuras 6.39.a, no caso das translações, e na Figura 6.39.b, tratando-se das rotações. O objectivo destas tarefas era colocar as peças opacas coincidentes com as peças semi-transparentes da mesma cor. Por forma a evitar demasiado tempo despendido na execução de uma tarefa, e consequentemente na sessão de avaliação, cada tarefa tinha o tempo limite de três minutos para ser completada. A ordem pela qual cada utilizador experimentou as diferentes técnicas foi aleatória.

3. Preenchimento de questionário

Terminado cada conjunto de tarefas, era pedido aos utilizadores que prenchessem um questionário onde classificavam as várias técnicas segundo uma escala de Likert de seis valores. O questionário incluía também um conjunto de questões destinadas a identificar o perfil do utilizador, estando o mesmo disponível no Anexo C.1.

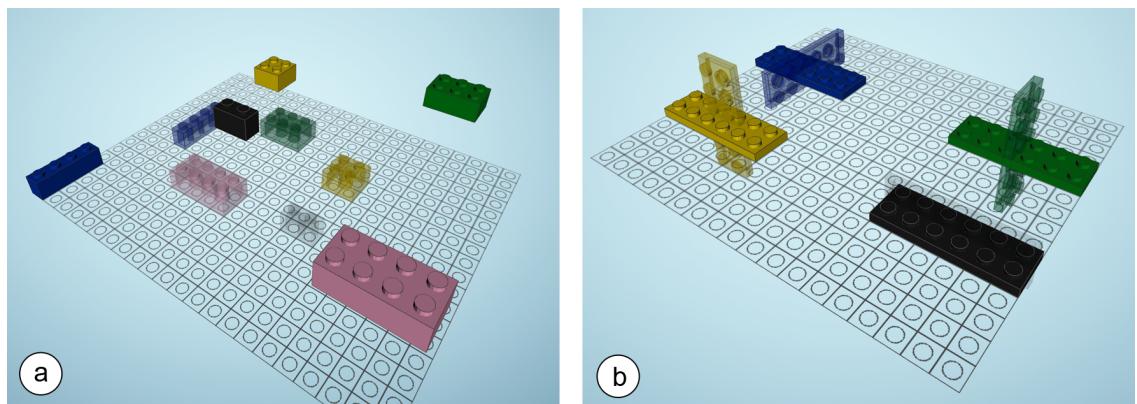


Figura 6.39: Tarefas para avaliar as técnicas de manipulação de objectos para translações (a) e rotações (b). Tem como objectivo colocar as peças opacas coincidentes com as transparentes da mesma cor.

6.1.3 Aparato e Participantes

Os testes foram realizados num ambiente controlado, no interior de um laboratório fechado, sem influências externas. O protótipo LTouchIt, com as diversas técnicas para testar, foi executado

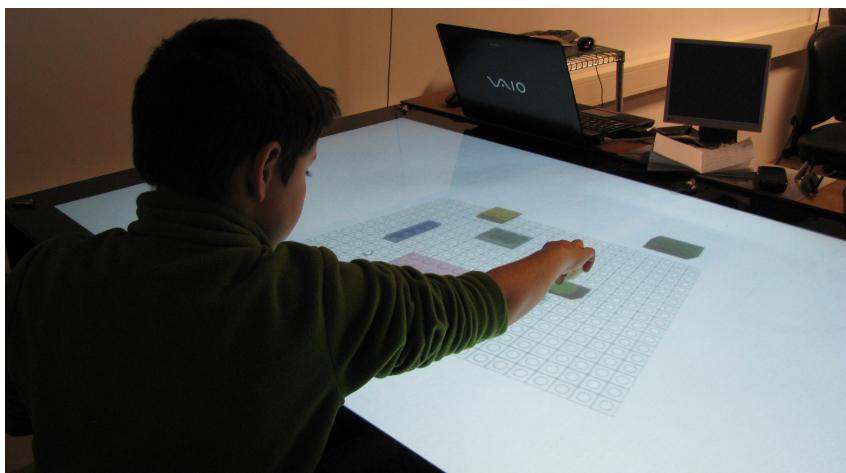


Figura 6.40: Participante da sessão de avaliação de técnicas para a manipulação de objectos, a executar uma tarefa de translação.

numa mesa multi-toque, com dimensões de 180x120x95 cm e tecnologia Laser Light Plane, visível na Figura 6.40.

Nesta avaliação participaram vinte utilizadores. Estes tinham idades compreendidas entre os dez e os trinta e quatro anos, sendo que a grande maioria se situava acima dos dezoito. Todos afirmaram ter alguma experiência na utilização de computadores, e cerca de metade consideravam-se muito experientes. No que diz respeito à experiência com aplicações de modelação tridimensional, trinta por cento dos utilizadores tinham alguma experiência e quinze por cento estava muito acostumado com este tipo de aplicações. De todos os participantes, apenas vinte por cento indicou não ter qualquer experiência com superfícies multi-toque. No entanto, para a grande maioria daqueles que já tinham tido contacto com estas superfícies, a experiência indicada era relativa a apenas pequenos dispositivos portáteis, como *smartphones*.

6.1.4 Análise dos Resultados

Todos os resultados obtidos nestes testes estão disponíveis no Anexo C.2. Durante a execução dos testes foram registados os tempos que cada utilizador demorou para completar a tarefa com cada técnica. Foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk a estes tempos, verificando-se que possuíam uma distribuição normal.

Para as translações, os tempos médios para cada técnica (Figura 6.41) foram significativamente diferentes ($F_{3,60} = 3.27$, $p < .05$). O teste de Tukey revelou diferenças significativas entre a Z-Technique e a **Orthogonal** ($p < .1$) e entre a Z-Technique e a **Plane-Switch** ($p < .05$). A **Horizontal-Z**, embora sem diferenças significativas em relação às demais no que se refere ao tempo de execução da tarefa, teve uma taxa de insucesso para completar a tarefa dentro do tempo

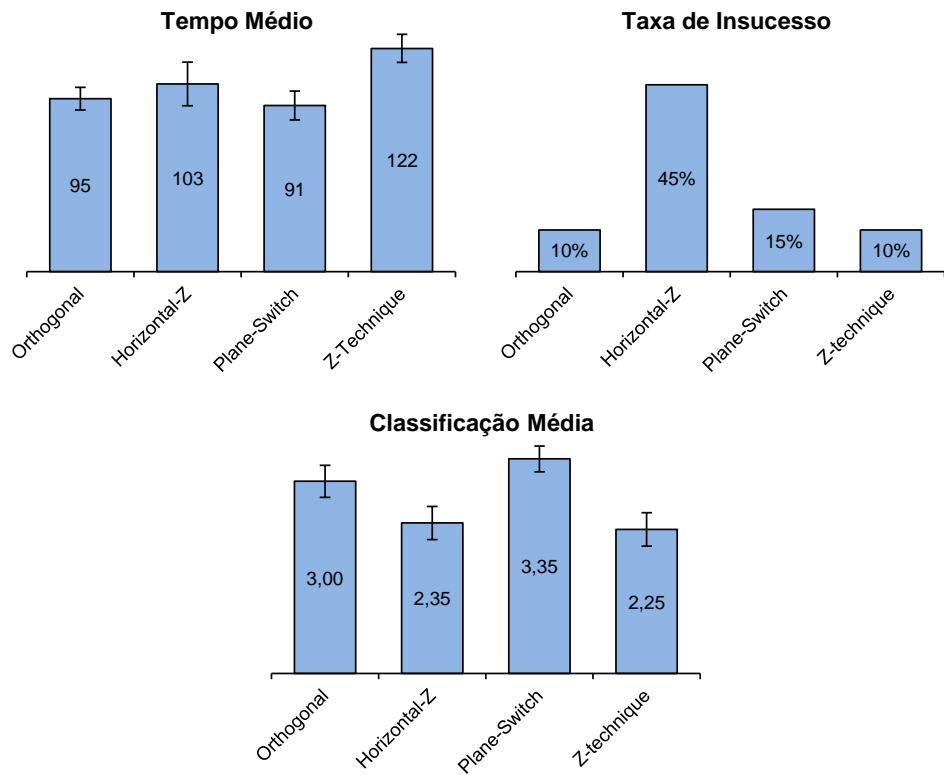


Figura 6.41: Gráficos relativos à avaliação das técnicas de translação: tempos médios de execução da tarefa (em segundos), taxa de insucesso e classificação média (valores mais elevados são melhores).

limite muito superior.

Independentemente do facto de não ser possível determinar qual das abordagens é a melhor para mover objectos, de entre a **Orthogonal** e a **Plane-Switch**, foi possível concluir que abordagens que movimentam os objectos segundo os eixos da cena têm um desempenho superior em relação à Z-Technique. Enquanto alguns utilizadores tiveram uma noção correcta da profundidade do objecto e completaram a tarefa rapidamente com a Z-Technique, a grande maioria encontrou dificuldades em compreender a manipulação da profundidade e a actual posição do objecto. Mesmo sendo projectada uma sombra do objecto a ser movido, de modo a melhorar a percepção da sua localização, alguns utilizadores inicialmente julgaram que o gesto para manipular a profundidade estava a escalar o objecto. Isto deve-se ao facto de os objectos mais próximos da câmara ficarem maiores no ecrã e os mais afastados parecerem menores.

Assim, muitos utilizadores acabaram por utilizar apenas vistas de frente e topo com a Z-Technique, de modo a moverem o objecto num plano perpendicular a um dos eixos da cena, evitando utilizar a manipulação da profundidade. A **Horizontal-Z** teve um desempenho pior que a Z-Technique devido ao facto dos utilizadores evitarem utilizar a manipulação da profundidade, que nesta técnica era essencial para completar a tarefa, e poucos compreenderem a posição do objecto.

Quando rodavam a câmara, os utilizadores descobriam que o objecto não estava onde julgavam devido a uma ilusão óptica.

