

UNIVERSIDADE DE LISBOA

Faculdade de Ciências

Departamento de Informática



ESTUDO DE MODOS DE COMANDO EM  
CENÁRIOS DE INTERACÇÃO GESTUAL

Tiago Alexandre Reis Uttini Gomes

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Sistemas de Informação

2010



UNIVERSIDADE DE LISBOA

Faculdade de Ciências

Departamento de Informática



ESTUDO DE MODOS DE COMANDO EM  
CENÁRIOS DE INTERACÇÃO GESTUAL

Tiago Alexandre Reis Uttini Gomes

DISSERTAÇÃO

Trabalho orientado pelo Prof. Doutor Carlos Alberto Pacheco dos Anjos Duarte

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Sistemas de Informação

2010



# Agradecimentos

Ao Professor Carlos Duarte, por me ter orientado ao longo deste trabalho, pelas ideias que trocámos e pela motivação transmitida. Agradeço também pela força que me deu em todos os momentos, pela disponibilidade e paciência que teve para comigo.

À Faculdade de Ciências, ao LaGISE e especialmente ao HCIM e todos os seus membros, por me terem oferecido todas as condições necessárias para a realização deste projecto.

Aos meus Pais por tudo o que me proporcionaram na vida e por me terem dado as condições e a oportunidade de estudar até onde desejei.

À minha namorada por ter sempre uma palavra de apoio quando era preciso e pela compreensão que demonstrou ao longo deste tempo em que nem sempre estive tão presente como gostaria. Amo-te!

Aos Amigos que me têm acompanhado durante anos...é bom poder contar com vocês!

Aos amigos e colegas da Faculdade de Ciências, por vossa causa estes anos serão inesquecíveis.

E por último, mas não menos importante, um agradecimento especial ao Srº Luís Pereira por ter realizado voluntariamente o trabalho de carpintaria necessário para a conclusão deste projecto.



*Para a minha Avó, com muita saudade...*





## Resumo

Recentemente, tem-se assistido a uma “revolução tecnológica” na concepção de dispositivos computacionais que visam a interacção pessoa-máquina. Os periféricos de entrada deixaram de ser a única forma de transmitir intenções às máquinas, sendo agora possível fazê-lo com o próprio corpo. Dispositivos que permitem interacção por toque estão-se a disseminar por locais públicos, mas não é só nestes locais que o fenómeno se verifica. A quantidade de produtos comerciais que permitem este género de interacção também não pára de aumentar, pelo que é necessário compreender as vantagens e desvantagens da interacção gestual e torná-la cada vez mais eficaz.

Existem muitas tecnologias que possibilitam a construção de dispositivos tácteis, variando nas suas capacidades e custos. O estudo dessas tecnologias, no decorrer deste trabalho, resultou na construção de uma mesa interactiva multi-toque de “baixo custo”.

Nos dispositivos vocacionados para interacção gestual as dimensões da superfície com a qual é possível interagir são iguais às dimensões do ecrã, o que leva à necessidade de ter uma especial atenção na concepção de aplicações para estes dispositivos. As características de uma interface concebida para um ecrã de grandes dimensões poderão não ser adequadas para um ecrã de dimensões mais reduzidas, e vice-versa. Além das dimensões, o género de aplicação também influencia o paradigma de interacção. No caso específico de interacção gestual em aplicações de desenho existe a dificuldade acrescida da aplicação compreender quando o gesto do utilizador tem por objectivo desenhar ou executar um comando.

Neste trabalho são apresentados dois conjuntos de gestos de comando com o objectivo de eliminar a ambiguidade existente entre os gestos em aplicações de desenho. São também apresentadas as conclusões de estudos conduzidos para atestar a qualidade dos conjuntos propostos, assim como a sua adequabilidade relativamente a diferentes dimensões de ecrã.

**Palavras-chave:** Superfícies de toque, Mesa interactiva multi-toque, Comandos gestuais, Aplicações de desenho, Superfícies de diferentes dimensões, Estudos de utilizadores.



# Abstract

Lately we've been witnessing a "technologic revolution" in the making of devices that allow human-computer interaction. Input devices are no longer the only way to instruct intentions to computers. It's now possible to do the same using one's own body. Devices that allow touch interaction are being disseminated in public places, but it's not only in those places that the phenomenon occurs. The number of commercial products that allow this kind of interaction doesn't stop growing. So, it's of vital importance to understand the advantages and disadvantages of gestural interaction and make it more effective.

There are a lot of technologies that allow the construction of tactile devices, going through a wide range of capabilities and manufacturing costs. The study of those technologies, during this work, resulted in the construction of a "low-cost" multi-touch interactive table.

In devices oriented for gestural interaction, the dimensions of the surface of interaction are equal to the dimensions of the screen, which demands a special attention in the design of applications for those devices. The features of an interface conceived for a large screen may not be suitable for a screen of smaller dimensions, and vice-versa. Apart from the dimensions, the kind of application can also influence the interaction paradigm. In the specific case of gestural interaction in drawing applications there's also the increased difficulty of making the application understand when the gesture has the objective of drawing or, instead, executing a command.

In this work, two sets of command gestures are introduced, with the goal of disambiguating the intent of gestures in drawing applications. Also presented are the conclusions of studies who aimed to test the quality of the proposed sets, as well as their suitability to multi-sized screens.

**Keywords:** Touch surfaces, Multi-Touch interactive table, Gesture Commands, Drawing Applications, Different size surfaces, User studies.



# Conteúdo

Capítulo 1	Introdução .....	1
1.1	Motivação .....	1
1.2	Objectivos .....	2
1.3	Enquadramento institucional .....	3
1.4	Contribuições .....	4
1.5	Metodologia e plano de trabalhos .....	4
1.6	Organização do documento .....	5
Capítulo 2	Superfícies de Toque .....	7
2.1	História .....	7
2.2	Tecnologias .....	9
2.2.1	Resistivos .....	10
2.2.2	Capacitivos .....	10
2.2.3	Ondas acústicas superficiais .....	11
2.2.4	Ópticos .....	12
2.3	Projectos .....	12
2.3.1	Sistemas padrão baseados em visão .....	12
2.3.2	Sistemas baseados em infravermelhos .....	13
2.4	Modelos de construção baseados em infravermelhos .....	14
2.4.1	FTIR – Frustrated Total Internal Reflection .....	15
2.4.2	DI – Diffused Illumination .....	16
2.4.3	LLP – Laser Light Plane .....	17
2.4.4	DSI – Diffused Surface Illumination .....	18
2.5	Funcionamento .....	18
2.5.1	Monitorização do toque .....	19
2.5.2	TUIO – Tangible User Interface Objects .....	20
2.6	Resumo .....	21
Capítulo 3	Construção de Mesa Interactiva Multi-Toque .....	23

3.1	Protótipos.....	23
3.1.1	Protótipos de <i>touchpad</i> .....	24
3.1.2	Protótipo de mesa interactiva .....	27
3.2	Mesa Interactiva Multi-Toque .....	29
3.2.1	Componentes.....	30
3.2.2	Disposição dos componentes e calibração .....	33
3.3	Análise e trabalho futuro .....	36
Capítulo 4	Interacção Gestual .....	39
4.1	Tecnologia .....	39
4.2	Estilos de gestos .....	40
4.3	Aplicabilidade.....	41
4.4	Gestos de comando.....	44
4.5	Resumo .....	46
Capítulo 5	Interacção Gestual em Superfícies de Diferentes Dimensões sem Teclado.....	49
5.1	Enquadramento.....	49
5.2	Desenvolvimento dos conjuntos de gestos .....	51
5.3	Comparação entre os conjuntos de gestos numa superfície .....	53
5.3.1	Descrição.....	53
5.3.2	Procedimento.....	54
5.3.3	Análise de resultados.....	55
5.3.4	Discussão.....	61
5.4	Comparação entre os conjuntos de gestos em superfícies de diferentes dimensões .....	62
5.4.1	Descrição.....	63
5.4.2	Procedimento.....	65
5.4.3	Análise de resultados.....	65
5.4.4	Discussão.....	68
5.5	Efeito da dimensão da superfície na realização de gestos .....	69

Capítulo 6	Conclusões e Trabalho Futuro .....	73
6.1	Conclusões.....	73
6.2	Trabalho Futuro .....	75
Bibliografia...	.....	77
Anexo A – Primeiro Estudo .....	.....	89
Anexo B – Segundo Estudo .....	.....	95





