

Estudo Comparativo de Aplicações para a Construção de Modelos LEGO™

Daniel Mendes Alfredo Ferreira
 Instituto Superior Técnico / INESC-ID
 R. Alves Redol, 9, 1000-029 Lisboa, Portugal

danielmendes@ist.utl.pt, alfredo.ferreira@inesc-id.pt

Resumo

A construção de modelos LEGO™ é um passatempo popular não apenas para crianças e jovens, mas também para adultos de todas as idades. Acompanhando a evolução tecnológica, existem actualmente diversas aplicações que permitem a construção de modelos virtuais. Neste documento é descrito um teste com utilizadores realizado com o objectivo de comparar três destas aplicações. Com base nos resultados obtidos, tentou-se compreender quais as abordagens que mais agradam e desagradam aos utilizadores no que se refere à interacção com este tipo de aplicações. Pretende-se assim reunir informação que suporte o desenvolvimento de aplicações para construção de LEGO™ virtual baseadas em novos paradigmas de interacção.

Palavras-Chave

Estudo Comparativo, Testes com Utilizadores, Ferramentas de Modelação, LEGO™

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da sua infância muitas pessoas brincaram com blocos de construção que encaixavam uns nos outros de modo a criar aquilo que a imaginação ditava. LEGO™ é o mais famoso fabricante deste tipo de brinquedos, globalmente conhecido pelos seus blocos de construção e não só. Na realidade, construir modelos LEGO™ é uma actividade partilhada por pessoas de todas as idades. Como complemento aos tradicionais blocos de plástico, existem actualmente diversas aplicações que permitem construir modelos de forma virtual.

A construção de modelos LEGO™ virtuais permite uma maior liberdade criativa, visto não haver a necessidade de adquirir os ditos blocos, tendo-se disponível uma grande variedade destes. A popularidade destas aplicações tem vindo a aumentar e, inclusivamente, já foram realizados estudos comparativos entre a construção de modelos de LEGO™ com peças físicas e a sua criação com ferramentas virtuais [Baradaran 06]. Uma das conclusões deste estudo foi o facto de a construção no ambiente real ser mais rápida, para utilizadores noviços, que em ambiente virtual. Não encontramos, no entanto, nenhum focado em comparar diferentes programas e abordagens para a construção de LEGO™ virtual.

Neste artigo apresenta-se um estudo comparativo de aplicações para a criação de modelos LEGO™ virtuais. Este estudo envolveu um conjunto de utilizadores noviços e surge no âmbito do projecto LTouchIT. Este projecto tem

como objectivo final o desenvolvimento de uma aplicação de criação de modelos LEGO™ para uma superfície multi-toque. Esta aplicação deverá oferecer aos utilizadores interacção mais natural do que as tradicionais ferramentas WIMP e mais próxima do modelo mental que estes já possuem sobre a manipulação das peças no mundo real.

Com esta análise pretende-se compreender do ponto de vista dos utilizadores, qual a melhor abordagem a seguir no que toca à construção de modelos LEGO™ virtuais. Nomeadamente, serão identificados os pontos fortes e fracos das diversas aplicações, assim como aspectos que poderiam ser melhorados. A partir da análise dos dados obtidos será possível encaminhar o desenvolvimento de uma aplicação para uma superfície multi-toque para a criação deste tipo de modelos, orientada para as necessidades e expectativas dos utilizadores.

No restante do documento iremos apresentar as três aplicações incluídas neste estudo e a metodologia utilizada para a realização dos testes. Iremos ainda descrever as condições em que decorreu a experiência e qual o perfil dos utilizadores participantes. Por fim, apresentaremos os resultados obtidos e as respectivas conclusões, indicando o caminho para trabalho futuro.

2 SISTEMAS A TESTAR

Para efectuar o referido estudo, foram efectuados testes com utilizadores, nos quais foram consideradas três aplicações, as vulgarmente utilizadas para esta finalidade: LEGO™ Digital Designer, MLCad e LeoCAD.