Entre as abordagens **Orthogonal** e **Plane-Switch** não houve diferenças significativas, uma vez que ambas utilizam o mesmo tipo de movimentação dos objectos e as principais desvantagens de uma são as vantagens da outra. Com a **Plane-Switch**, alguns utilizadores esperavam que fosse possível mover o objecto verticalmente, sem a necessidade de mudar o plano de translação quando utilizada uma vista de frente. Com esta técnica e utilizando este tipo de vista, o plano horizontal de translação é quase perpendicular à vista, tornando-se muito difícil de ser tocado e alterado para um vertical, provocando alguma frustração aos utilizadores. A técnica **Orthogonal** cumpriu as expectativas dos utilizadores neste campo, apesar de fazer com que estes despendessem mais tempo a deslocar a câmara.

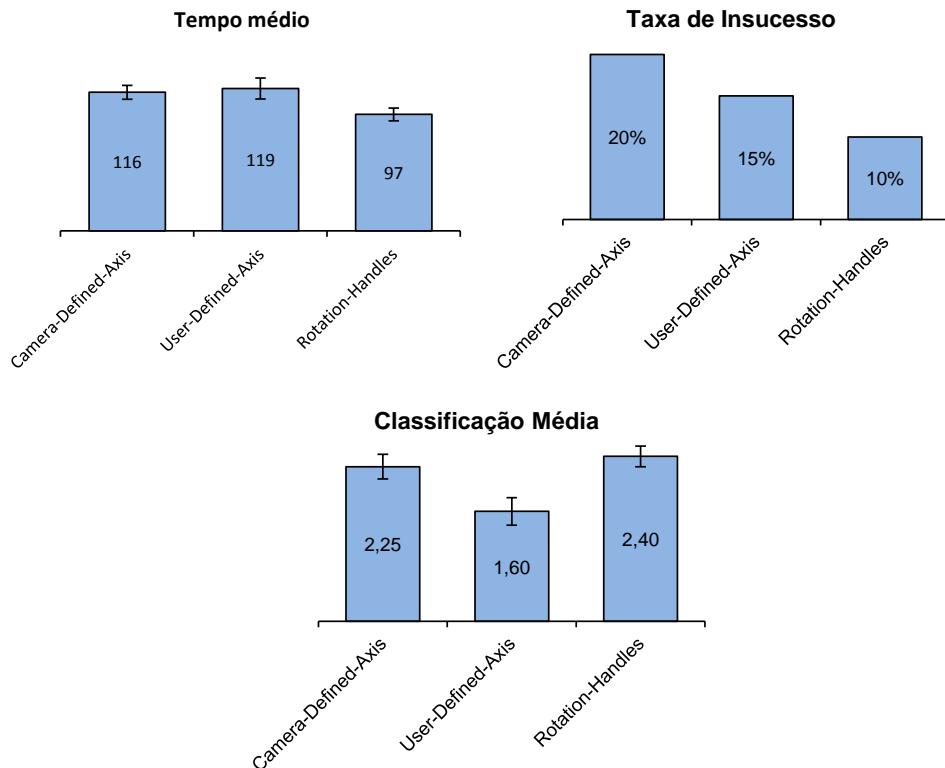


Figura 6.42: Gráficos relativos à avaliação das técnicas de rotação: tempos médios de execução da tarefa (em segundos), taxa de insucesso e classificação média (valores mais elevados são melhores).

No que concerne às rotações, aplicando o teste t de Student a cada par de técnicas, foi possível concluir que as técnicas **Camera-Defined-Axis** e **User-Defined-Axis** não foram significativamente diferentes uma da outra, e que a **Rotation-Handles** foi significativamente diferente tanto da **Camera-Defined-Axis** ($t(32) = 2.329$, $p < .05$), como da **User-Defined-Axis** ($t(33) = 2.135$, $p < .05$). A **Rotation-Handles** foi a que obteve a média mais baixa no tempo necessário para

completar a tarefa e a menor taxa de insucesso, como demonstrado nos gráficos da Figura 6.42.

Durante os testes foi possível constatar que, com excepção dos utilizadores com experiência em aplicações de modelação tridimensional, poucos utilizadores tinham qualquer noção sobre qual o eixo necessário para alcançar uma determinada rotação. A maioria dos participantes tentavam os vários eixos consecutivamente até identificarem o pretendido. Isto verificou-se em todas as abordagens, sendo que a **Rotation-Handles** foi a que conseguiu a melhor prestação. Esta, em relação às demais, fornece o retorno visual mais óbvio e rápido sobre como a rotação será efectuada, sem ter de quebrar a interacção e pensar como posicionar os dedos ou mudar a vista.

Para analisar as classificações dadas pelos utilizadores a cada técnica, estas foram ordenadas numa escala de quatro valores para as translações e de três valores para as rotações. Aplicando o teste de Kruskal-Wallis, concluiu-se que as amostras eram significativamente diferentes, tanto para as translações ($X^2(3) = 12.170$, $p < .01$), como para as rotações ($X^2(2) = 9.484$, $p < .01$). As médias das preferências estão visíveis nas Figuras 6.41 e 6.42, e reflectem o mesmo que foi concluído através da análise do tempo e da taxa de insucesso. Os utilizadores preferiram as técnicas **Orthogonal** e **Plane-Switch** para as translações e a **Rotation-Handles** para as rotações.

Com esta avaliação foi possível definir um conjunto de técnicas para interagir com objectos tridimensionais em superfícies multi-toque. Desta forma, a solução adoptada para a translação combina as técnicas **Orthogonal** e **Plane-Switch**, tirando partido das vantagens de uma para colmatar as falhas de outra. A solução adoptada para a rotação dos objectos foi a técnica **Rotation-Handles**, visto ter-se destacado positivamente das restantes nos diversos parâmetros analisados.

6.2 Validação da Solução Adoptada

Com o intuito de validar a solução adoptada para a manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque, foi levada a cabo uma outra sessão de avaliação com utilizadores. Nesta sessão, foi comparada a versão final do protótipo LTouchIt com duas aplicações de modelação LEGO existentes, tendo-se verificado a adequação da solução adoptada.

6.2.1 Aplicações Testadas

As aplicações utilizadas, para esta comparação com o **LTouchIt**, foram o **LEGO Digital Designer** e o **MLCad**, descritas nas Secções 3.3.1 e 3.3.2, respectivamente. Estas recorrem ao paradigma WIMP e destacaram-se positivamente na avaliação preliminar de modeladores LEGO efectuada, conforme referido na Secção 4.1. Enquanto que o **LEGO Digital Designer** é uma ferramenta

proprietária da marca LEGO, o MLCad é resultado do trabalho de entusiastas dos blocos de construção LEGO.

Na versão final, o LTouchIt contava com as técnicas **Grab'N Translate** (Secção 5.2.4), para mover as peças, e **Rotation-Handles Revista** (Secção 5.3.4), para as rodar. Nesta versão do protótipo eram utilizadas as técnicas apresentadas na Secção 5.5.3 para controlar a câmara e as acções adicionais descritas na Secção 5.4.

6.2.2 Metodologia

As sessões de validação da solução foram estruturadas segundo quatro etapas:

1. Questionário inicial

Antes de se iniciar a sessão propriamente dita, foi solicitado aos participantes o preenchimento de um questionário. Este tinha como objectivo identificar o seu perfil, nomeadamente em relação à sua idade e experiência tanto com aplicações de modelação tridimensional como com superfícies multi-toque.

2. Explicação sobre os testes e sessão de treino

Nesta etapa, era explicado aos participantes o propósito da sessão de testes, assim como as três aplicações com as quais teriam de interagir. Para cada uma delas existiu ainda uma demonstração da sua utilização e um período de treino de interacção livre.

3. Execução das tarefas

Após a demonstração e fase de treino com cada uma das aplicações, foi pedido aos utilizadores que efectuassem a construção ilustrada na Figura 6.43 na aplicação em causa. Foi fornecido aos participantes uma folha com instruções para a construção do modelo passo-a-passo, presente no Anexo D.1, semelhante aos típicos guias que acompanham os *kits* LEGO. Os utilizadores foram aconselhados a estudar o modelo antes de iniciarem a construção, sendo livres de consultarem as instruções durante a execução da tarefa. Para garantir uma distribuição equivalente das várias aplicações, a ordem pela qual estas foram testadas foi alternada para cada utilizador.

4. Questionário final

Concluída a construção do modelo em cada aplicação, os utilizadores preenchiham um questionário para a avaliarem segundo diversos aspectos, nomeadamente o *fun-factor* e facilidade na manipulação das peças e da câmara. Este questionário, assim como o questionário inicial, estão disponíveis no Anexo D.2.

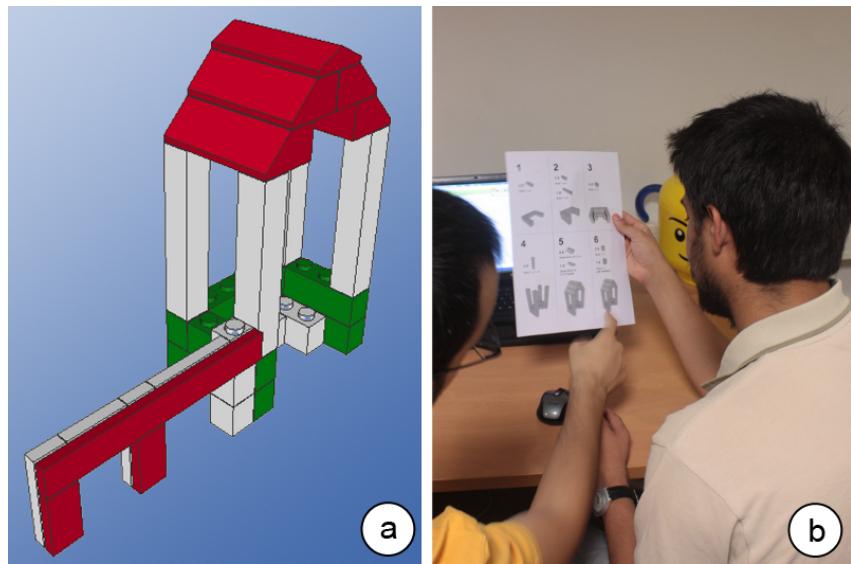


Figura 6.43: Modelo LEGO a ser construído pelos utilizadores na validação da solução proposta e apresentação das instruções do modelo a um utilizador.