# Lista de Figuras

Figura 1: Calendarização. ....	5
Figura 2: Plato IV (1972). ....	9
Figura 3: iPad (2010). ....	9
Figura 4: Resistivos. ....	10
Figura 5: Capacitivos. ....	11
Figura 6: Ondas acústicas superficiais. ....	11
Figura 7: Espectro electromagnético. ....	14
Figura 8: FTIR – Esquema. ....	15
Figura 9: FTIR - Imagem captada pela câmara. ....	15
Figura 10: FDI – Imagem captada pela câmara. ....	16
Figura 11: RDI – Esquema. ....	17
Figura 12: RDI - Imagem captada pela câmara. ....	17
Figura 13: LLP – Esquema. ....	17
Figura 14: LLP - Imagem captada pela câmara. ....	17
Figura 15: DSI – Esquema. ....	18
Figura 16 - DSI - Imagem captada pela câmara. ....	18
Figura 17: Processo de interacção por toque. ....	19
Figura 18: Protótipo de <i>touchpad</i> I. ....	24
Figura 19: Percepção do toque com <i>touchpad</i> I. ....	25
Figura 20: Protótipo de <i>touchpad</i> II. ....	26
Figura 21: Interior do protótipo da mesa interactiva multi-toque. ....	29
Figura 22: Interacção com protótipo da mesa interactiva multi-toque. ....	29
Figura 23: Projector Acer S1200. ....	30
Figura 24: Projector de luz infravermelha. ....	31
Figura 25: Sony Playstation 3 Eye alterada. ....	32
Figura 26: Mesa interactiva multi-toque. ....	33
Figura 27: Disposição dos componentes dentro da estrutura da mesa. ....	34

Figura 28: Processo de calibração.....	35
Figura 29: Confirmação da correcta conversão de coordenadas.....	35
Figura 30: Funcionamento básico de um sistema que permite interacção gestual.	40
Figura 31: <i>Pie-menu</i> (esquerda), e selecção equivalente através de <i>marking menu</i> (direita) [Moyle03].....	43
Figura 32: Gestos para os três conjuntos de gestos.....	52
Figura 33: Aplicação de desenho. ....	54
Figura 34: Aplicação de desenho com total reconhecimento gestual. ....	64
Figura 35: Comparação da satisfação para com os conjuntos de gestos nas três superfíceis. ....	68
Figura 36: Influência do tamanho da moldura e da distância à moldura no tempo necessário para a atingir, no Tablet PC.....	70
Figura 37: Influência do tamanho da moldura e da distância à moldura no tempo necessário para a atingir, no SmartBoard.....	71

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Distribuição dos comandos ao longo da experiência. ....	56
Tabela 2: Distribuição dos conjuntos de gestos ao longo da experiência. ....	56
Tabela 3: Tempo médio (segundos) para cada acção em cada conjunto de gestos. ....	57
Tabela 4: Testes ANOVA para a duração dos gestos. ....	57
Tabela 5: Qualidade dos gestos para cada acção em cada conjunto de gestos. ....	58
Tabela 6: Testes ANOVA para a qualidade dos gestos. ....	59
Tabela 7: Opinião dos participantes relativa aos três conjuntos de gestos. ....	59
Tabela 8: Média da satisfação relativamente ao gesto associado a cada acção. ....	60
Tabela 9: Opinião dos participantes relativa aos dois conjuntos de gestos executados no Tablet PC. ....	66
Tabela 10: Opinião dos participantes relativa aos dois conjuntos de gestos executados na mesa interactiva. ....	66
Tabela 11: Opinião dos participantes relativa aos dois conjuntos de gestos executados no SmarBoard. ....	67
Tabela 12: <i>t-tests</i> para todos os parâmetros avaliados, respeitante ao SmartBoard. ....	67
Tabela 13: Intercepção e inclinação para o Tablet PC e o SmartBoard. ....	70



# Capítulo 1

## Introdução

O cinema e a literatura sempre tiveram a capacidade de nos apresentar “realidades” que para nós são irreais e inexistentes, a chamada ficção. Há uns anos atrás ao vermos num filme alguém a tocar num ecrã para realizar determinada actividade ou ao lermos que uma personagem gesticulava com a mão e isso desencadeava uma reacção no ecrã que tinha a sua frente, imaginávamos se algum dia isso seria mesmo possível. Essa ficção do antigamente é hoje uma realidade.

Actualmente já existem bastantes produtos comerciais que permitem interacção através do toque, seja ela *single-touch* ou *multi-touch*. Como toda a tecnologia, à medida que a disponibilidade da mesma vai aumentando os preços vão diminuindo tornando-a assim cada vez mais acessível. Não existindo dúvidas que a interacção através do toque é bastante natural e intuitiva, bastando para isso pensar que desde que nascemos assim interagimos com o que nos rodeia, estamos em querer que essa disponibilidade não parará de aumentar até se tornar completamente ubíqua. Para que uma tecnologia tenha sucesso, não basta estar disponível é, obviamente, necessário que a mesma seja utilizada. Surge então a necessidade de estudar as vantagens e desvantagens da interacção gestual, de a tornar simples, apelativa e eficaz.

### 1.1 Motivação

A capacidade de manipular directamente, através do toque e sem recurso a periféricos intermediários, dados digitais é bastante apelativa para os utilizadores. A apetência inata que os humanos têm para tocar e gesticular, aumenta a curiosidade para interagir com dispositivos tecnológicos e diminui a curva de aprendizagem. A eliminação dos periféricos de entrada tem como consequência um aumento significativo da robustez destes dispositivos permitindo assim a sua massificação em locais públicos [Benko06].

Com a eliminação dos periféricos de entrada, pode surgir, em alguns casos, a eliminação completa de botões físicos. Quando não eliminados por completo, o número

de botões físicos torna-se bastante reduzido, sendo que a sua utilização está associada a acções simples. Assim, é necessário fornecer aos utilizadores mecanismos de interacção alternativos que permitam atingir um nível de usabilidade, pelo menos, semelhante ao atingido através de periféricos de entrada, e, sempre que possível, aumentar esse nível de usabilidade. A usabilidade de uma interface gestual está sempre dependente do contexto e cenário de utilização. Aqui, as dimensões do ecrã representam directamente as dimensões da superfície de interacção, pelo que as interfaces desenhadas para interacção gestual têm que ter especial atenção ao dispositivo a que se destinam. Obviamente, as características de uma interface gestual desenhada para dispositivos móveis poderão não ser as mais adequadas para utilização em mesas interactivas ou em ecrãs tácteis de parede (e.g. *SmartBoard*).

Se nos últimos 40 anos temos interagido sob o mesmo paradigma, hoje esse paradigma está a mudar. A possibilidade de interagirmos directamente com o nosso corpo leva a que as anteriores técnicas de interacção não sejam adequadas à nova realidade, havendo por isso uma necessidade de adaptação e inovação.

Claro está que isto não significa que o que existe actualmente seja descartado e sejam “reescritas as regras”, mas sim, que haja uma complementaridade que permita ao utilizador uma interacção mais simples e mais intuitiva mediante o meio com o qual está a interagir. Parafraseando Bill Buxton: “*Everything is best for something and worst for something else*” [Buxton07].

## 1.2 Objectivos

Neste trabalho pretende-se explorar as possibilidades oferecidas através da interacção por toque, e as diferenças impostas, nessa interacção, pelas dimensões do dispositivo com que se interage. O foco principal será dispositivos sem teclado e com um número de botões físicos bastante reduzido ou mesmo inexistente. Os recursos existentes para suportar este trabalho são um *SmartBoard*, quadro digital interactivo com 77’’ de superfície de interacção, e um Tablet PC com 10.6’’ de ecrã.

Posto isto, e tendo em vista a obtenção de resultados mais esclarecedores, chegou-se à conclusão que era necessário ter um dispositivo com dimensões intermédias. Assim, um dos objectivos do trabalho é a construção de uma *Touch-Table*, mesa interactiva, com cerca de 45’’ de superfície de interacção/projecção. A opção pela construção de um dispositivo deste género oferece uma série de mais-valias imediatas e de futuro. De imediato, e além da obtenção de resultados mais objectivos, todo o conhecimento adquirido, e necessário, para a construção da mesma, possibilita um saber bastante profundo e vasto sobre as tecnologias existentes em dispositivos que permitem interacção através de toque. De futuro ter um dispositivo que permite interacção multi-

toque, que potencia a interacção colaborativa e que permite também o reconhecimento de marcadores fiduciais. Estas mais-valias de futuro irão permitir e motivar outro tipo de projectos, alargando assim o espectro de investigações possíveis na instituição de acolhimento deste projecto.

O segundo objectivo desta tese é o estudo de gestos de comando em ferramentas de desenho nas quais a interacção é feita através do toque. Este tipo de aplicações apresenta mais restrições do que outro género de aplicações baseadas em gestos. Tal acontece, pela necessidade de eliminar a ambiguidade existente entre um gesto que representa um comando ou um gesto que faz parte do que está a ser desenhado. Para a obtenção deste objectivo vamos explorar conjuntos de gestos capazes de lidar com estas restrições, e verificar a adequabilidade destes mesmos conjuntos tendo em conta diferentes dimensões de ecrãs.