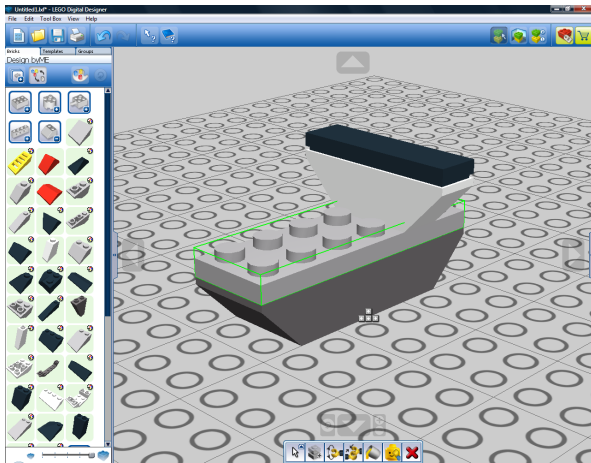


Figura 1: Ecrã da aplicação LEGO™ Digital Designer.

De seguida encontram-se apontadas as principais características de cada uma destas aplicações, nomeadamente no que se refere à procura, selecção, manipulação das peças e controle da câmara.

2.1 LEGO™ Digital Designer

O primeiro destes sistemas, o LEGO™ Digital Designer (LDD) [ldr10], é uma aplicação proprietária da LEGO™, pelo que é uma aplicação fechada. A modelação é feita num ambiente tridimensional e possui um sistema de ajuda eficiente nas ligações entre as peças, sendo a única aplicação neste estudo que impede a sobreposição de peças.

A aplicação apresenta as peças listadas pelo seu *thumbnail*, 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 ver na Figura 1. 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 direccionais para cada rotação de 90°, não sendo possível rotações intermédias.

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.

2.2 MLCad

O MLCad [mlc10] é um sistema de CAD aplicado à construção de modelos de LEGO™ e é principalmente orientado à criação de instruções de construção. À semelhança das tradicionais ferramentas de modelação 3D,

o MLCad possui quatro *viewports*, conforme se pode ver na Figura 2. Estes representam diferentes vistas do modelo: três ortogonais (topo, frente e lateral) e uma perspectiva. No entanto, apenas é possível realizar alterações ao modelo nas vistas ortogonais, sendo a vista perspectiva apenas para visualização. Utiliza como base a biblioteca de peças LDraw [ldr10].

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 pelos seus *thumbnails*. O deslocamento das peças efectua-se apenas nos planos das vistas ortogonais, os quais não possuem qualquer 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.

2.3 LeoCAD

O LeoCAD [leo10], tal como a aplicação anterior utiliza a biblioteca LDraw. As suas opções disponibilizam uma grelha, à qual as peças se adaptam a cada meia unidade, e diversos conjuntos de *viewports*. Tanto a grelha como os *viewports* não vêm activos por omissão, mas podem ser activados se necessário. Para alternar entre as diversas funções, como movimentar as peças ou rodar a câmara, é sempre necessário recorrer aos botões da interface.

As peças são apresentadas através de uma lista com grupos, cuja identificação, tanto das peças como dos grupos, é apenas textual. Existe ainda uma janela com pré-visualização da peça seleccionada. Durante a sua manipulação, as peças deslocam-se normalmente num plano horizontal, sendo que para as movimentar num plano

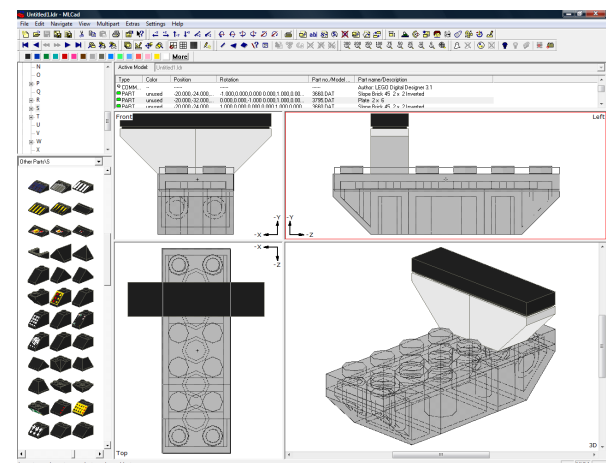


Figura 2: Ecrã da aplicação MLCad.