O modelo LEGO a ser construído, a que se chamou “casinha do guarda”, continha um total de vinte e oito peças, de diferentes tipos e cores, obrigando os utilizadores a pesquisarem em vários grupos e a colori-las com diversas cores. Existiam também peças repetidas, com o objectivo de determinar se os utilizadores preferiam deslocá-las várias vezes da lista ou duplicá-las. Na construção do modelo, era ainda imperativo deslocar as peças nas três dimensões, assim como rodá-las segundo os três eixos.

Como sinal de agradecimento pelo tempo e esforço despendido pelos participantes, foi oferecido um *kit* de LEGO.

6.2.3 Aparato e Participantes

Os testes foram conduzidos num ambiente fechado, no qual existia: um computador (com rato e teclado) para executar as aplicações LEGO existentes e a mesma superfície multi-toque referida na Secção 6.1.3 (com tecnologia Laser Light Plane e dimensões de 180x120x95 cm), presente na Figura 6.44. Com a autorização dos utilizadores, os testes foram filmados e os comentários foram transcritos de gravações áudio.

A avaliação foi efectuada por vinte utilizadores, quinze do sexo masculino e cinco do sexo feminino, todos destros e com idades compreendidas entre os onze e os vinte e seis anos (média = 23.5 anos). No que concerne a experiência com CAD ou modelação tridimensional, dez por cento tinham alguma experiência e vinte por cento eram muito experientes com este tipo de *software*.

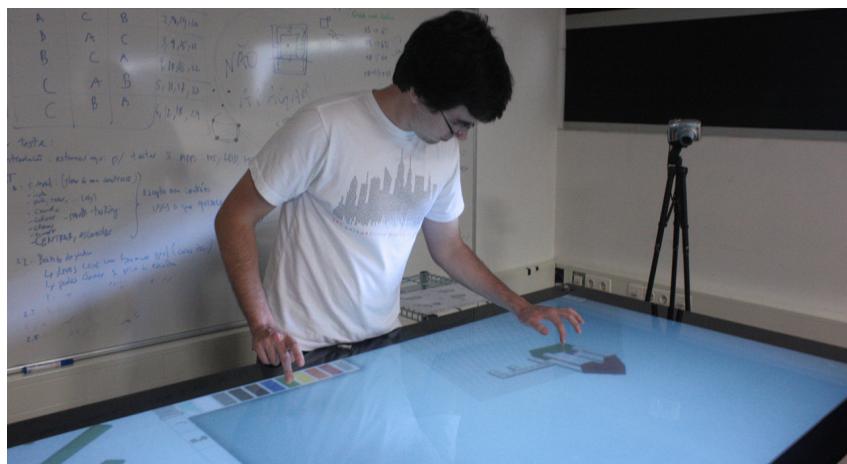


Figura 6.44: Participante da sessão de validação da solução proposta, a colorir peças do modelo.

Apenas quinze por cento nunca tinha utilizado um dispositivo multi-toque, enquanto os restantes só tinham interagido com pequenos dispositivos multi-toque, como *smartphones*. Nenhum dos utilizadores tinha utilizado uma aplicação de modelação LEGO virtual anteriormente.

6.2.4 Análise dos Resultados

Os resultados obtidos nesta avaliação com utilizadores estão disponíveis no Anexo D.3. Para os analisar, são apresentadas três perspectivas. Começa-se com uma análise quantitativa sobre os tempos para completar a construção em cada aplicação, seguindo-se uma análise qualitativa baseada nos questionários e termina-se com um conjunto de observações feitas durante as sessões.

Tempo para Completar a Tarefa

Para cada aplicação, foi medido o tempo necessário para os utilizadores completarem a construção do modelo. Os resultados obtidos seguem uma distribuição normal, de acordo com o teste de Shapiro-Wilk. Estes resultados foram então sujeitos ao teste One-Way ANOVA, o qual indicou que existem diferenças significativas ($F_{2,57}=4.123$, $p<.05$). O teste de Tukey revelou que as diferenças recaíam entre o **LEGO Digital Designer** e o **MLCad**.

O tempo médio para cada aplicação está apresentado no gráfico da Figura 6.45. O **LEGO Digital Designer**, devido ao facto de possuir sistemas de detecção de colisão e encaixe de peças, foi o mais rápido. O **MLCad**, embora eficiente para utilizadores peritos em aplicações tridimensionais, foi, de forma geral, o mais lento. O **LTouchIt**, apesar de utilizar um paradigma de interacção com o qual os participantes não estavam familiarizados, conseguiu um desempenho ligeiramente superior ao **MLCad**.

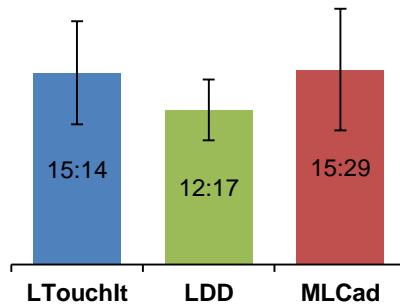


Figura 6.45: Gráfico relativo ao tempo médio para completar a tarefa, por aplicação (em minutos:segundos).

Feedback dos Utilizadores

No questionário final, foi solicitado que classificassem cada aplicação, utilizando uma escala de Likert de quatro pontos (1 - nada, 4 - muito), no que diz respeito a quanto divertido foi de utilizar e à facilidade de: manipular peças (translação e rotação); controlar a câmara (mover, orbitar e aproximar/afastar); procurar peças na lista; duplicar peças; e colorir. As respectivas classificações estão apresentadas na Tabela 6.6. O teste de Wilcoxon foi utilizado para verificar as diferenças estatisticamente relevantes.

	LTouchIt	LDD	MLCad
Fun-factor*	3,0 (1)	3,0 (2)	2,0 (2)
Translação*	4,0 (1)	3,0 (2)	4,0 (1)
Rotação*	4,0 (1)	2,0 (1)	3,0 (1)
Pan	4,0 (1)	4,0 (1)	3,0 (2)
Orbitar	4,0 (1)	4,0 (0)	-
Zoom	4,0 (1)	4,0 (0)	4,0 (0)
Pesquisar*	4,0 (1)	3,0 (1)	2,0 (1)
Clonar	4,0 (0)	4,0 (1)	4,0 (2)
Colorir*	4,0 (0)	3,5 (1)	3,0 (1)

* indica significância estatística

Tabela 6.6: Resultados do questionário para cada aplicação (Mediana, Amplitude Interquartil).

Houve consenso nos utilizadores de que o **MLCad** é menos divertido que o **LTouchIt** e o **LEGO Digital Designer** ($Z=-3.043$, $p=.002$ and $Z=-2.586$, $p=.010$). No que concerne a manipulação de peças, os utilizadores concordaram que o **MLCad** é mais fácil de utilizar que o **LEGO Digital Designer** ($Z=-1.979$, $p=.048$). A classificação do **LTouchIt** foi muito próxima da do **MLCad**. A opinião dos utilizadores converge no sentido de que rodar as peças no **LEGO Digital Designer** é mais difícil do que no **LTouchIt** e no **MLCad** ($Z=-3.125$, $p=.002$ and $Z=-2.045$, $p=.041$). Comentários dos utilizadores sugerem a preferência das **Rotation-Handles** do **LTouchIt** sobre os botões na interface do **MLCad**.

O sistema de encaixe das peças presente no **LEGO Digital Designer**, embora eficiente na maioria dos casos, por vezes originou frustração. Por exemplo, quando se pretende colocar uma peça ao lado de outra, consoante a perspectiva, a aplicação pode colocá-la por cima ou por baixo da primeira.

No que diz respeito à manipulação da câmara, nenhuma se destacou. Os gestos utilizados no **LTouchIt** foram capazes de competir com as soluções das outras aplicações, sem diferenças significativas nas preferências dos utilizadores, apesar de utilizar um paradigma de interacção com o qual os mesmos estão menos familiarizados. Uma vez que o **MLCad** não permite a rotação da câmara nas vistas destinadas à construção, não foi considerada a classificação para orbitar nesta aplicação.

Para recuperar as peças desejadas da lista, os utilizadores concordaram que o **LTouchIt** é mais fácil que o **LEGO Digital Designer** e o **MLCad** ($Z=-3.493$, $p=.000$ and $Z=-3.697$, $p=.000$). O mesmo foi observado para as preferências no que se refere a colorir ($Z=-2.877$, $p=.004$ and $Z=-3.166$, $p=.002$), sendo que o **LTouchIt** é o que possui melhor classificação. A solução desenvolvida para clonar apresentou uma variação menor que o **LEGO Digital Designer** e o **MLCad**, sugerindo que o gesto utilizado é facilmente compreendido, mesmo quando comparado com o modo de clonagem do **LEGO Digital Designer** ou os atalhos do teclado utilizados no **MLCad** para “copiar e colar” peças.

Observações Recolhidas

Durante a avaliação realizada, foi observado que as múltiplas vistas ortogonais, utilizadas no **MLCad**, não são naturais para utilizadores não peritos em CAD. No mesmo sentido, testemunhou-se que a solução proposta simplifica a manipulação tridimensional para estes utilizadores.

No **MLCad**, todas as interacções são feitas exclusivamente em duas dimensões, visto tomarem lugar nas vistas ortogonais, ao invés de uma em perspectiva. No **LEGO Digital Designer**, houve tendência para ocasionais problemas com rotações tridimensionais. Tal deve-se ao facto do programa oferecer dois eixos de rotação em cada momento, dependentes da perspectiva e que não estão identificados, o que os utilizadores consideraram frustrante. A solução proposta permitiu uma manipulação tridimensional completa, evitando os problemas referidos.