### **1.3 Enquadramento institucional**

Este trabalho está inserido num projecto de maior dimensão denominado VISTA (Vision based Touch interaction Anywhere). Resultante da parceria entre duas instituições, a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e o Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, o VISTA tem como principal objectivo aumentar a disponibilidade e versatilidade das superfícies de interacção por toque. Para atingir este objectivo, o VISTA pretende abrir a possibilidade de instalar um meio de interacção por toque em qualquer local. Para isso, é proposta uma configuração minimalista composta por um conjunto de câmaras, um portátil e um projector. Dada a elevada versatilidade pretendida, também será necessário estudar como os paradigmas actuais de interacção são traduzíveis para este contexto.

Para atingir os objectivos propostos foram identificadas três fases principais de desenvolvimento e pesquisa. Uma primeira fase, relacionada com o seguimento de objectos, quer seja seguir um só dedo como também múltiplos dedos, está a cargo do grupo de investigação do IST/UTL. Uma segunda fase, relacionada com o estudo da interacção por toque, tem como principais objectivos caracterizar as actuais técnicas de interacção existentes e introduzir novas técnicas de interacção baseadas em toque. Esta fase será desenvolvida pelo grupo de investigação da FC/UL. Como as duas fases atrás descritas irão decorrer em paralelo, após a conclusão das mesmas entra-se na terceira e última fase que visa a avaliação e a validação dos desenvolvimentos propostos, sendo que esta será realizada em conjunto por ambos os grupos de investigação.

Dentro dos objectivos definidos pelo VISTA e levando em consideração a fase afecta aos investigadores da FC/UL, este trabalho pretende estudar de que forma os utilizadores gesticulam quando estão a interagir com superfícies de toque e como é

possível eliminar a ambiguidade entre gestos de comando e gestos de desenho, em aplicações de desenho. Isso será possível através do refinamento de algumas técnicas já existentes ou, se necessário, com a introdução de novas técnicas adequadas para solucionar o problema.

## 1.4 Contribuições

Deste trabalho resultaram algumas contribuições, nomeadamente:

- I. Protótipo de *touchpad*.
- II. Mesa interactiva multi-toque.
- III. Definição de conjuntos de gestos de comando para aplicações de desenho em dispositivos sem teclado.
- IV. Estudo comparativo de dois modos de alternar entre gestos de comando e desenho para aplicações de desenho baseadas em interacção gestual.
- V. Protótipo de uma aplicação de desenho que implementa os conjuntos de gestos de comando anteriormente definidos, permitindo interacção gestual por toque.

O trabalho realizado proporcionou contribuições para a comunidade científica na forma de artigos científicos, nomeadamente:

- Tiago Gomes, Carlos Duarte, Luís Carriço. “Conjuntos de Gestos de Comando para Ferramentas de Desenho em Dispositivos sem Teclado”, na conferência *Interacção 2010*, Aveiro, Portugal, Outubro de 2010. (Aceite)
- Carlos Duarte, Tiago Gomes, Luís Carriço. “Assessing Mode Switching in Drawing Applications on Different Size surfaces”, submetido à conferência *CHI 2011*, Vancouver, Canadá, Maio de 2011. (Aguarda resultado da revisão)

## 1.5 Metodologia e plano de trabalhos

Quando optei por desenvolver este trabalho tinha consciência que muito pouco ou nada sabia sobre a área em questão, como tal na fase inicial foi crucial estudar a literatura relacionada com interacção gestual, nas suas mais diversas vertentes, para poder seguir um rumo consciente e que fosse uma mais-valia para mim, para a instituição de acolhimento e, obviamente, também para a comunidade científica.



Após a pesquisa foram traçados dois objectivos claros: a construção de uma mesa multi-toque interactiva e o estudo de gestos de comando em ferramentas de desenho. Para a concretização destes objectivos o plano desenvolvido foi relativamente semelhante para ambos, tendo em conta, claro, as diferenças entre cada um. A primeira fase consistiu sempre no estudo do que já foi realizado dentro de cada uma das áreas. A segunda fase implicou, para o primeiro objectivo, a construção da mesa interactiva e para o segundo, a implementação de um protótipo de uma ferramenta de desenho com comandos gestuais. Por fim, a terceira fase envolveu testes de usabilidade e a análise dos resultados obtidos.

As principais tarefas executadas estão patentes na figura 1.

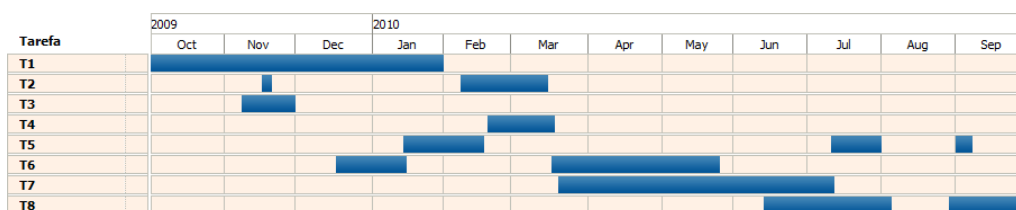


Figura 1: Calendarização.

- T1 – Pesquisa e investigação sobre interacção gestual e superfícies de toque.
- T2 – Construção de protótipos de *touchpads* e *touch-table*.
- T3 – Escrita do relatório preliminar.
- T4 – Estudo de tecnologias de programação para implementar interacção gestual por toque.
- T5 – Realização de estudos de usabilidade.
- T6 – Desenvolvimento aplicacional.
- T7 – Construção de mesa multi-toque.
- T8 – Escrita do relatório final.

## 1.6 Organização do documento

Este documento está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução

Neste capítulo é realizada uma introdução genérica aos assuntos abordados neste trabalho. É feita uma apresentação da motivação e dos objectivos do trabalho. Seguidamente é exposto o enquadramento institucional no qual o projecto foi desenvolvido, assim como uma suma dos resultados alcançados e

das contribuições produzidas. Para terminar é descrita a metodologia e um planeamento do trabalho realizado.

- Capítulo 2 – Superfícies de Toque

Capítulo que oferece uma visão do que são superfícies de toque e do seu funcionamento. Começa-se por apresentar a evolução destas superfícies desde o seu aparecimento até aos dias que correm. Seguidamente é realizada uma abordagem ao funcionamento tecnológico destas superfícies e por fim é explicado o que está por trás do seguimento do toque.

- Capítulo 3 – Construção de Mesa Interactiva Multi-Toque

Neste capítulo é exposto todo o trabalho realizado desde que surgiu a ideia de construir uma mesa interactiva multi-toque, até à concretização da mesma. Para concluir é feita uma análise ao trabalho desenvolvido e apresentado o trabalho futuro a realizar para melhorar a mesa.

- Capítulo 4 – Interacção Gestual

Capítulo que oferece contextualização do que é interacção gestual. Abordando as tecnologias que permitem a captação de gestos, assim como os estilos de gestos envolvidos nesta forma de interacção. Também é fornecida uma ideia geral dos cenários que têm sido alvo de estudo, e termina com uma visão mais específica sobre o que tem sido feito para tentar eliminar a ambiguidade entre gestos.

- Capítulo 5 – Interacção Gestual em Superfícies de Diferentes Dimensões sem Teclado

Neste capítulo são apresentados dois estudos realizados sobre interacção gestual em superfícies sem teclado, mais especificamente quando a interacção é realizada em aplicações de desenho. Sendo também o foco dos estudos uma comparação entre interacção com superfícies de diferentes dimensões, o capítulo termina com uma reflexão sobre como a dimensão afecta a velocidade para atingir um objecto.

- Capítulo 6 – Conclusões e Trabalho Futuro

Para terminar, neste capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e o que pode ser feito de futuro para dar continuidade ao que foi até aqui realizado.

## Capítulo 2

### Superfícies de Toque

Este capítulo oferece uma visão do que são superfícies de toque e do seu funcionamento. É apresentada a evolução destas superfícies desde o seu “nascimento” até à actualidade, falando também de alguns projectos presentes na literatura e que foram marcantes na área. Seguidamente é feita uma abordagem mais tecnológica onde são expostas as tecnologias disponíveis, com especial foco nas tecnologias ópticas baseadas em infravermelhos. Para terminar, é apresentado um resumo do que está por trás da identificação e monitorização do toque nestas superfícies.