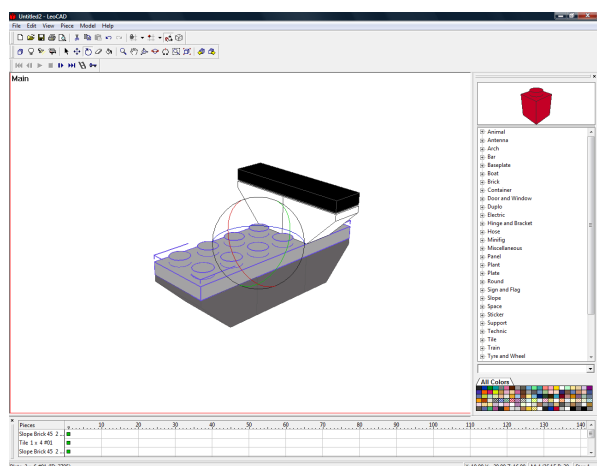


Figura 3: Ecrã da aplicação LeoCAD.

vertical é necessário premir o botão do lado direito do rato ou seleccionar o eixo correspondente. No caso de se utilizar *viewports* ortogonais, as peças movimentam-se paralelamente aos 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 foi seguida uma abordagem idêntica à proposta por Ken Shoemake [Shoemake 92] para especificar orientação tridimensional usando um rato tradicional. A implementação usada no LeoCAD recorre a uma esfera, visível na Figura 3, que roda a peça em intervalos de 30° relativamente a cada um dos três dos eixos. Efectuando a rotação clicando numa das circunferências faz com que a rotação 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 METODOLOGIA DOS TESTES

Com o objectivo de determinar os principais aspectos positivos e negativos de várias aplicações descritas na secção anterior, foram conduzidos um conjunto de testes com utilizadores, seguindo a metodologia sugerida por Preece, Rogers and Sharp [Preece 02].

A sessão de testes com os utilizadores estava organizada em três etapas, identificadas na Tabela 1, juntamente com a respectiva duração. Segue-se uma explicação de cada uma das referidas etapas.

3.1 Introdução à experiência e às aplicações

No início da experiência começou-se por explicar ao utilizador o propósito da sessão e tentou-se familiarizá-lo com as aplicações em causa. Para o efeito, foram apresentadas as principais funcionalidades de cada aplicação, tendo-se seguido uma fase de treino, composta por um período de três minutos para interagir livremente com cada

uma das aplicações.

3.2 Experiência de utilização das aplicações

Após a fase de treino, foi solicitado a cada utilizador que completasse uma tarefa em cada uma das aplicações. A tarefa consistia na construção de um modelo simples, presente na Figura 4, que envolvia procura, selecção, manipulação, rotação e colocação das peças. Para a execução da tarefa em cada aplicação foi disponibilizado um tempo máximo de cinco minutos. Após este tempo seria solicitado ao utilizador que passasse para a próxima aplicação. A ordem pela qual os utilizadores utilizaram as aplicações para efectuarem a tarefa foi aleatória para cada um.

Nesta etapa, foi pedido aos utilizadores que partilhassem os seus pensamentos com o observador enquanto realizavam a tarefa. Desta forma conseguimos compreender melhor quais as principais dificuldades com que os utilizadores se deparavam durante a realização da tarefa. Uma vez que esta abordagem é incompatível com medições de desempenho, estas foram adiadas para uma futura ronda de testes com utilizadores.

Etapa	Nome	Duração
1	Introdução à experiência	10 min
2	Experiência de utilização	15 min
3	Preenchimento do questionário	5 min

Tabela 1: Etapas dos testes com utilizadores.