Além disso, comentários indicaram que a metáfora para agarrar objectos do **LTouchIt** tende a ser mais natural do que a selecção de peças do **LEGO Digital Designer**. No **LtouchIt**, assim que uma peça é seleccionada, o utilizador inherentemente tem consciência disso, uma vez que os dois dedos estão em contacto e os gestos para agarrar e mover estão incorporados de forma fluída. Adicionalmente, o **LEGO Digital Designer** obriga a que seja feito um clique na peça para iniciar

a sua movimentação e um novo clique para a colocar na posição desejada. Desta forma não é proporcionado nenhum retorno táctil em como a peça estava a ser agarrada. Esta observação confirma ainda as conhecidas vantagens da manipulação directa sobre a indirecta [KAD09].

Foi ainda verificado que muitos utilizadores consideraram o gesto para clonar peças uma boa técnica para acelerar construções com várias peças repetidas, como sejam paredes. Por outro lado, embora o gesto para duplicar peças possa ser tão fluído para seguir com a translação das peças como o de agarrar, observou-se que foi antes utilizado como um mero despoletador de uma acção, largando e agarrando o objecto de seguida para o mover.

6.3 Sumário

No presente capítulo foram explanados os dois momentos de avaliação sobre o trabalho desenvolvido. O primeiro focou-se em técnicas de manipulação de objectos tridimensionais em superfícies multi-toque. Para a translação de objectos, as técnicas **Orthogonal** e **Plane-Switch** destacaram-se, comprovando-se a maior facilidade na movimentação de objectos em concordância com o referencial da cena, em detrimento das soluções existentes que utilizam um plano de translação paralelo ao de visualização. As duas técnicas referidas foram conjugadas e deram, mais tarde, origem à técnica **Grab'N Translate**.

Ainda relativamente à sessão de avaliação de técnicas para a manipulação de objectos, a técnica **Rotation-Handles** mostrou-se a mais eficaz. Isto deveu-se ao facto de proporcionar um retorno visual mais rápido e explícito que as demais.

As técnicas **Grab'N Translate** e **Rotation-Handles** foram integradas no protótipo **LTouchIt** final, juntamente com uma solução para manipular a câmara. Para comprovar a adequabilidade das soluções adoptadas, o protótipo foi validado por utilizadores, tendo sido comparado com duas aplicações vulgarmente utilizadas para a modelação LEGO virtual, o **LEGO Digital Designer** e o **MLCad**.

Com base nos resultados destes últimos testes podemos concluir que a solução desenvolvida é capaz de competir com as aplicações testadas, quer a nível de rapidez da construção como de satisfação na sua utilização. De salientar que o **LTouchIt** utiliza um paradigma de interacção com os quais os participantes não estavam familiarizados, ao contrário das outras aplicações, que se baseiam no paradigma WIMP. Para além disso, ao contrário do **MLCad**, o **LTouchIt** permite uma interacção tridimensional com os objectos e não dispõe de um sistema de detecção de colisões e encaixes, como o **LEGO Digital Designer**.

Capítulo 7

Conclusões

As interfaces WIMP têm já uma longa existência, tendo sido adoptadas para a maioria das interacções pessoa-máquina. No entanto, tem-se procurado criar novos paradigmas de interacção, que se aproximem mais das interacções existentes no mundo real. Neste campo, as superfícies multi-toque têm-se destacado, apresentando-se capazes de proporcionar uma interacção directa com os objectos virtuais e utilizar uma linguagem gestual. Estes dispositivos de interacção têm assistido a um crescente aumento da sua popularidade, devido ao aparecimento de novas tecnologias que permitem a sua construção de forma acessível. De facto, desde pequenos dispositivos portáteis a mesas e quadros interactivos, o multi-toque tem-se tornado parte do quotidiano.

Novos dispositivos interactivos requerem novas interfaces e paradigmas de interacção. Para as superfícies multi-toque, alguns desafios, como a interacção com ambientes bidimensionais, possuem já soluções definidas. Outros, como a manipulação de objectos tridimensionais, embora alvo de investigações recentes, ainda carecem de uma solução definitiva. As abordagens até agora existentes, apesar de proporcionarem controlo sobre os três graus de liberdade tanto das translações como das rotações, foram desenvolvidas para interacções com um ponto de vista condicionado, normalmente a vistas de topo ou de frente.

Procurou-se, no trabalho desenvolvido nesta dissertação, identificar métodos naturais de interagir com objectos tridimensionais em superfícies multi-toque, utilizando pontos de vista livres. Pretendia-se encontrar uma solução que permitisse tirar partido da interacção directa e baseada num vocabulário gestual, proporcionada por este tipo de superfícies, para oferecer uma manipulação capaz de ser executada por utilizadores sem experiência em aplicações de modelação tridimensional ou de desenho assistido por computador.

Para o efeito, foram desenvolvidas três abordagens para a translação de objectos e outras três

para a rotação, adaptadas de propostas já existentes. Estas foram comparadas, numa avaliação por utilizadores, entre elas e com soluções anteriores. Com esta avaliação, por um lado, determinaram-se quais as melhores abordagens para a manipulação de objectos, de entre as propostas constantes deste trabalho. Por outro lado, comprovou-se que as soluções já existentes não se adequam a cenários que permitam uma visualização livre.

Não tendo sido alvo de uma avaliação tão exaustiva como a manipulação de objectos, foi também proposto um conjunto de interacções que visa a manipulação da câmara. Este conjunto abrange diversas acções, como deslocar (ou *pan*), orbitar e aproximar/afastar (ou *zoom*) e foi desenvolvido tendo em conta observações recolhidas em vários momentos de avaliação com utilizadores, nos quais o controlo da câmara, embora não sendo o cerne da avaliação, era imprescindível.

Para que fosse possível implementar e avaliar as técnicas referidas, foi considerado um cenário de blocos de construção. Desta forma, foi desenvolvido um protótipo destinado à construção de modelos LEGO virtuais em superfícies multi-toque (LTouchIt). No desenvolvimento deste protótipo, foram tidos como ponto de partida resultados de um estudo comparativo de várias aplicações LEGO, que recorrem ao paradigma WIMP, que contou com a colaboração de utilizadores. À semelhança das aplicações testadas, o LTouchIt permite, para além da manipulação dos ditos blocos, duplicá-los, colori-los e pesquisá-los numa lista. Suporta ainda o formato *standard* da área para as peças e modelos, permitindo a sua interoperabilidade com as outras aplicações, no que diz respeito aos modelos construídos e respectivas peças e cores utilizadas.

A mais recente versão do protótipo LTouchIt utiliza as abordagens para a manipulação de objectos que se mostraram mais eficazes na avaliação, assim como o conjunto de interacções desenvolvido para o controlo da câmara. Esta versão foi sujeita a uma outra avaliação com utilizadores, com o propósito de a comparar com as duas aplicações LEGO que se destacaram no estudo comparativo, o LEGO Digital Designer e o MLCad. Mesmo recorrendo a uma metodologia de interacção com a qual os participantes estavam menos familiarizados do que as outras aplicações, o LTouchIt mostrou-se capaz de concorrer com estas a nível de facilidade de utilização e destacando-se positivamente a nível de satisfação. Tal deveu-se à naturalidade da solução desenvolvida, cuja interacção é bimanual, directa e baseada em gestos.

Acredito que as soluções propostas para a manipulação de objectos, embora apresentadas e testadas num cenário de blocos de construção, sejam portáveis para outros cenários. Tais poderão ser a modelação tridimensional, ou qualquer outro que envolva a livre manipulação de objectos num espaço tridimensional.

7.1 Trabalho Futuro

No trabalho apresentado nesta dissertação, existem alguns aspectos que, não tendo sido o foco do que se pretendeu estudar, são dignos de melhoria ou poderão dar origem a interessantes trabalhos futuros, como sejam:

- **Incorporar um sistema de detecção de colisões e encaixes**

Acredito que a inclusão de um sistema de detecção de colisões e encaixes, semelhante ao encontrado na aplicação LEGO Digital Designer permitiria aumentar a fidedignidade da simulação, contribuindo para uma interacção mais natural e, eventualmente, mais rápida.

- **Avaliar a proposta para controlo da câmara**

Considero que seria relevante uma avaliação cuidada da proposta efectuada para controlo da câmara - seriam benéficas uma sessão de testes com utilizadores e uma comparação com outras soluções.

- **Comparar a solução proposta com outros trabalhos recentes**

No final da execução desta dissertação, surgiram dois trabalhos [KMB⁺11, CDH11] dignos de menção, também eles relativos à manipulação de objectos em ambientes tridimensionais recorrendo a multi-toque e que são aplicáveis em cenários sem restrições na sua visualização. Tal aspecto parece merecedor de uma comparação atenta entre estes trabalhos e a solução aqui proposta.

- **Aplicar transformações a vários objectos em simultâneo**

Durante os últimos testes efectuados, vários utilizadores manifestaram a vontade de deslocar várias peças simultaneamente. A este propósito, aplicável fora do contexto LEGO, apresenta-se com interesse a identificação de formas para aplicar transformações a vários objectos conjuntamente, quer seja interagindo directamente com os vários objectos ou permitindo selecções em grupo.

- **Desenvolver outras soluções para a recuperação de peças**

Embora o método seguido neste trabalho para a recuperação de peças se tenha mostrado do agrado dos utilizadores, o mesmo foi criado para suportar apenas noventa e quatro peças. Quando contempladas a totalidade das peças disponíveis, este deixaria de ser aplicável. Neste caso, outras soluções são necessárias, podendo-se passar, por exemplo, por aliar uma caneta numa superfície multi-toque [LMdAJ11] com uma solução idêntica ao LSketchIt [SFDF08], combinando a recuperação de peças utilizando esboços e uma interacção multi-toque.