#### 2.1 História

Actualmente as superfícies de toque já estão presentes no nosso dia-a-dia. Se observarmos a quantidade de modelos de telemóveis e PDAs equipados com esta tecnologia, conseguimos ter uma noção da massificação a que se está a assistir. Mas não é só em dispositivos pessoais e de pequena dimensão que isso ocorre. Existe uma panóplia de serviços públicos que nos fornecem interfaces de toque como forma de interacção, tais como caixas multibanco, serviços de hotelaria, máquinas de compra automática, montras interactivas, entre tantos outros exemplos.

Como toda a tecnologia, esta não nasce espontaneamente e antes de chegar ao público em geral há uma quantidade enorme de projectos académicos e empresariais que investigam a sua viabilidade, implementação e utilização. Seguidamente é resumido o percurso desta tecnologia.

Os ecrãs tácteis começaram a ser desenvolvidos na segunda metade dos anos 60, mas é em 1972 que surge o primeiro terminal equipado com ecrã táctil denominado PLATO IV [Sherwood72] (Figura 2), onde o toque era percebido por uma grelha de infravermelhos de 16x16. Passada uma década, surge pelas mãos de Nimish Mehta [Mehta82], aquele que foi o primeiro sistema multi-toque pensado para a interacção pessoa-máquina. O Flexible Machine Interface consistia num painel de vidro fosco que tinha propriedades ópticas tão peculiares que quando filmado de trás mostrava uma

mancha negra, cujo tamanho variava com a pressão exercida pelo dedo, num fundo normalmente branco. Em 1983 surge o primeiro artigo científico que tentava proporcionar uma discussão sobre as interfaces baseadas em ecrãs tácteis, denominadas na altura por Soft Machines [Nakatani83]. No mesmo ano Myron Krueger apresentou-nos o seu Videoplace [Krueger85], do qual falaremos mais à frente neste relatório, mas que, entre outras coisas, introduziu o uso do gesto *pinch* para escalar objectos. Ainda neste mesmo ano, a Hewlett-Packard colocou à venda aquele que terá sido, provavelmente, o primeiro computador pessoal a ser comercializado que permitia interacção por toque. Neste modelo da HP, o Hewlett-Packard 150 [HP150], o monitor era rodeado na vertical e na horizontal por infravermelhos, gerando assim uma grelha que ao ser tocada pelo utilizador era quebrada e assim era gerado o evento de toque. Pelas mãos de Pierre Wellner surge, em 1991, o DigitalDesk [Wellner93], que demonstrou alguns conceitos de multi-toque como, por exemplo, o uso de um dedo de cada mão. Abordaremos novamente este projecto neste relatório.

No mundo dos dispositivos móveis, em 1992, nasceu o *Simon* [Simon], através de uma parceria entre a IBM e a Bell South, sendo considerado o primeiro *smart phone* e que, tal como o mundialmente conhecido iPhone, oferecia um ecrã táctil como interface de interacção. Voltando a dispositivos de maiores dimensões, temos em 2001 o Diamond Touch [Dietz01] capaz de, entre outras coisas, distinguir dedos e mãos de diferentes pessoas. Um ano volvido e Jun Rekimoto propõe, através do SmartSkin [Rekimoto02], uma nova arquitectura para construir superfícies interactivas que, para além de ser sensível a gestos com os dedos e mãos, consegue ainda calcular a distância entre as mãos e a superfície.

Mais recentemente, já na segunda metade desta década, Andy Wilson propôs um sistema denominado PlayAnywhere [Wilson05], que, além de detectar e identificar o toque, também o faz com objectos e apresenta a grande vantagem de simplificar os processos de calibração e instalação, fazendo da sua portabilidade uma grande mais-valia. Quase ao mesmo tempo, e como falamos mais detalhadamente à frente neste relatório, Jeff Han apresentou o seu protótipo baseado no fenómeno óptico de Reflexão Interna Total [Han05].

Como o avanço tecnológico não se faz só da tecnologia em si mas também da maneira como com ela interagimos, em 2006, Benko [Benko06] mostrou algumas técnicas que nos puderam ajudar numa selecção e apontamento precisos ao interagimos com superfícies multi-toque. E é em 2007 que surge o iPhone da Apple e a Surface da Microsoft, que são provavelmente os dispositivos que fizeram com que o público generalista se consciencializasse que o futuro passa por uma interacção baseada no toque. O iPhone [iPhone], sendo um telemóvel, junta ao seu design bastante atractivo

uma interacção bastante suave através do seu ecrã táctil de dimensões generosas e que permite multi-toque. A Microsoft Surface [Surface] é uma mesa interactiva capaz de perceber múltiplas mãos e dedos além de identificar diversos objectos, permitindo assim uma interacção colaborativa e bastante intuitiva.

Já no decorrer de 2010 a Apple lançou um produto que veio agitar o mercado dos dispositivos que permitem a interacção por toque, o iPad [iPad] (Figura 3). Este dispositivo dispõe de um ecrã/superfície de interacção de 9.7””, o que o coloca no patamar dos dispositivos móveis, e é vocacionado para o entretenimento. Todas as aplicações integradas neste dispositivo foram concebidas de raiz para uma interacção multi-toque, assim como para as dimensões de ecrã em causa.



Figura 2: Plato IV (1972).



Figura 3: iPad (2010).

Muito se tem feito ao longo dos anos no campo da interacção gestual e muito mais será feito certamente. Enquanto os utilizadores vão ficando cada vez mais habituados a esta tecnologia, as interfaces de toque vão proliferando um pouco por todo o lado. A prová-lo temos, por exemplo, a sua inserção no âmbito dos sistemas operativos, como o Windows 7 [Windows7] que originalmente fornece suporte para multi-toque, ou o relatório da Pew – Internet & American Life Project [Pew], que em finais de 2008, avançava que em meados de 2020 a interacção por toque na internet será mais prevalente e aceite. O futuro falará por si.

## 2.2 Tecnologias

Existem diversas tecnologias disponíveis para a implementação de ecrãs tácteis. Como em todas as tecnologias existem diferenças entre as mesmas, tornando umas preferíveis em determinado contexto de utilização e outras noutros contextos. No entanto, há duas características que influenciam determinantemente a escolha da tecnologia a utilizar, nomeadamente o custo de produção e a sensibilidade/precisão do toque.

Seguidamente é apresentado um pequeno resumo das principais tecnologias existentes.

### 2.2.1 Resistivos

Esta tecnologia consiste num ecrã composto por várias camadas, destacando-se duas camadas principais, que, sendo metálicas, têm a capacidade de conduzir electricidade (Figura 4). Quando um objecto ou um dedo prime o ecrã, o pequeno espaço existente entre as duas camadas deixa de existir no ponto de pressão gerando assim uma alteração na corrente eléctrica. Esta alteração é traduzida num evento de toque que posteriormente é processado.

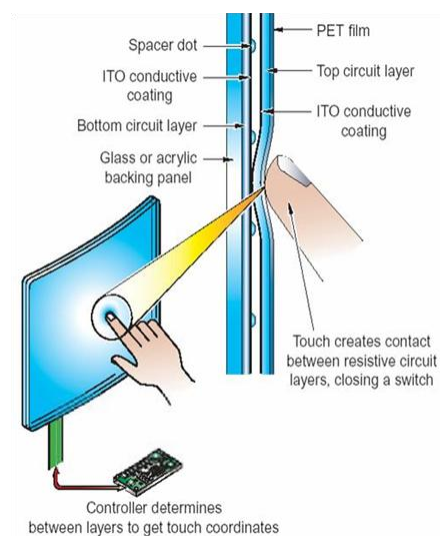


Figura 4: Resistivos.

O custo desta tecnologia é relativamente baixo quando comparado com outras. No entanto, apresenta um tempo de resposta e capacidade de detecção ligeiramente mais elevado. Anteriormente esta tecnologia apresentava a grande desvantagem de não permitir multi-toque, lacuna que já se encontra colmatada.

### 2.2.2 Capacitivos

Bastante utilizada na produção de dispositivos móveis sensíveis ao toque (por exemplo no iPhone ou no HTC Hero) esta tecnologia além de permitir multi-toque, transmite também quase 90% da luz do ecrã.

Consiste numa camada condutora transparente colocada no ecrã, com um campo electrostático constante (Figura 5). Quando um condutor, neste caso o dedo do utilizador, entra em contacto com o ecrã gera uma alteração no campo electrostático, sendo esta alteração que permite determinar com exactidão a localização do toque.