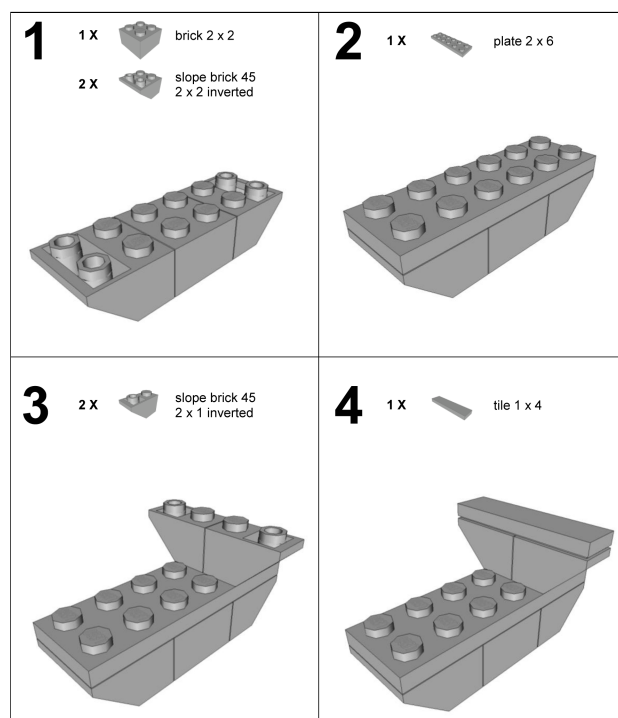


Figura 4: Tarefa a realizar pelos utilizadores.

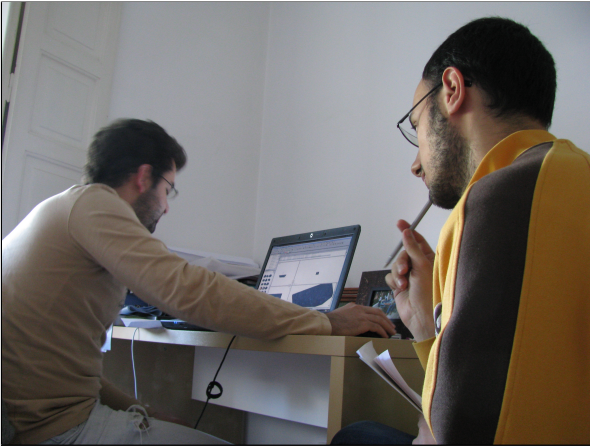


Figura 5: Realização de uma sessão de testes com um utilizador.

3.3 Preenchimento do questionário

Após ter realizado a tarefa nas três aplicações aleatoriamente, foi pedido a cada utilizador que preenchesse um curto questionário. Este questionário focava a experiência com cada uma das aplicações. Esperava-se assim identificar quais os pontos fortes e fracos em cada uma das aplicações, com especial relevo para a procura e selecção de peças, assim como a sua manipulação e a da câmara.

O questionário era composto por um primeiro conjunto de questões de escolha múltipla para identificar o perfil do utilizador, seguido por cinco questões de classificação dos vários aspectos de cada aplicação, expostas na Tabela 2, cuja resposta consistia em avaliar cada aspecto segundo uma escala de Likert com 4 valores, sendo 1 uma má classificação e 4 uma classificação positiva. Por fim, existia uma pergunta de resposta aberta, na qual era solicitado aos utilizadores que apontassem aspectos relevantes, quer positivos quer negativos, das várias aplicações.

4 TESTES COM UTILIZADORES

Os testes envolveram 21 utilizadores e foram realizados num ambiente calmo e controlado, proporcionando uma execução dos testes sem interrupções, ilustrado na Figura 5. A tarefa foi executada num computador portátil, equipado com ecrã de 15.6" na resolução de 1280x800 pixels e sobre o sistema operativo Microsoft Windows Vista. Foi utilizado um rato externo sem fios, de modo a proporcionar uma interacção mais familiar a todos os utilizadores, em vez do touchpad incorporado.

As idades dos utilizadores foram variadas, sendo que o utilizador mais novo tinha 9 anos. A grande maioria (76%) dos utilizadores situava-se na faixa etária entre os 18 e os 34 anos e mais de metade (62%) dos utilizadores detinham um curso superior.