- **Possibilitar a colaboração entre utilizadores**

Com o objectivo de enriquecer um pouco mais a experiência da construção LEGO virtual e tirar partido das grandes superfícies multi-toque, seria interessante abordar o desafio da colaboração entre vários utilizadores. Neste tópico, várias são as questões que se levantam: a partilha de recursos - as peças; a construção independente por cada utilizador e junção das várias construções; a construção simultânea do modelo pelos vários utilizadores; e a visão/navegação colectiva do modelo.

- **Disponibilizar a transformação de escala para os objectos**

De forma a suportar a totalidade das transformações de objectos que outros cenários tridimensionais (que não LEGO) possam requerer, seria interessante estudar a forma de integrar a opção de escalar os objectos com a solução proposta para as restantes transformações.

Acredito que estes tópicos poderão contribuir para o aperfeiçoamento do trabalho desenvolvido, estando convicto que cumpri o objectivo a que me propus - identificar e desenvolver uma solução natural e eficaz para posicionar e orientar objectos tridimensionais em superfícies multi-toque.

Bibliografia

- [CDH11] Aurélie Cohé, Fabrice Decle, and Martin Hachet. tBox: A 3D Transformation Widget designed for Touch-screens. In *ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Vancouver, Canada, May 2011.
- [CSH⁺92] B.D. Conner, S.S. Snibbe, K.P. Herndon, D.C. Robbins, R.C. Zeleznik, and A. Van Dam. Three-dimensional widgets. In *Proceedings of the 1992 symposium on Interactive 3D graphics*, pages 183–188. ACM, 1992.
- [CSPW09] S.H.H. Chang, L. Stuart, B. Plimmer, and B. Wünsche. Origami simulator: a multi-touch experience. In *Proceedings of the 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 3889–3894. ACM, 2009.
- [DHG09] F. Decle, M. Hachet, and P. Guitton. Tech-note: Scruticam: Camera manipulation technique for 3d objects inspection. In *3D User Interfaces, 2009. 3DUI 2009. IEEE Symposium on*, pages 19–22. IEEE, 2009.
- [DL01] P. Dietz and D. Leigh. Diamondtouch: a multi-user touch technology. In *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 219–226. ACM, 2001.
- [Dow05] R. Downs. Using resistive touch screens for human/machine interface. *Analog Application Journal. sl: Texas Instruments Incorporated*, 2005.
- [FHD09] M. Frisch, J. Heydekorn, and R. Dachselt. Investigating multi-touch and pen gestures for diagram editing on interactive surfaces. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 149–156. ACM, 2009.
- [FSL09] D. Fiorella, A. Sanna, and F. Lamberti. Multi-touch user interface evaluation for 3d object manipulation on mobile devices. *Journal on Multimodal User Interfaces*, pages 1–8, 2009.

- [FWSB07] C. Forlines, D. Wigdor, C. Shen, and R. Balakrishnan. Direct-touch vs. mouse input for tabletop displays. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 647–656. ACM, 2007.
- [GW07] T. Grossman and D. Wigdor. Going deeper: a taxonomy of 3d on the tabletop. In *Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2007. TABLETOP’07. Second Annual IEEE International Workshop on*, pages 137–144. IEEE, 2007.
- [Han05] J.Y. Han. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. In *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 115–118. ACM, 2005.
- [HCC07] M. Hancock, S. Carpendale, and A. Cockburn. Shallow-depth 3d interaction: design and evaluation of one-, two-and three-touch techniques. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 1147–1156. ACM, 2007.
- [HCV⁺06] M.S. Hancock, S. Carpendale, F.D. Vernier, D. Wigdor, and C. Shen. Rotation and translation mechanisms for tabletop interaction. 2006.
- [HDKG08] M. Hachet, F. Decle, S. Knodel, and P. Guitton. Navidget for easy 3d camera positioning from 2d inputs. In *3D User Interfaces, 2008. 3DUI 2008. IEEE Symposium on*, pages 83–89. IEEE, 2008.
- [Hor08] E. Hornecker. “i don’t understand it either, but it is cool”-visitor interactions with a multi-touch table in a museum. In *Horizontal Interactive Human Computer Systems, 2008. TABLETOP 2008. 3rd IEEE International Workshop on*, pages 113–120. IEEE, 2008.
- [HtCC09] M. Hancock, T. ten Cate, and S. Carpendale. Sticky tools: Full 6dof force-based interaction for multi-touch tables. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 133–140. ACM, 2009.
- [JGH⁺07] R.J.K. Jacob, A. Girouard, L.M. Hirshfield, M.S. Horn, O. Shaer, E.T. Solovey, and J. Zigelbaum. Reality-based interaction: unifying the new generation of interaction styles. In *CHI’07 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 2465–2470. ACM, 2007.
- [KAD09] K. Kin, M. Agrawala, and T. DeRose. Determining the benefits of direct-touch, bimanual, and multifinger input on a multitouch workstation. In *Proceedings of Graphics Interface 2009*, pages 119–124. Canadian Information Processing Society, 2009.

- [KCST05] R. Kruger, S. Carpendale, S.D. Scott, and A. Tang. Fluid integration of rotation and translation. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 601–610. ACM, 2005.
- [KKBL06] S.G. Kim, J.W. Kim, K.T. Bae, and C.W. Lee. Multi-touch interaction for table-top display. *Advances in Artificial Reality and Tele-Existence*, pages 1273–1282, 2006.
- [KMB⁺11] K. Kin, T. Miller, B. Bollendorff, T. DeRose, B. Hartmann, and M. Agrawala. Eden: A professional multitouch tool for constructing virtual organic environments. In *Proc. CHI*, volume 11, 2011.
- [LFP10] Pedro A. Lopes, Alfredo Ferreira, and J. A. Madeiras Pereira. Multitouch interactive djing surface. In *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE ’10, pages 28–31, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [LMdAJ11] Pedro Lopes, Daniel Mendes, Bruno de Araújo, and Joaquim Jorge. Combining bi-manual manipulation and pen-based input for 3d modelling. In *SBIM 2011 - International Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, 2011.
- [Log09] J. Logtenberg. Multi-user interaction with molecular visualizations on a multi-touch table. 2009.
- [MCG10a] A. Martinet, G. Casiez, and L. Grisoni. The design and evaluation of 3d positioning techniques for multi-touch displays. In *3D User Interfaces (3DUI), 2010 IEEE Symposium on*, pages 115–118. IEEE, 2010.
- [MCG10b] A. Martinet, G. Casiez, and L. Grisoni. The effect of dof separation in 3d manipulation tasks with multi-touch displays. In *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pages 111–118. ACM, 2010.
- [MF10] Daniel Mendes and Alfredo Ferreira. Estudo comparativo de aplicações para a construção de modelos lego. In *Actas da 4ª Conferência Nacional em Interacção Humano-Computador*, 2010.
- [PKS⁺08] P. Peltonen, E. Kurvinen, A. Salovaara, G. Jacucci, T. Ilmonen, J. Evans, A. Oulasvirta, and P. Saarikko. It’s mine, don’t touch!: interactions at a large multi-touch display in a city centre. In *Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 1285–1294. ACM, 2008.
- [RDH09] J.L. Reisman, P.L. Davidson, and J.Y. Han. A screen-space formulation for 2d and 3d direct manipulation. In *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 69–78. ACM, 2009.

- [Rek02] J. Rekimoto. Smartskin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Changing our world, changing ourselves*, pages 113–120. ACM, 2002.
- [SBD⁺08] J. Schöning, P. Brandl, F. Daiber, F. Echtler, O. Hilliges, J. Hook, M. Löchtefeld, N. Mottamed, L. Muller, P. Olivier, et al. Multi-touch surfaces: A technical guide. *Technical Reports of the Technical University of Munich*, 2008.
- [Sch08] C. Schwesig. What makes an interface feel organic? *Communications of the ACM*, 51(6):67–69, 2008.
- [Sel08] T. Selker. Touching the future. *Communications of the ACM*, 51(12):14–16, 2008.
- [SFDF08] Tiago Santos, Alfredo Ferreira, Filipe Dias, and Manuel J. Fonseca. Using sketches and retrieval to create lego models. *EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, 2008.
- [Sho92] K. Shoemake. Arcball: a user interface for specifying three-dimensional orientation using a mouse. In *Graphics Interface*, volume 92, pages 151–156, 1992.
- [SS91] A. Sears and B. Shneiderman. High precision touchscreens: design strategies and comparisons with a mouse. *International Journal of Man-Machine Studies*, 34(4):593–613, 1991.
- [SS11] D. Shuralyov and W. Stuerzlinger. A 3d desktop puzzle assembly system. In *3D User Interfaces (3DUI), 2011 IEEE Symposium on*, pages 139–140. IEEE, 2011.
- [SSB08] R. Schmidt, K. Singh, and R. Balakrishnan. Sketching and composing widgets for 3d manipulation. In *Computer Graphics Forum*, volume 27, pages 301–310. Wiley Online Library, 2008.
- [TSGF06] E. Tse, C. Shen, S. Greenberg, and C. Forlines. Enabling interaction with single user applications through speech and gestures on a multi-user tabletop. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, pages 336–343. ACM, 2006.
- [VD97] A. Van Dam. Post-wimp user interfaces. *Communications of the ACM*, 40(2):63–67, 1997.
- [WB03] M. Wu and R. Balakrishnan. Multi-finger and whole hand gestural interaction techniques for multi-user tabletop displays. In *Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 193–202. ACM, 2003.

- [WIH⁺08] A.D. Wilson, S. Izadi, O. Hilliges, A. Garcia-Mendoza, and D. Kirk. Bringing physics to the surface. In *Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 67–76. ACM, 2008.
- [Wil04] A.D. Wilson. Touchlight: an imaging touch screen and display for gesture-based interaction. In *Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces*, pages 69–76. ACM, 2004.
- [Wil09] A.D. Wilson. Simulating grasping behavior on an imaging interactive surface. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 125–132. ACM, 2009.
- [WMW09] J.O. Wobbrock, M.R. Morris, and A.D. Wilson. User-defined gestures for surface computing. In *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems*, pages 1083–1092. ACM, 2009.