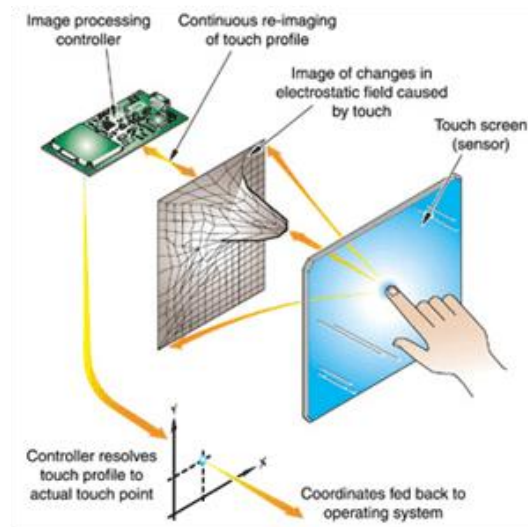


Figura 5: Capacitivos.

### 2.2.3 Ondas acústicas superficiais

Baseada no envio de ondas acústicas ao longo do ecrã, esta tecnologia faz uso de transdutores (receptores e emissores) que são colocados nos cantos do ecrã e também de reflectores que enviam o sinal entre os transdutores (Figura 6). Quando o dedo toca no ecrã as ondas são absorvidas, dando assim origem ao evento de toque.

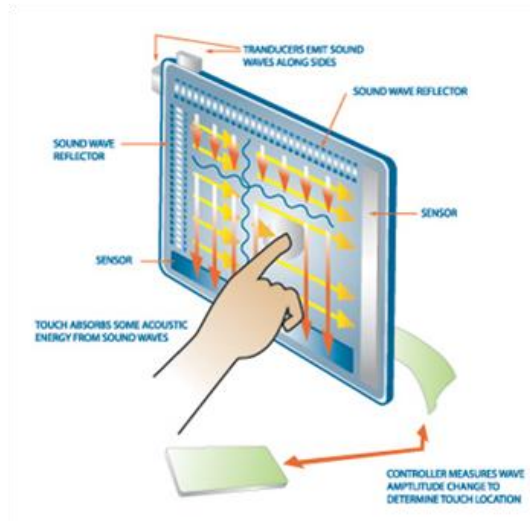


Figura 6: Ondas acústicas superficiais.

A não existência de camadas adicionais no ecrã leva a um aumento da sua durabilidade, assim como a uma imagem mais clara e com melhor resolução, comparativamente às tecnologias atrás mencionadas.

## 2.2.4 Ópticos

A escalabilidade, menor custo de implementação e também uma configuração relativamente simples, tornou esta tecnologia bastante popular especialmente para dispositivos de maiores dimensões.

Tipicamente a sua configuração requer sensores ópticos, fonte de luz infravermelha e uma forma de feedback visual, quer seja através de ecrãs LCD ou projectores. Uma configuração típica requer que sejam colocados dois ou mais sensores ópticos nos cantos do ecrã, sendo que no campo de visão destes sensores são colocadas fontes de luz de infravermelha. Assim o evento de toque é visualizado como uma sombra e através da triangulação dos sensores ópticos sabe-se o ponto exacto onde ocorreu o evento de toque.

Derivando desta configuração típica têm sido desenvolvidos, ao longo dos anos, diversos projectos. Todo este desenvolvimento leva a que se possa dividir as tecnologias ópticas em dois grupos: sistemas padrão baseados em visão e sistemas baseados em infravermelhos. Nos subcapítulos seguintes sumarizam-se alguns destes projectos, assim como modelos utilizados nos dias de hoje para construção de dispositivos de toque que utilizam infravermelhos.

## 2.3 Projectos

### 2.3.1 Sistemas padrão baseados em visão

Ao longo dos anos foram sendo desenvolvidos alguns projectos de interfaces gestuais baseados unicamente em visão. Nos parágrafos seguintes vamos introduzir dois desses projectos, que sendo de décadas diferentes influenciaram e continuam a influenciar a melhor investigação realizada nesta área.

Partindo da premissa que a interacção é central e não periférica nas ciências computacionais, Krueger criou o seu protótipo *Videoplace* [Krueger85]. Neste projecto, e através de uma câmara, é possível ao utilizador interagir usando o seu corpo. Para tal, o utilizador é colocado contra um fundo neutro, sendo assim possível digitalizar a imagem da sua silhueta e reconhecer o momento em que toca no objecto gráfico. Com esta técnica Krueger criou um ambiente gráfico computacional onde cada utilizador vê a sua imagem projectada no ecrã, e ao ver um objecto gráfico perto de si tem a tendência natural para atingi-lo e tocar-lhe.

Sendo uma investigação clássica na literatura de realidade aumentada, o *DigitalDesk* [Wellner93] apresenta como objectivo inverter a metáfora do *desktop*, ou seja, em vez de fazer o ambiente gráfico computacional mais parecido com uma secretária pretende fazer a secretária mais parecida com o computador. Para isso a



imagem computacional é projectada na secretária e câmaras de vídeo colocadas por cima da mesma fornecem a imagem a um sistema de processamento de imagem que capta a acção realizada pelo utilizador, tendo até a capacidade de ler documentos físicos colocados em cima da secretária. Este sistema dá assim suporte a uma interacção baseada em computador directamente com documentos de papel, permitindo, por exemplo, ao utilizador apontar para um número num documento em papel e o mesmo ser inserido numa calculadora ou apontar para uma palavra e a mesma ser traduzida. A tecnologia óptica aplicada é complementada com tecnologia acústica para detectar o toque na secretaria (*tap*).

### 2.3.2 Sistemas baseados em infravermelhos

Na literatura encontram-se alguns projectos de investigação bastante interessantes baseados em infravermelhos. Alguns desses projectos revelaram um potencial tão grande que posteriormente foram transformados em produtos comerciais, enquanto outros “simplesmente” influenciaram investigações futuras, abrindo portas para um novo mundo de interacção. Seguidamente, e de forma abreviada, são descritos alguns desses projectos.

Em 2006, Jefferson Y. Han [Han05] surpreendeu o mundo quando apresentou numa conferência o seu projecto de uma superfície de toque de alta resolução que além de permitir multi-toque apresentava uma configuração simples, económica e escalável. Este seu projecto era baseado num fenómeno óptico denominado Reflexão Interna Total. Tanto o fenómeno em si como a configuração do sistema serão explicados mais à frente neste relatório. O sucesso foi tal que Jeff Han fundou a Perceptive Pixel para continuar a desenvolver esta tecnologia no sector privado, vendendo hoje o seu produto com diferentes configurações.

Outro projecto comercializado nos dias de hoje é o *reactTable* [Jorda07], instrumento musical criado em 2003 que utiliza uma superfície multi-toque no processo de interacção artista-máquina. Este projecto foi bastante premiado, sendo utilizado por artistas de renome internacional, e pode ser encomendado à empresa *Reactable Systems*. O projecto implementou uma configuração de Iluminação Traseira Difusa, explicada mais a frente neste relatório, e em paralelo desenvolveu um *software-tracker*, conhecido como *reactTVision*, que permite a detecção de marcadores fiduciais. Esta combinação culminou numa interface tangível, capaz de identificar um número quase ilimitado de objectos marcados fiducialmente e também sensível a multi-toque.

O *HoloWall* [Matsushita97] usa um painel de projecção difuso, contendo por trás do mesmo iluminação de infravermelhos, uma câmara de infravermelhos e um projector com um filtro de infravermelhos para que a câmara não seja afectada pela luz do

projector. Esta configuração permite ao utilizador interagir através das mãos, corpo ou até outros objectos físicos.

Fazendo também uso de iluminação traseira de infravermelhos, o TouchLight [Wilson04] utiliza técnicas simples de processamento de imagem para combinar as imagens de duas câmaras de infravermelhos colocadas por trás de um ecrã holográfico semitransparente, transformando assim um normal painel de acrílico numa superfície de alta resolução que permite interacção baseada em gestos.

## 2.4 Modelos de construção baseados em infravermelhos

Sendo o infravermelho a porção do espectro de luz com um comprimento de onda logo acima do que o olho humano consegue captar (Figura 7), o uso desta luz tem como objectivo iluminar os objectos/dedos que tocam na superfície de interacção/projecção e assim permitir a distinção entre estes e a imagem projectada (Espectro visível). O uso de luz infravermelha tem também o benefício óbvio de ser invisível para o utilizador.

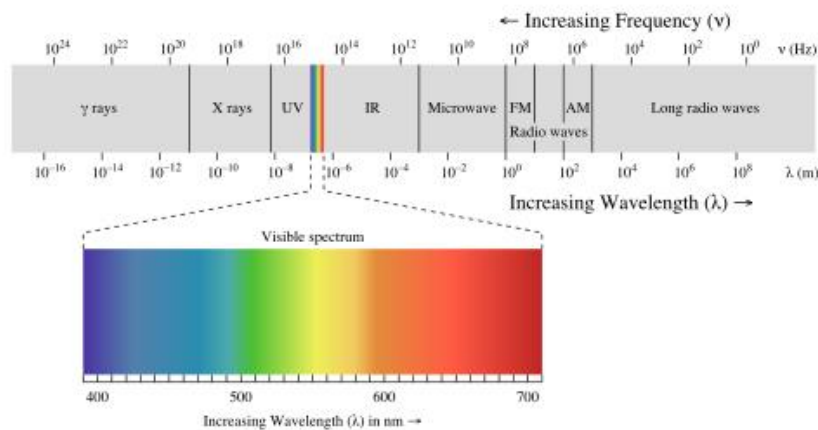


Figura 7: Espectro electromagnético.