Todos os utilizadores possuíam alguma experiência na utilização de computadores, sendo que 48% asseguraram ser muito experientes. No que toca à utilização de programas de manipulação de imagens e de modelação tridimen-

sional, a maior parte dos utilizadores afirmaram ter, pelo menos, alguma experiência (76% e 71%, respectivamente).

Dois terços dos utilizadores constataram terem feito construções em LEGOTM tradicional muitas vezes, sendo que o terço restante fez algumas vezes. No entanto, nenhum dos utilizadores tinha utilizado previamente um programa de construção de modelos LEGOTM virtuais.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As classificações resultantes das avaliações efectuadas pelos utilizadores, relativas a cada questão para cada aplicação, estão representadas através da sua média no gráfico da Figura 6. Utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk e constatou-se que os valores atribuídos pelos utilizadores seguem uma distribuição normal para $\alpha = .05$ ($.000 \leq \text{sig.} \leq .012$). Estes valores foram depois analisadas usando uma One-Way ANOVA. Para as questões 1,3,4 e 5, as médias obtidas são significativamente diferentes para qualquer valor de α ($\text{sig.} = .000$). Para a questão 2, as médias obtidas são significativamente diferentes para $\alpha = .01$ ($\text{sig.} = .002$).

Analisando o gráfico da figura 6, pode-se concluir que o LDD é o que melhor cumpre a função de construção de modelos LEGOTM nos vários aspectos estudados, garantindo ao utilizador uma maior satisfação na sua utilização. Considerando a primeira questão no gráfico, constata-se que a distância que separa o LeoCAD do MLCad é bastante superior à que separa este último do LDD. Tal pode ser justificado, para além de outros aspectos mencionados nas secções seguintes, com a necessidade de recorrer constantemente a botões na interface para alternar entre funções no MLCad, o que causou, por várias vezes, confusão aos utilizadores.

Embora a utilização de medidas de desempenho seja incompatível com a técnica *think aloud* utilizada, os tempos obtidos pelos utilizadores na realização das tarefas e o número de utilizadores que completaram as tarefas com sucesso no tempo limite de cinco minutos encontram-se nas Figuras 7 e 8 respectivamente, a título ilustrativo. Apesar de o objectivo deste estudo recair sobre as preferências dos utilizadores relativamente a diferentes abordagens para a criação de modelos LEGOTM virtual, ao invés de analisar o desempenho nas diferentes aplicações, nota-se que, mais uma vez, a da aplicação da LEGOTM apresenta melhores resultados.

De seguida são analisados os principais aspectos relativos à modelação de LEGOTM virtual, nomeadamente a selecção e manipulação das peças e controlo da câmara, tendo como base as respostas dos utilizadores ao questionário, assim como os seus comentários aquando da experiência de utilização.

5.1 Procura e Selecção de Peças

No que toca à procura e selecção de peças, as opiniões dos utilizadores, manifestadas na segunda questão, foram um pouco variadas, tendo sido, na sua maioria, preferencial em relação ao LEGOTM Digital Designer. Embora

Nº	Questão
Q1	De uma forma geral, como classifica a sua satisfação na utilização da aplicação?
Q2	Como classifica a procura e selecção de peças?
Q3	Como classifica a movimentação e colocação das peças no modelo (excluindo a rotação)?
Q4	Como classifica a rotação das peças?
Q5	Como classifica a visualização do modelo e a navegação pela cena?

Tabela 2: Questões presentes no questionário de satisfação.