Anexo A

Tecnologias Multi-toque

As primeiras superfícies sensíveis ao toque apareceram na década de 1970 [SBD⁺08]. Com o trabalho de Han [Han05], o interesse por estas intensificou-se e surgiram técnicas para as criar de forma mais acessível. Actualmente existem superfícies capazes de detectar múltiplos pontos de contacto simultaneamente, recorrendo a diversos tipos de tecnologia. Seguem descrições sucintas de algumas tecnologias para a criação de superfícies tátteis.

Resistance Based Touch

Este sistema baseia-se num painel de vidro coberto por duas camadas revestidas por um material condutivo, separadas por um pequeno espaço e percorridas por uma corrente eléctrica. Quando o utilizador toca no ecrã, as duas camadas fazem contacto, produzindo alterações no campo eléctrico. Estas alterações permitem calcular as coordenadas do ponto de contacto [Dow05].

Pojected Capacitance Touch (PCT)

Utilizada no SmartSkin [Rek02], esta técnica consiste na utilização de uma grelha bidimensional de pequenos fios de cobre, na qual uns são eléctrodos transmissores e outros receptores. Cada toque de um objecto condutivo, como uma mão humana, origina uma alteração local no campo electrostático, a qual pode ser medida com precisão para determinar a localização do toque. O uso de uma grelha permite uma resolução mais elevada que a tecnologia resistiva, assim como a detecção de múltiplos toques em simultâneo. Esta técnica serviu também de base para o DiamondTouch [DL01] que, ao possuir os receptores colocados em cadeiras, permite ter conhecimento do utilizador que efectuou o toque.

Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)

Esta foi a tecnologia que originou o trabalho de Han [Han05]. Utilizando LED's de luz infravermelha ligeiramente inclinados, dirigidos para uma placa de acrílico. A luz fica aprisionada nesta placa, sendo que sempre que atinge a sua superfície é de novo reflectida na totalidade para o seu interior. Quando um dedo toca na placa, os raios de luz deixam de ser totalmente reflectidos, podendo ser captados por uma câmara de infravermelhos colocada atrás da placa. Com algoritmos de visão por computador, é possível determinar a localização do ponto de contacto.

Diffused Illumination (DI)

É projectada luz infravermelha por detrás da superfície de toque. Usando um material difusor por cima ou por baixo desta superfície, quando um objecto lhe toca reflecte mais luz do que o material difusor. Esta luz adicional é recebida por uma câmara atrás da superfície, de forma semelhante ao TouchLight [Wil04]. Outra abordagem desta tecnologia passa por colocar os emissores de luz infravermelha por cima da superfície e, quando um objecto lhe toca, produz uma sombra, sendo essa sombra detectada pela câmara.

Diffuse Surface Illumination (DSI)

Utiliza uma configuração semelhante à FTIR, mas recorre a um acrílico especial que contém pequenas partículas no seu interior que actuam como espelhos. Quando os raios infravermelhos incidem na placa de acrílico são redireccionados e espalham-se pela sua superfície. Segundo [SBD⁺08], esta técnica possui uma boa distribuição da luz, o que nem sempre é alcançável nas outras técnicas, e é de simples configuração.

Laser Light Plane (LLP)

É colocada uma camada de luz infravermelha proveniente de lasers imediatamente acima da superfície de toque em que é projectada a imagem com que o utilizador vai interagir. Quando um dedo toca nesta superfície, dispersa os raios infravermelhos. Estes são capturados por uma câmara colocada por detrás da superfície, obtendo assim a posição do dedo. Esta tecnologia permite a detecção de múltiplos pontos de interacção, tem um custo mais baixo de construção e é mais precisa do que as FTIR, DI e DSI. Foi a utilizada na realização deste projecto.

Anexo B

Representação das peças LDraw em OpenSG

Para a manipulação e visualização das diferentes peças de LEGO utilizadas na aplicação LTouchIt, estas tiveram de ser convertidas do seu formato original em LDraw para um que ofereça funcionalidades como transformações e renderização. Para este efeito, optou-se por trabalhar com OpenSG, um sistema de grafos de cena *open source* desenvolvido para criar aplicações com gráficos tridimensionais gerados em tempo real. Nesta conversão, fez-se por seguir uma abordagem o mais próxima possível com a especificação do LDraw, pelo que se começará por explicar brevemente a sua estrutura.

B.1 Especificação LDraw

A informação contida nos ficheiros LDraw é constituída por seis tipos de dados: triângulos, quadriláteros, linhas, linhas opcionais, inclusão de sub-ficheiros e META comandos. Os últimos são destinados à especificação de particularidades do ficheiro actual ou do comando que se segue. Dada a grande quantidade desses comandos, estes não serão aqui explicados, com excepção dos referentes ao recorte de faces traseiras. A inclusão de sub-ficheiros serve para facilitar a composição da peça actual utilizando outras peças ou sub-partes definidas noutras ficheiros. Cada inclusão é especificada juntamente com uma matriz de transformação a aplicar à sub-partes incluída.

Os restantes tipos de dados consistem na representação da peça em si. As linhas opcionais são linhas que só deverão ser desenhadas consoante alguns pontos são visíveis ou não, e são utilizados

para desenhar os contornos de cilindros, por exemplo. Este tipo de linhas, dada a complexidade da sua aplicação e sua limitada relevância, foi descartada nesta implementação.

B.2 Representação em OpenSG

Na solução desenvolvida, cada peça tem uma estrutura como a visível na Figura B.46. Cada peça contém um grafo de cena, sendo o nó principal representativo da peça em si e possui as transformações, como translações e rotações, a serem aplicadas à peça. Assim, ao aplicar uma transformação a este nó, essa transformação é igualmente aplicada a todos as suas sub-partes. Este nó é também o pai de nós com a geometria das peças e todas as sub-partes. Foram utilizados dois nós OpenSG distintos para a informação sobre a geometria da peça. O primeiro tem a geometria da peça em si - triângulos e quadriláteros, e o segundo tem a geometria das linhas. Assim é possível não efectuar o desenho das linhas, exibindo um desenho mais realista das peças, sendo apenas necessário desactivar este segundo nó.

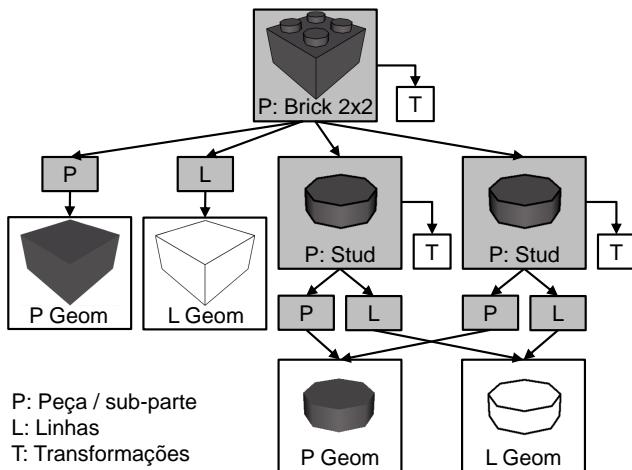


Figura B.46: Estrutura de peça de LEGO simplificada para um *brick 2x2*. Os quadrados cinzentos representam nós de OpenSG e os brancos os respectivos núcleos.

Em cada peça há também uma referência à estrutura correspondente a cada uma das suas sub-partes, de modo a ser possível mudar a cor de uma peça. Para isso, é necessário mudar a cor do material da geometria da peça, assim como da geometria de cada uma das sub-partes de forma recursiva.

Para alcançar uma maior eficiência em termos de memória, e uma vez que muitas peças têm sub-partes comuns, foi implementada uma *cache* para as peças, ilustrada na Figura B.47, que

é totalmente carregada no início da execução da aplicação. Ao contrário da estrutura das peças descrita acima, esta *cache* não é um grafo de cena. Para cada peça, são armazenadas as geometrias necessárias para cada cor e as matrizes de transformação a serem aplicadas a cada sub-partes. Com esta abordagem, é possível que apenas uma geometria seja criada para cada sub-partes, sendo partilhada por todas as peças que a incluem, sendo somente necessária a aplicação da respectiva matriz de transformação para cada caso.

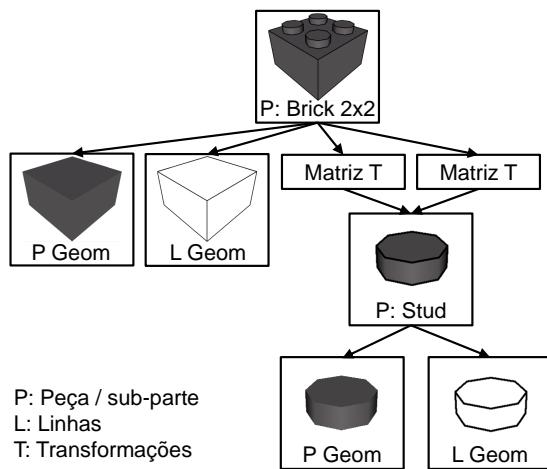


Figura B.47: Estrutura da *cache* para o mesmo *brick 2x2*.

Conforme mencionado, o único META comando de LDraw que será aqui desenvolvido serão os que recaem sobre o recorte de faces traseiras. Os restantes não foram considerados. O formato LDraw permite que se possa definir o tipo de recorte de faces traseiras a efectuar, recorrendo a META comandos. Desta forma é possível definir um polígono especificando os seus vértices no sentido horário ou anti-horário. Além disso, existe um META comando que permite inverter o teste para o recorte de polígonos no meio do arquivo em si. Para conseguir desenhar as peças correctamente, foi necessário que a ordem de inserção dos vértices do polígono na geometria OpenSG fosse variável, dependendo de cada situação em particular, a fim de se conseguir suportar esta diversidade.