Como a maioria dos sistemas apresenta feedback visual na superfície de toque é necessário que as câmaras utilizadas não capturem essa imagem, para que se consiga realizar um reconhecimento eficaz do toque. Tipicamente as câmaras vêm equipadas com um filtro que bloqueia a luz infravermelha captando só a luz visível, como tal é necessário alterar as câmaras, utilizadas nestes modelos, para que estas deixem de captar a luz visível e passem somente a captar a luz infravermelha, deixando assim de lado a imagem visual que se encontra no espectro da luz visível e captando somente a imagem dos dedos/objectos que tocam na superfície.

### 2.4.1 FTIR – Frustrated Total Internal Reflection

Este modelo deve o seu nome ao fenómeno óptico utilizado, e ganhou grande popularidade após Jeff Han ter apresentado o seu protótipo [Han05] de uma superfície de toque de baixo custo baseado no mesmo. Este fenómeno deve-se às características de alguns materiais, quando a luz tenta penetrar num material vinda de outro com um índice de refração mais elevado e com um ângulo de incidência maior que um ângulo específico (este ângulo específico depende do índice de refração dos materiais e pode ser calculado através da lei de Snell [Snell]), não ocorre refração e a luz é totalmente reflectida.

Como se pode observar na figura 8, são colocados LEDs de infravermelhos dos lados de um painel acrílico. Através do fenómeno acima mencionado esta luz infravermelha fica “presa” dentro do acrílico. Assim, quando outro material, como um dedo, entra em contacto com a superfície acrílica, a luz no ponto de contacto deixa de estar sobre o efeito do fenómeno de Reflexão Interna Total, dizendo-se então que esse fenómeno foi frustrado e assim a luz sai do meio onde está “presa” e ilumina o dedo. Uma vez que o fenómeno só é frustrado no ponto de contacto, o dedo torna-se muito mais brilhante que o resto da superfície, possibilitando assim que a câmara capte esse brilho (Figura 9).

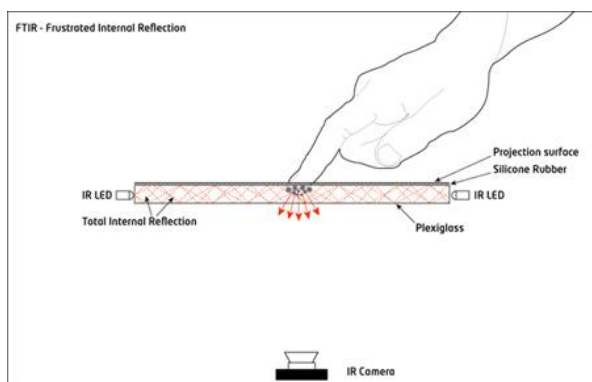


Figura 8: FTIR – Esquema.



Figura 9: FTIR - Imagem captada pela câmara.

Para aumentar a qualidade de detecção do toque é colocada uma “superfície complacente” por cima do acrílico, normalmente uma camada de silicone. Sem a utilização desta camada a detecção fica muito dependente do quão humedecidos estão os dedos (quanto mais humedecidos melhor o efeito) ou se o toque é efectuado com uma pressão bastante elevada.

## 2.4.2 DI – Diffused Illumination

O modelo baseado em iluminação difusa pode ser dividido em dois: *Front Diffused Illumination* e *Rear Diffuse Illumination*. Ambos os modelos assentam no mesmo princípio: o contraste entre a imagem “estática” e o dedo ao tocar na superfície.

### FDI – Front Diffused Illumination

Embora esteja aqui enquadrado dentro dos sistemas baseados em infravermelhos, este modelo não necessita deste tipo de iluminação. O seu funcionamento é bastante simples, recorrendo somente à luz ambiente. Colocando um difusor por cima ou por baixo da superfície de toque, quando um objecto toca na superfície é criada uma sombra no local de toque. Esta sombra é então detectada pela câmara que se encontra por baixo da superfície (Figura 10).



Figura 10: FDI – Imagem captada pela câmara.

Obviamente que, sendo tão simplista, este modelo apresenta algumas deficiências graves, tais como a forte instabilidade no reconhecimento das sombras e o não ser possível qualquer tipo de projecção na superfície de toque. Estas lacunas são suprimidas com o *Rear Diffused Illumination*.

### RDI – Rear Diffused Illumination

A configuração deste modelo é em tudo semelhante à anterior, acrescentando um factor essencial – a iluminação de infravermelhos. Adicionando este género de luz, a câmara que anteriormente captava sombras passará a captar pontos luminosos.

A luz de infravermelhos ilumina por baixo a superfície de toque, sendo colocado um difusor por baixo ou por cima dessa mesma superfície (Figura 11). Quando um objecto/dedo toca na superfície reflecte mais luz que o difusor ou os objectos de fundo. Esta luz extra é então detectada pela câmara de infravermelhos (Figura 12).

Fazendo uso de iluminação de infravermelhos este modelo já permite uma projecção directa na superfície de toque, seja ela frontal ou traseira. Obviamente que através de uma projecção traseira se obtêm melhores resultados, pois caso contrário ao tocarmos na superfície iríamos colocar partes do nosso corpo à frente da projecção.

Apesar do baixo contraste existente para a detecção do toque, característica contornada através de software, este modelo apresenta um funcionamento bastante bom permitindo inclusive a detecção de marcadores fiduciais. A versatilidade e bom funcionamento desta configuração fizeram com que a mesma tivesse sido adoptada para projectos comerciais como a Microsoft Surface [Surface] e o Reactable [Jorda07].

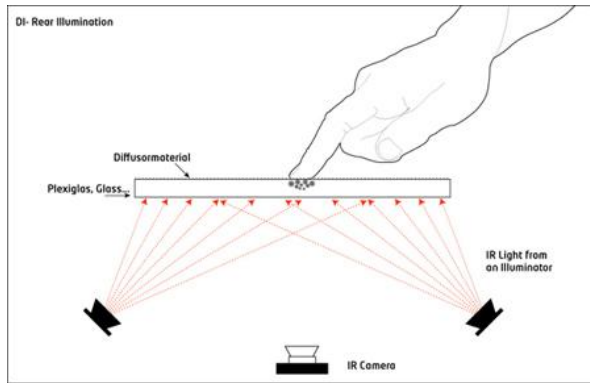


Figura 11: RDI – Esquema.

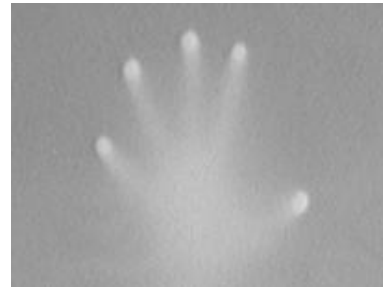


Figura 12: RDI - Imagem captada pela câmara.

### 2.4.3 LLP – Laser Light Plane

Tendo chegado ao grande público através de um protótipo da Microsoft designado LaserTouch, este modelo utiliza laser de infravermelhos em vez dos habituais leds de infravermelhos.

Tipicamente são necessários dois ou quatro lasers colocados nos cantos da superfície de toque. A estes lasers são acoplados “lentes em linha” para gerar o plano de luz. O plano de luz infravermelha gerado pelo laser apresenta cerca de 1mm de espessura e está colocado logo acima da superfície de toque (Figura 13). Quando o dedo toca neste plano de luz, o mesmo emite maior luminosidade que é captada pela câmara de infravermelhos (Figura 14) que, tal como nos outros modelos, está colocada por trás da superfície.

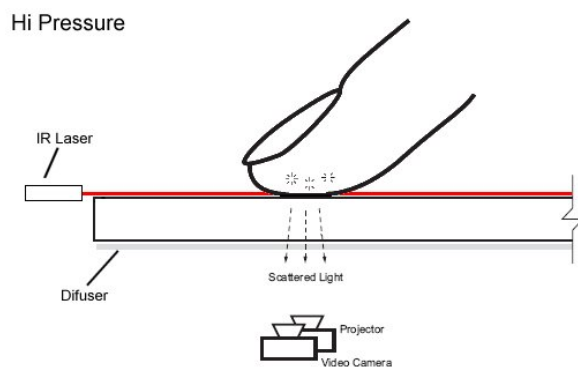


Figura 13: LLP – Esquema.