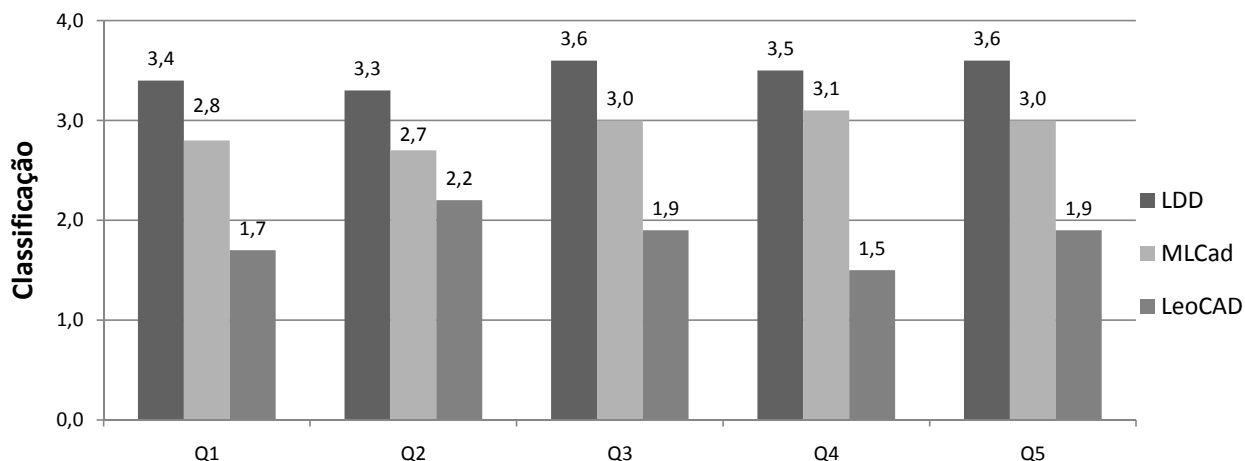


Figura 6: Classificações médias das aplicações nas cinco questões.

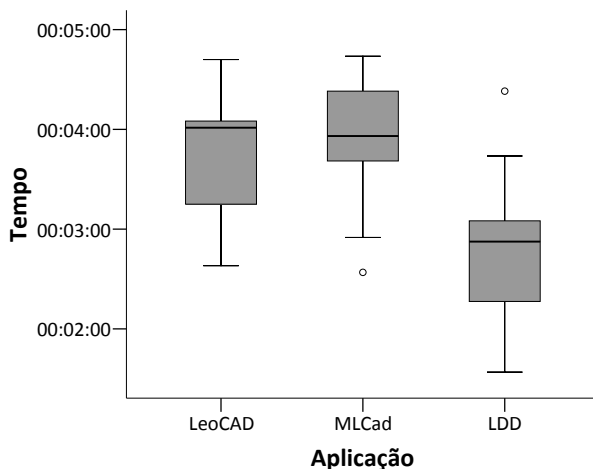


Figura 7: Tempos obtidos na realização das tarefas nas diferentes aplicações.

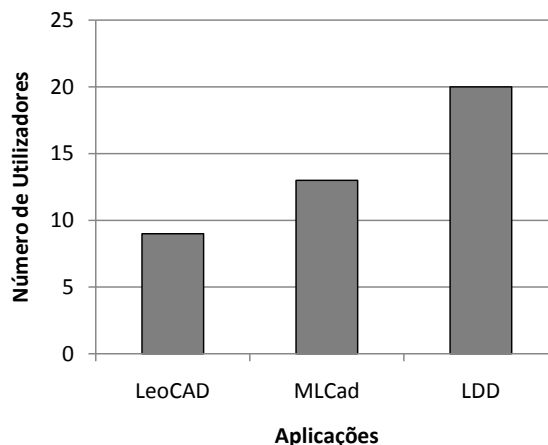


Figura 8: Número de utilizadores que completaram a tarefa com sucesso em cada uma das aplicações.

os utilizadores concordassem que a organização das peças no LDD é a que transmite a sensação de LEGO™ tradicional, o facto de não ser de fácil percepção o grupo a que uma dada peça pertence e, ainda, a tarefa possuir nas suas instruções o nome das peças, fez com que vários utilizadores considerassem a pesquisa por nomes mais fácil. Uma vez que, no LDD, pousando o cursor sobre uma peça, na lista de peças, mostra o seu nome, que geralmente inclui as dimensões da peça, vários utilizadores recorreram a isto

para terem conhecimento destas dimensões, dado que nem sempre foi claro observando apenas o *thumbnail*.