Relativamente à conversão de peças do formato LDraw para OpenSG resta ainda o facto de ambos terem diferentes sistemas de coordenadas. Enquanto o primeiro usa um referencial de mão-direita, o segundo utiliza um de mão-esquerda. Para contornar este problema é necessário que para o nó principal de cada peça, e não em nenhuma das suas sub-partes, seja aplicada uma transformação de escala com os valores de 1, -1, -1 para x, y e z, respectivamente, ou seja, uma inversão da peça relativamente aos eixos dos yy e dos zz.

Anexo C

Testes Técnicas Manipulação

C.1 Questionário

Questionário

I. Perfil do utilizador

1. Qual a sua idade?

- a) Menos de 10 anos
-
- b) Entre 10 e 14 anos
-
- c) Entre 15 e 17 anos
-
- d) Entre 18 e 34 anos
-
- e) Entre 35 e 55 anos
-
- f) Mais de 55 anos
-

2. Quais as suas habilitações literárias?

- a) 9º ano ou inferior
-
- b) 12º ano ou equivalente
-
- c) Curso Superior
-

3. Como se considera relativamente à utilização de computadores?

- a) Utilizador inexperiente
-
- b) Utilizador regular
-
- c) Utilizador experiente
-

4. Possui alguma experiência na utilização de programas de manipulação de imagens (Photoshop, GIMP, Visio, etc.)?

- a) Nenhuma
-
- b) Alguma
-
- c) Muita
-

5. Possui alguma experiência na utilização de programas de modelação tridimensional (CAD, SketchUp, 3D Studio Max, Maya, etc.)?

- a) Nenhuma
-
- b) Alguma
-
- c) Muita
-

6. Possui alguma experiência na utilização de superfícies multi-toque?

- a) Nenhuma
-
- b) Alguma
-
- c) Muita
-

6.1 Se possui pelo menos alguma, que dispositivos multi-toque já utilizou?

II. Avaliação das técnicas

1. Como classifica a translação das peças?

Comentários adicionais:

	Má						Boa
1ª técnica	<input type="checkbox"/>						
2ª técnica	<input type="checkbox"/>						
3ª técnica	<input type="checkbox"/>						
4ª técnica	<input type="checkbox"/>						

2. Como classifica a rotação das peças?

	Má						Boa
1ª técnica	<input type="checkbox"/>						
2ª técnica	<input type="checkbox"/>						
3ª técnica	<input type="checkbox"/>						

A preencher pela equipa

ID utilizador

C.2 Resultados

Perfis

UID	Pergunta						6,1
	1	2	3	4	5	6	6,1
1	d	c	c	a	b	b	iPad
2	b	a	b	a	a	a	
3	d	b	b	a	b	b	Telemóvel
4	d	c	c	b	c	c	iPhone
5	d	c	c	b	a	b	Galaxy S
6	d	c	b	a	a	a	
7	d	c	c	b	a	c	Mesa
8	d	c	b	a	a	a	
9	d	b	c	c	c	c	iPhone
10	d	c	c	b	a	c	Telemóvel
11	d	c	c	a	a	b	iPad
12	d	c	b	c	b	b	
13	d	c	c	b	b	b	Smartphone
14	d	b	b	b	a	b	Telemóvel
15	d	c	b	a	a	b	iPhone
16	d	c	c	b	a	c	iPhone
17	d	c	b	b	c	b	iPhone
18	d	c	c	c	b	b	
19	d	c	b	b	a	a	
20	d	c	c	b	b	c	Mesa

Classificações

UID	Translação				Rotação		
	HZ	ZT	OR	PS	RH	CDA	UDA
1	4	5	5	6	5	6	4
2	5	4	5	6	3	4	2
3	4	6	5	6	6	4	3
4	4	2	5	5	5	2	6
5	3	1	5	5	4	5	2
6	3	3	1	5	4	5	2
7	3	6	4	5	5	4	3
8	6	3	5	6	6	6	5
9	5	3	2	4	5	3	2
10	6	2	4	2	4	5	2
11	5	4	6	5	5	3	6
12	2	4	6	4	2	6	5
13	3	4	4	5	4	2	5
14	2	5	5	3	5	6	3
15	6	5	6	6	5	6	6
16	5	6	3	5	5	3	5
17	3	3	6	6	6	3	1
18	5	4	6	1	6	5	3
19	2	3	4	5	6	5	5
20	5	3	6	5	6	4	3

Tempos

UID	Translação				Rotação		
	HZ	ZT	OR	PS	RH	CDA	UDA
1		02:27	01:37	02:02	01:44	01:37	02:36
2	02:00	02:21	01:28	01:41			01:35
3	02:35	01:45	01:35	01:07	01:40	02:38	02:51
4	00:43	01:08	00:44	00:51	00:56	01:37	01:09
5	02:16	01:56	01:24	00:54	01:43	01:35	
6		02:20		01:47	02:16	02:11	02:38
7	02:54	01:29	01:29	01:32	01:32	01:28	01:11
8			02:26	01:12	02:16	02:39	02:36
9	01:25	01:41	01:24	01:21	01:19	02:09	
10	01:23	02:56	01:44		01:44	01:30	01:43
11		02:49	01:44	01:30	01:11	02:17	02:10
12	02:21	01:45	02:17		01:23	02:13	01:09
13		02:19	02:33	01:52	01:39		02:25
14		01:43	01:47	02:53	02:12	02:06	02:39
15		01:12	01:39	00:54			
16	01:18	02:09	01:35	01:36	01:29	01:37	01:13
17		02:30	01:30	01:02	01:31	01:53	02:08
18	01:26	02:16	00:57		01:05	01:44	01:25
19	01:44				01:51		02:13
20	01:05	01:14	01:01	01:13	01:41	01:38	02:02

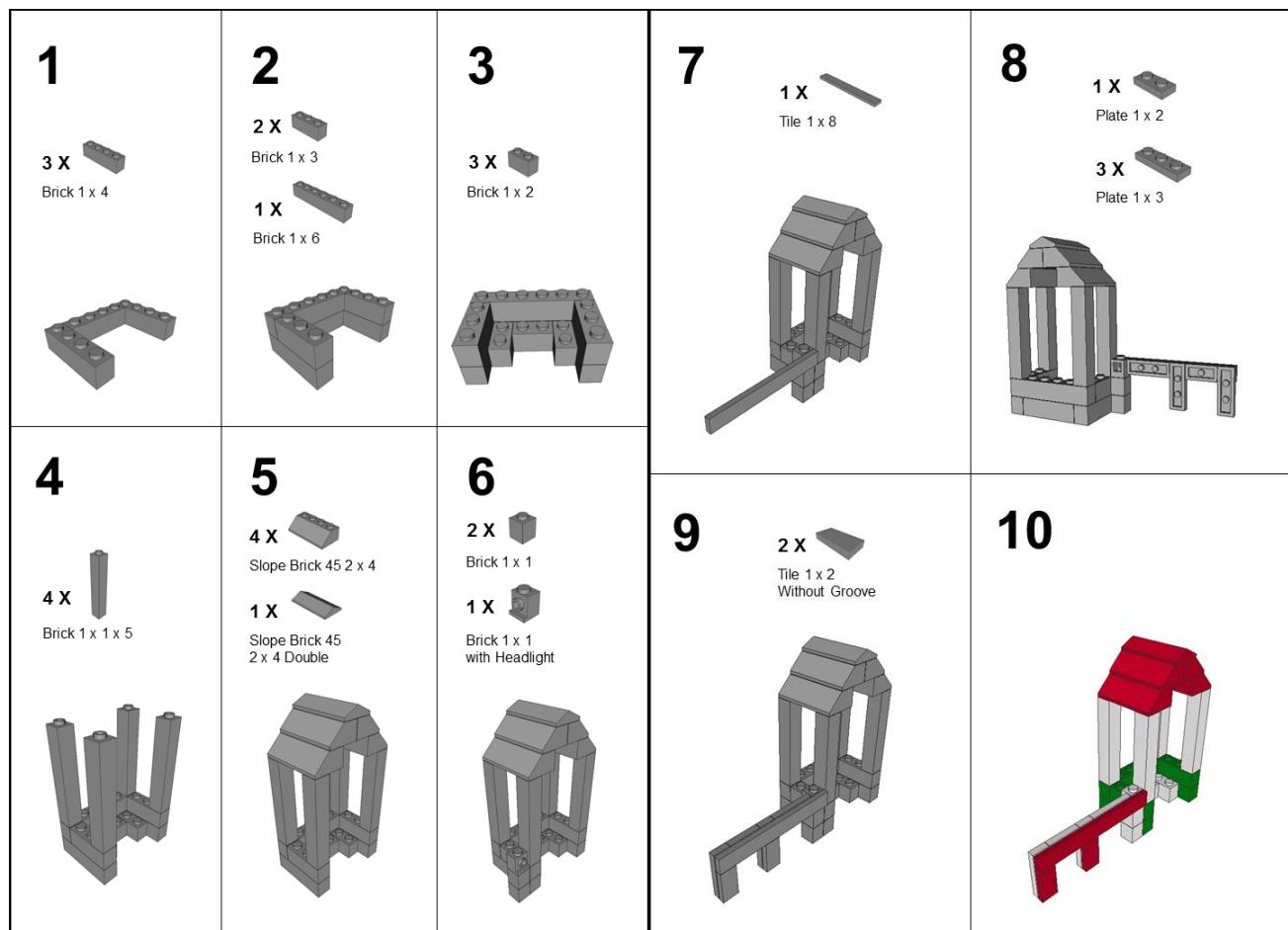
HZ - Horizontal-Z
 ZT - Z-Technique
 OR - Orthogonal
 PS - Plane-Switch

RH - Rotation-Handles
 CDA - Camera-Defined-Axis
 UDA - User-Defined-Axis

Anexo D

Testes Validação Solução

D.1 Instruções da “Casinha do Guarda”



D.2 Questionários

LTouchIt: User Profile

Estas perguntas pretendem compreender um pouco sobre o teu perfil, especialmente se tens experiências com estas aplicações 3D ou de legos, e com multitoque.