Figura 14: LLP - Imagem captada pela câmara.

Ao construir configurações utilizando este modelo é necessário ter especial atenção às questões de segurança inerentes à utilização de lasers. A utilização de qualquer laser requer cuidados adicionais. Ao olharmos directamente para um laser de luz visível, o olho pisca minimizando assim os riscos, enquanto que ao olharmos directamente para um laser de luz infravermelha o olho não irá piscar, uma vez que esta luz não é detectável pelo olho humano. Por esta razão é necessário ter especial cuidado no manuseamento destes lasers e nos objectos colocados no raio de alcance dos mesmos, pois estes objectos poderão reflectir a luz proveniente do laser, o que será igualmente perigoso.

#### 2.4.4 DSI – Diffused Surface Illumination

Modelo em tudo semelhante à configuração do FTIR, só que não necessita da camada de silicone por cima da superfície de contacto. Em vez disso utiliza um acrílico especial (Endlighten) que contém no seu interior pequenas partículas (invisíveis ao olho humano) que actuam como milhares de espelhos. Ao colocar os leds de infravermelhos nas laterais do acrílico a luz é redireccionada e espalhada por todo o acrílico (Figura 15). Quando o dedo entra em contacto com a superfície é gerado um efeito semelhante ao DI (Figura 16).

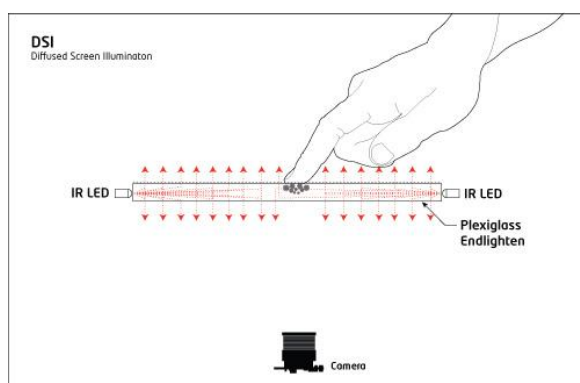


Figura 15: DSI – Esquema.

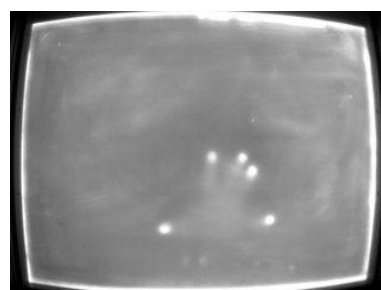


Figura 16 - DSI - Imagem captada pela câmara.

## 2.5 Funcionamento

Obviamente não basta montar todo o equipamento necessário, para obter um dispositivo que permita interação por toque. Após a montagem do mesmo é necessária a utilização de aplicações informáticas para que tudo funcione em pleno.

As imagens captadas pelas câmaras são tratadas e processadas por *frameworks* de visão computacional. Do tratamento destas imagens resulta, por exemplo, as coordenadas X e Y do local de toque. Os dados obtidos por estas *frameworks* são então enviados pelas mesmas, através de um protocolo, para as aplicações de destino. A

aplicação que recebe estes dados faz então o processamento final dos eventos de toque dando o *feedback* gráfico correspondente e caso volte a existir interacção por parte dos utilizadores todo o ciclo se inicia novamente.

A figura 17 ilustra todo o processo atrás descrito.

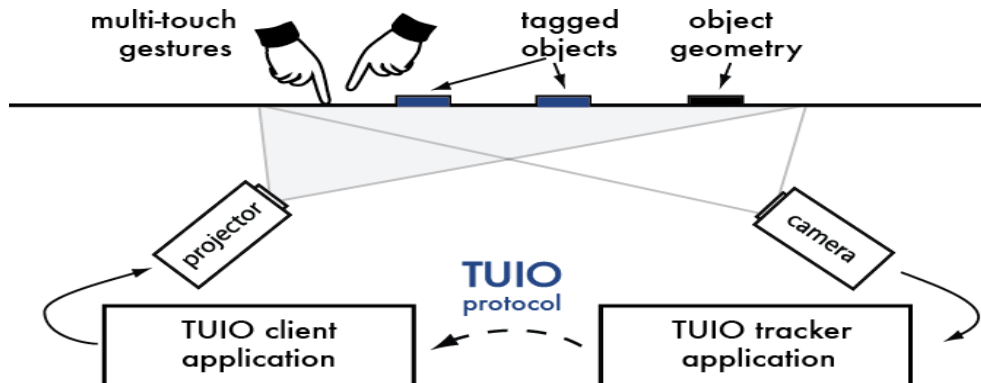


Figura 17: Processo de interação por toque.

### 2.5.1 Monitorização do toque

A identificação do toque e a capacidade de seguir a sua trajectória é o que possibilita que a interacção por toque seja concretizada com sucesso.

Para atingir este objectivo é necessário processar o vídeo obtido pelas câmaras. Este processamento é realizado por *frameworks* de visão computacional que têm como objectivo primordial diferenciar o toque, quer seja de um objecto ou dedo, do fundo da imagem obtida. Para assegurar que objectos que pertençam ao fundo não são tidos em consideração estas *frameworks* utilizam algoritmos de subtracção de fundo. Claro está que o recurso à iluminação de infravermelhos, como foi explicado anteriormente, simplifica esta tarefa pois as imagens já são captadas com a luz visível filtrada. Após as imagens serem processadas, são também interpretadas com o objectivo de obter, por exemplo, as coordenadas do local onde ocorreu o toque.

A interacção com estas superfícies não se baseia somente em toques simples no ecrã (*tap*). Também tem que ser possível realizar gestos ou simplesmente arrastar um objecto digital. Para concretizar todas as possibilidades, estas *frameworks* não podem somente identificar um *blob*<sup>1</sup> numa única imagem, têm necessariamente de identificar e seguir os *blobs* em todos os frames do vídeo captado. Têm também de decidir se um

---

<sup>1</sup> Objecto luminoso brilhante. Neste contexto, é o ponto de luminosidade extra captado pela câmara quando ocorre o contacto com a superfície.

*blob* num frame  $n$  e outro *blob*, numa posição diferente, no frame  $n+1$  são o mesmo *blob* ou *blobs* diferentes.

Existem várias *frameworks* de visão computacional com a capacidade de monitorização de toque. No entanto, duas delas destacam-se das restantes por serem bastante eficazes e além disso serem também *open-source* e multi-plataforma, nomeadamente a reacTIVision [Kaltenbrunner07] [Kaltenbrunner09] e a Community Core Vision [CCV]. Não possuindo uma interface gráfica propriamente dita, a reacTIVision, desenvolvida no âmbito do projecto Reactable, visa principalmente o reconhecimento rápido e robusto de marcadores fiduciais, sendo que, na sua mais recente versão, também oferece suporte básico para multi-toque. Somente vocacionada para multi-toque, a Community Core Vision é uma *framework* de visão computacional de grande sucesso no que se refere à monitorização de multi-toque. Tem a capacidade de fornecer às aplicações finais de interacção com o utilizador dados como, por exemplo, as coordenadas do toque ou o tamanho do *blob*, assim como também eventos propriamente ditos, “dedo tocou” ou “dedo moveu-se”, entre outros. Adicionalmente, apresenta uma interface bastante intuitiva e com uma gama de funcionalidades bastante úteis, permitindo assim efectuar os ajustes necessários para a obtenção de resultados bastante apreciáveis.

## 2.5.2 TUIO – Tangible User Interface Objects

Os dados obtidos pelas *frameworks* de visão computacional atrás referidas são enviados através de um protocolo para as aplicações que deles necessitam. O protocolo que vem sendo adoptado para tal, e que devido a sua grande utilização se tornou num padrão para este género de comunicação, é o TUIO [Kaltenbrunner05] [Kaltenbrunner09].

Enviando as mensagens com os dados obtidos para a rede, possibilita assim a transmissão de uma descrição abstracta de superfícies interactivas, incluindo eventos de toque e o estado dos objectos, para as aplicações que estejam à escuta destas mensagens e que tenham a capacidade de as interpretar. O formato das mensagens é baseado no Open Sound Control [Wright03], sendo que o método preferencial de transporte é através de pacotes UDP, embora também seja possível a utilização de TCP. São definidas duas classes principais de mensagens, *SET* e *ALIVE*. Os atributos dos objectos<sup>2</sup> (e.g. posição, orientação) são enviados após cada alteração de estado através de mensagens *SET*. As mensagens *ALIVE* indicam todos os objectos presentes na superfície, através de uma lista de identificadores únicos atribuídos a cada objecto. A

---

<sup>2</sup> Neste contexto a referência a objectos também engloba dedos.



comparação de mensagens *ALIVE* sequenciais permite à aplicação que as recebe, concluir se um objecto ainda se encontra, ou não, presente na superfície interactiva.