O que permitiu que o MLCad se distanciasse do LeoCAD neste campo, visto que ambos possuem as peças listadas textualmente, deveu-se à primeira também possuir uma listagem visual do conteúdo dos grupos, Não obstante de, no MLCad, nem sempre o *thumbnail* das peças coincidir com a peça seleccionada e algumas peças estarem agru-

padas num grupo específico e outras estarem por ordem alfabética. A possibilidade de arrastar a peça quer pelo nome, quer da lista com imagens foi um aspecto positivo desta aplicação, agradando a utilizadores com diferentes preferências. Houve alguns utilizadores que tentaram arrastar a peça também pelo seu *thumbnail* no LeoCAD, mas sem sucesso. O facto de no LDD não se arrastar a peça para a cena, mas sendo necessário clicar nela para fazer com que ela passe a seguir o cursor e depois clicar quando estiver no sítio pretendido originou alguma confusão e frustração.

De realçar o facto de vários utilizadores terem recorrido, por iniciativa própria, à funcionalidade de copiar e colar que os programas ofereciam, para duplicar algumas peças. Tal possibilidade foi do agrado destes utilizadores, sendo-lhes poupado o esforço de ir à lista de peças e colocar a peça na cena.

5.2 Translação e Rotação das Peças

Na terceira questão, relativa à movimentação e colocação das peças no modelo, mais uma vez o LDD foi a aplicação predilecta dos utilizadores. Para isto ajudou possuir um sistema de adaptação das peças umas às outras e à grelha que serve de base à construção. Este sistema, no entanto, originou que, por diversas ocasiões, o programa considerasse uma posição para a peça diferente da que o utilizador pretendia. Por exemplo, o utilizador pretendia colocar uma peça adjacente a outra e o programa colocava-a por baixo. Esta desvantagem foi facilmente controlável movimentando-se a câmara para um ângulo que tornasse as intenções do utilizador mais claras. A ausência de um mecanismo deste género foi apontada como uma falha nos outros dois programas por vários utilizadores, sendo que, por vezes, recorreram às setas direccionais para conseguir posicionar a peça com uma melhor precisão.

Por seu lado, o LeoCAD não possui um mecanismo de colocação das peças. No entanto, este programa tenta adaptar as peças a outras que já existam na cena, mas apenas quando se arrasta a peça da lista e nunca tendo ficado na posição que os utilizadores pretendiam. Uma vez estando a peça colocada na cena, quando o utilizador a move este mecanismo deixa de existir. Este semi-sistema de adaptação das peças foi mais uma fonte de frustração para os utilizadores. Adicionalmente, o facto das peças apenas se movimentarem num plano horizontal, sendo necessário uma acção especial para a mover na vertical e não seguirem exactamente o cursor enquanto são arrastadas, confundiu vários utilizadores.

A rotação das peças é claramente o aspecto mais fraco do LeoCAD, causando uma certa frustração a vários utilizadores. Embora seja a que fornece uma maior liberdade na rotação, esta liberdade não é do agrado dos utilizadores, tendo originado várias rotações que não as pretendidas. Totalmente oposto ao LeoCAD, o sistema de rotação de peças do LDD, só permitindo a rotação segundo dois eixos e ângulos estabelecidos três vezes superiores aos da primeira aplicação, foi o que mais cativou os utilizadores, embora tivesse causado alguma confusão o facto de seleccionar uma peça não ser o suficiente para a poder

rodar, sendo necessário primeiro movimentá-la. Em todas as aplicações houve, por vezes, dificuldade em definir o eixo sobre o qual se deveria efectuar a rotação para que a peça ficasse com a orientação desejada.

5.3 Manipulação da Câmara

Por fim, os resultados da última questão, respeitante à manipulação da câmara, revelaram que tanto o LDD como o MLCad foram do agrado dos utilizadores, com uma maior inclinação para o LDD. Em relação ao LDD, tal pode ser explicado devido ao facto do programa dar poucas opções para a rotação da câmara, em comparação com o LeoCAD, o que, mais uma vez, torna a interacção mais simples. Alguns utilizadores chegaram mesmo a evitar efectuar rotações e translações da câmara no LeoCAD, dada a sua complexidade. A elevada classificação dada ao MLCad neste campo é justificável através das diferentes vistas que este possui, evitando a necessidade dos utilizadores terem de controlar a câmara.