* Required

Número de identificação anónimo (basta pedires que te fornecemos) *

Género *

Masculino
 Feminino

Idade *

Experiência prévia com aplicações 3D

Qual a tua experiência com programas de 3D? *

Nunca usei
 Tenho alguma experiência (uso ocasional)
 Tenho muita experiência (uso regular e/ou diário)

Experiência com dispositivos multitoque (telemóveis, mesas, etc..)

Qual a tua experiência? *

Nunca usei
 Tenho alguma experiência (uso ocasional)
 Tenho muita experiência (uso regular e/ou diário)

Se sim, quais dispositivos já usaste? (opcional)

Powered by [Google Docs Report Abuse](#) · [Terms of Service](#) · [Additional Terms](#)

LDD: lego digital designer

O presente questionário reflecte sobre a experiência de utilização da aplicação Lego Digital Designer.

* Required

Utilizador

Este teste é anónimo, mas pedimos-te que coloques aqui o teu número (que te fornecemos como identificador anónimo de utilizador).

Número Identificador de Utilizador *

Lego Digital Designer

Teste: Construir a "casinha do guarda"

Nesta tarefa criaste tiveste de construir a "casinha do guarda". Deixa aqui a tua opinião sobre os vários pontos que nos são relevantes.

Classifica a dificuldade/facilidade que tiveste a construir este modelo * Aqui deves tomar em atenção o quanto difícil achaste de completar a construção.

1 2 3 4

difícil fácil

Classifica o quanto divertido é construir este modelo *

1 2 3 4

difícil fácil

Classifica a fluidez da tua experiência a construir este modelo * Aqui deves entender uma experiência de interacção fluida como "quando não tens muitas interrupções, nem tens distrações fora o foco em pegar em peças e construir". Por outro lado uma experiência pouco fluida será uma em que "sentiste que estiveste sempre a ser interrompido de usar as peças".

1 2 3 4

difícil fácil

Manipular Camera

Aqui pretendemos que nos expliques o que achaste de cada um dos movimentos da camera: rodar, mover e zoom.

Quão fácil é mover a camera *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é rodar a camera *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é fazer zoom na camera *

1 2 3 4

difícil fácil

Manipular peças (apanhar, mover, rodar, pesquisar e remover.)

Aqui pretendemos que nos expliques o que achaste da tua interacção com as peças: apanhar, mover, rodar, pesquisar e remover.

Quão fácil é apanhar (selecionar) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é mover (arrastar) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é rodar (usando os eixos) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é pesquisar (na lista das peças) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é remover uma peça (responde só se usaste)

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é clonar (copiar) uma peça (responde só se usaste)

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é pintar (colorir) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Submit

Powered by [Google Docs Report Abuse - Terms of Service - Additional Terms](#)

LTouchIt: Interactive Lego! (Mesa Multitoque)

O presente questionário reflecte sobre a experiência de utilização da aplicação de Lego na mesa multitoque.

* Required

Utilizador

Este teste é anónimo, mas pedimos-te que coloques aqui o teu número (que te fornecemos como identificador anónimo de utilizador).

Número Identificador de Utilizador *

Mesa Multitoque

As perguntas abaixo correspondem as tarefas executadas na mesa multitoque.

Teste: Construir a "casinha do guarda"

Nesta tarefa criaste tiveste de construir a "casinha do guarda" na mesa multitoque. Deixa aqui a tua opinião sobre os vários pontos que nos são relevantes.

Classifica a dificuldade/facilidade que tiveste a construir este modelo na mesa * Aqui deves tomar em atenção o quanto difícil achaste de completar a construção.

1 2 3 4

difícil fácil

Classifica o quanto divertido é construir este modelo na mesa *

1 2 3 4

difícil fácil

Classifica a fluidez da tua experiência a construir este modelo na mesa * Aqui deves entender uma experiência de interacção fluida como "quando não tens muitas interrupções, nem tens distrações fora o foco em pegar em peças e construir". Por outro lado uma experiência pouco fluida será uma em que "sentiste que estiveste sempre a ser interrompido de usar as peças".

1 2 3 4

difícil fácil

Quão útil achaste a ferramenta de clonagem (copiar peças para criar novas) *

1 2 3 4

inútil (ou se não usaste) útil

Quão útil achaste a ferramenta de centrar o modelo *

1 2 3 4

inútil (ou se não usaste) útil

Manipular Camera na mesa multitoque

Aqui pretendemos que nos expliques o que achaste de cada um dos movimentos da camera: rodar, mover e zoom.

Quão fácil é mover a camera *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é rodar a camera *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é fazer zoom na camera *

1 2 3 4

difícil fácil

Manipular peças (apanhar, mover, rodar, pesquisar e remover.)

Aqui pretendemos que nos expliques o que achaste da tua interacção com as peças: apanhar, mover, rodar, pesquisar e remover.

Quão fácil é apanhar (selecionar) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é mover (arrastar) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é rodar (usando os eixos) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é pesquisar (na lista das peças) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é remover uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é clonar (copiar) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Quão fácil é pintar (colorir) uma peça *

1 2 3 4

difícil fácil

Submit

Powered by [Google Docs Report Abuse - Terms of Service - Additional Terms](#)

D.3 Resultados

Perfis

UID	Género	Idade	Experiência 3D	Experiência MT	Dispositivos MT
1	M	25	b	c	Smartphone
2	M	26	c	c	iPhone
3	M	24	c	c	Telemóvel, Mesa
4	M	25	a	b	Galaxy S
5	M	26	b	b	Telefone, mesa
6	M	25	b	b	
7	F	25	a	a	
8	F	26	a	c	Telemóvel
9	M	26	b	c	iPhone
10	M	26	a	b	iPhone
11	F	23	a	a	
12	M	25	c	c	iPhone
13	F	23	c	c	
14	M	26	a	b	Telemóvel
15	M	24	b	c	iPhone
16	M	25	b	c	iPhone
17	M	11	a	a	
18	M	26	c	b	
19	M	12	a	b	
20	F	21	b	b	

a - Nenhuma
b - Alguma
c - Muita

LTouchIT

UID	Time	Easy	Fun	Fluid	Pan	Orbit	Zoom	Pick	Move	Rotate	Search	Remove	Clone	Paint
1	15:23	3	2	2	4	3	2	2	2	4	3	4	2	4
2	09:33	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	2	4
3	10:36	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4
4	10:43	4	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4
5	14:07	2	3	1	2	4	4	3	4	4	3	4	3	4
6	12:45	3	3	3	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4
7	18:33	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	17:57	3	3	2	3	3	2	3	2	3	4	2	4	4
9	19:09	2	4	2	2	3	4	4	3	3	4	4	4	4
10	14:18	2	2	2	2	2	4	2	3	3	4	3	3	4
11	19:00	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
12	10:15	3	4	3	4	4	4	3	4	4	3	3	3	4
13	14:25	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
14	17:09	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
15	19:12	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4
16	12:46	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4
17	21:05	2	3	2	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4
18	11:03	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
19	24:06	2	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4
20	12:32	3	2	2	1	1	3	4	4	4	4	4	4	4

LEGO Digital Designer

UID	Time	Easy	Fun	Fluid	Pan	Orbit	Zoom	Pick	Move	Rotate	Search	Remove	Clone	Paint
1	11:55	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4
2	08:43	3	2	2	1	4	4	3	2	2	3	1	2	2
3	10:39	2	1	1	4	4	4	4	3	2	1	1	1	1
4	12:09	3	3	3	3	3	4	3	4	2	2	4	3	3
5	10:50	4	2	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4	2
6	09:20	3	2	3	4	4	4	3	4	2	1	3	4	4
7	11:24	4	4	3	4	4	4	3	3	4	2	4	4	3
8	15:00	4	4	3	4	4	4	4	4	3	2	4	4	4
9	15:37	4	3	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4	4
10	09:11	3	3	3	2	4	4	3	3	3	2	3	3	3
11	13:32	4	3	3	4	4	4	4	3	3	2	4	4	4
12	09:40	4	3	2	4	4	4	4	4	1	3	3	4	4
13	11:30	3	2	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3
14	15:49	2	2	1	3	4	4	4	2	1	2	3	4	4
15	16:35	3	2	4	3	4	4	4	3	2	3	4	4	4
16	12:24	3	4	3	4	4	4	4	2	4	3	4	4	4
17	15:53	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
18	11:58	3	4	4	3	4	4	4	2	2	4	4	4	3
19	12:54	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
20	10:32	3	3	3	3	3	4	2	2	1	3	4	4	2

MLCad

UID	Time	Easy	Fun	Fluid	Pan	Orbit	Zoom	Pick	Move	Rotate	Search	Remove	Clone	Paint
1	15:15	4	2	3	1	1	4	4	2	4	1	3	1	1
2	10:15	2	1	2	2	1	3	4	3	3	2	2	3	3
3	07:42	4	2	4	2	2	4	4	4	3	2	4	2	2
4	15:45	2	2	2	2	2	4	1	4	2	1	4	4	4
5	14:58	3	2	3				4	4	2	2	4	4	2
6	10:48	4	1	4		3		4	4	4	2	4	4	3
7	18:24	3	4	3	3	3	4	3	4	1	2	4	4	1
8	17:39	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
9	27:00	3	3	4	3	4	4	3	4	4	2	4	4	4
10	09:11	3	3	2	4	4		4	4	3	4		4	4
11	21:52	3	2	2				3	3	3	2	3	3	3
12	09:30	3	1	2	3	3	4	4	4	3	1	4	3	3
13	11:46	3	1	2	2	2	2	4	2	2	2		3	3
14	14:51	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	2	4
15	20:11	3	2	4	3	4	4	4	4	4	2	3	3	3
16	16:35	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
17	20:34	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3		3	
18	15:24	3	2	3	2	2	2	3	1	4	2	4	4	3
19	18:00	4	2	3	4	4	4	4	4	4	2	4		4
20	13:52	2	1	2		1	4	4	4	3	1	4	2	4