A utilização de *viewports* neste último desagradou a quase tantos utilizadores quanto agradou a outros. Esta diferença deve-se, na sua maioria, à experiência dos utilizadores na manipulação de sistemas de CAD ou outras aplicações que possuam um conjunto de vistas semelhante ter ajudado na utilização deste programa. Mesmo para estes utilizadores, foi consensual que as várias perspectivas são práticas, mas não fornecem uma interacção natural, nem o *look-and-feel* de construções LEGO™, havendo aqui vários desafios por resolver.

6 CONCLUSÕES

Neste documento realizou-se um estudo comparativo a um conjunto de três programas de construção de modelos LEGO™. Para o efeito, foram efectuados testes com utilizadores que envolveram vinte e um indivíduos. Foi pedido a cada um destes indivíduos que realizasse uma tarefa de construção de um modelo LEGO™ nas três aplicações, após a qual lhe foi solicitado que respondesse a um questionário de satisfação. Através da análise dos resultados obtidos, estes testes ajudaram a determinar factores importantes a ter em conta no desenvolvimento de uma aplicação de simulação de blocos de construção. Vários destes factores poderão ser também válidos noutro tipo de aplicações de modelação tridimensional.

Foi frequentemente referido pelos utilizadores que o LDD é a aplicação é mais familiar e a que melhor passa a sensação de construções em LEGO™ tradicional. Os utilizadores consideraram mais natural ver as peças listadas pelas suas imagens, mas afirmam ser útil fornecer alguma informação textual como, por exemplo, as suas dimensões. Houve ainda um utilizador que sugeriu que seria interessante possuir um campo de texto para efectuar pesquisas de peças.

Existir um sistema de adaptação das peças e que evite colisões entre elas é importante, contribuindo para uma interacção mais familiar com a aplicação. Ainda no que respeita à simulação do comportamento das peças num cenário de LEGO™ físico, um dos utilizadores mais novos

estranhou ser possível retirar uma peça de baixo de outra, sem que a de cima viesse para baixo, como que por efeito da gravidade.

Mostrou-se que os utilizadores preferem dispor de funções que lhes permitam fazer cumprir os objectivos que pretendem de forma mais simples e clara, mesmo que isso implique uma interacção com um pouco menos liberdade. Tal manifestou-se na movimentação e rotação das peças, assim como na manipulação da câmara.

Com base na informação recolhida neste estudo comparativo, esperamos possibilitar o desenvolvimento de novas aplicações para construção de modelos LEGO™ virtuais com interfaces mais naturais que as existentes. Mais especificamente, esperamos contribuir para o desenvolvimento de soluções que tirem partido de novos dispositivos de interacção, tais como as superfícies multi-toque.

7 Agradecimentos

Este trabalho foi financiado em parte pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através do projecto 3DORuS (PTDC/EIA-EIA/102930/2008).

Referências

- [Baradaran 06] H. Baradaran e W. Stuerzlinger. A Comparison of Real and Virtual 3D Construction Tools with Novice Users. *CGVR'06*, 2006.
- [ldd10] Lego digital designer. <http://ldd.lego.com/>, visitado em 28 Maio 2010.
- [ldr10] Ldraw. <http://www.ldraw.org/>, visitado em 28 Maio 2010.
- [leo10] Leocad. <http://www.leocad.org/>, visitado em 28 Maio 2010.
- [mlc10] Mlcad. <http://www.lm-software.com/mlcad/>, visitado em 28 Maio 2010.
- [Preece 02] Jenny Preece, Yvonne Rogers, e Helen Sharp. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*, capítulo 14. John Wiley and Sons Ltd, 2002.
- [Shoemake 92] Ken Shoemake. Arcball: a user interface for specifying three-dimensional orientation using a mouse. Em *Proceedings of the conference on Graphics interface '92*, páginas 151–156, San Francisco, CA, USA, 1992. Morgan Kaufmann Publishers Inc.