## 2.6 Resumo

Nos dias de hoje todos temos acesso a superfícies de toque interactivas, quer seja em dispositivos pessoais (e.g. telemóveis, PDAs) ou em dispositivos de utilidade pública (e.g. multibanco, máquinas de venda automática). A actual existência desta panóplia de dispositivos sensíveis ao toque foi conseguida através de muita investigação realizada sobre esta tecnologia, tanto ao nível dos dispositivos físicos como à própria interacção estabelecida com os mesmos. Para termos uma noção mais exacta, data de 1972 o primeiro terminal equipado com um ecrã sensível ao toque [Sherwood72].

Toda a investigação realizada originou diversas tecnologias que possibilitam a implementação de ecrãs tácteis e que apresentam métodos de detecção de toque bastante distintos. Ao tocar num ecrã que apresente uma tecnologia resistiva, duas camadas electroconductoras entram em contacto gerando uma alteração na corrente eléctrica. Num ecrã capacitivo o dedo entra em contacto com uma camada condutora alterando assim o seu campo electrostático, enquanto que se o ecrã apresentar uma tecnologia baseada em ondas acústicas superficiais o dedo absorve ondas transmitidas ao longo da superfície dando assim origem ao evento de toque. Muito em voga na actualidade devido à sua escalabilidade, configuração simples e menor custo de implementação estão as tecnologias ópticas, que se podem dividir em dois sistemas diferentes: sistemas padrão baseados em visão e os sistemas baseados em infravermelhos. Nos sistemas padrão baseados em visão é possível destacar da literatura o VideoPlace [Krueger85] e o DigitalDesk [Wellner93], enquanto que dos sistemas baseados em infravermelhos destacam-se, nomeadamente, o projecto de Jeff Han [Han05], o reacTable [Jorda07], o HoloWall [Matsushita97] e o TouchLight [Wilson04].

O uso de infravermelhos na construção destes dispositivos tem como objectivo principal a distinção entre a imagem projectada nas superfícies de toque e os dedos que tocam nestas superfícies e que necessitam de ser seguidos para ser feito o reconhecimento gestual. Existem alguns modelos diferentes que são utilizados na construção de dispositivos de toque que têm por base o uso de infravermelhos, dos quais se destacam: *Frustrated Total Internal Reflection*, *Diffused Illumination*, *Laser Light Plane* e *Diffused Surface Illumination*. Apesar das diferentes configurações todos estes modelos assentam sobre o mesmo princípio e como tal o seu funcionamento é semelhante. O dedo ao tocar na superfície, estando esta iluminada com infravermelhos, emite mais luz do que o fundo. Uma câmara de infravermelhos capta esta emissão de luz, sendo que a imagem captada vai ser tratada e processada por *frameworks* de visão

computacional que, entre outras coisas, recorrem a algoritmos de subtracção de fundo para identificar com eficácia o ponto concreto do toque, sendo este ponto convertido em coordenadas X e Y. Os dados provenientes destas *frameworks* são então enviados através de um protocolo, sendo o TUIO [Kaltenbrunner05] [Kaltenbrunner09] o protocolo que se assume como um padrão neste género de comunicação, para a aplicação de destino. A aplicação final dá o *feedback* gráfico correspondente à interacção efectuada através do toque.

## Capítulo 3

### Construção de Mesa Interactiva Multi-Toque

A construção de uma mesa interactiva não fazia parte dos planos iniciais deste projecto. No entanto, após uma análise dos dispositivos disponíveis na instituição de acolhimento, concluiu-se que faria todo o sentido dotar a instituição de um dispositivo com estas características. Actualmente, este género de dispositivos ainda apresenta um preço de aquisição bastante elevado, pelo que após o estudo das tecnologias que permitem implementar estes dispositivos, patente no capítulo anterior, constatou-se que é possível construir os mesmos com um nível de qualidade bastante bom e por valores relativamente acessíveis.

No que respeita aos estudos com vista a perceber a adequabilidade dos conjuntos de gestos de comando propostos, tendo em conta as dimensões de ecrã, uma mesa interactiva permite ter um dispositivo com dimensões intermédias relativamente aos dispositivos já existentes, e assim obter resultados comparativos que permitam obter conclusões mais fundamentadas.

Nos subcapítulos seguintes é detalhado tudo o que foi realizado desde que surgiu a ideia de construir uma mesa interactiva multi-toque, até à concretização da mesma. Para concluir será apresentado o trabalho futuro a realizar para melhorar o projecto.

#### 3.1 Protótipos

Como em todos os projectos desta dimensão, antes de avançar para a construção da solução definitiva da mesa interactiva, existiu a necessidade de prototipagem. A construção destes protótipos possibilita averiguar a exequibilidade do objectivo final proposto, evitando assim uma perda de tempo desnecessária na construção de algo que poderia não vir a funcionar. Visto que a construção da solução final também envolve algum investimento financeiro, os protótipos permitem-nos ter a noção se esse investimento se justifica, salvaguardando o desperdício de fundos.

Nas duas próximas secções são apresentados os protótipos que precederam o processo de construção da mesa interactiva final.

### 3.1.1 Protótipos de *touchpad*

#### Primeiro Protótipo

Antes de avançar para a construção de um protótipo de maior escala e que permita manipulação directa, sendo para isso necessária projecção na superfície de contacto, foi tomada a opção de construir um protótipo muito simples de um *touchpad*. Este protótipo visa acima de tudo permitir compreender o funcionamento da *framework* de visão computacional necessária para o reconhecimento gestual.

Não existindo projecção na superfície de toque não é necessário recorrer a iluminação de infravermelhos, uma vez que esta serve, como explicado anteriormente, para distinguir entre a imagem projectada e os dedos ao tocarem na superfície. Como tal o protótipo foi baseado no modelo, atrás referido, de Iluminação Difusa Frontal (FDI).

Sendo um protótipo somente para pequenos testes e completamente descartável não existiu qualquer preocupação com o material a utilizar nem com as dimensões do mesmo. Assim foi utilizado material que se encontrava imediatamente ao dispor. Foi colocada uma *webcam* “normal”<sup>3</sup> dentro de uma caixa de cartão vulgarmente utilizada para armazenar um conjunto de 10 CDs. Como superfície de contacto foi utilizada a tampa de plástico de uma vulgar caixa de CDs, sendo por cima desta colocada uma folha de papel que serviu como difusor de luz. Com esta configuração o protótipo estava pronto para ser testado (Figura 18).

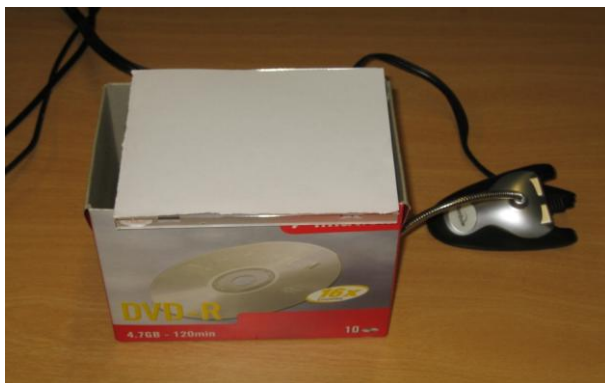


Figura 18: Protótipo de *touchpad* I.

Para testar o funcionamento do *touchpad* utilizou-se a Community Core Vision, *framework* já referida anteriormente. A escolha desta *framework* em detrimento da reacTIVision deveu-se à não necessidade de reconhecimento de marcadores fiduciais e à sua maior vocação para multi-toque. O facto de possuir uma interface gráfica bastante

---

<sup>3</sup> Não recorrendo a iluminação de infravermelhos a câmara utilizada não necessita de qualquer modificação para filtrar a luz visível e permitir a captação de luz infravermelha.

intuitiva também teve um peso muito forte na escolha, pois possibilita uma utilização rápida dos filtros disponíveis tendo em vista a obtenção de melhores resultados na detecção do toque. Não sendo tão relevante para um protótipo destas dimensões e com os objectivos de utilização do mesmo, não deixa de ser uma vantagem adicional o facto de oferecer também um processo de calibração bastante simples que permite mapear correctamente as dimensões da imagem captada pela câmara relativamente às dimensões da superfície de toque, permitindo assim que o toque no ecrã seja percebido no local correcto.

Num primeiro contacto com a *framework* foi logo possível observar que a ponta dos dedos quando em contacto com a superfície é detectada pela câmara como uma sombra. Após alguns ajustes nos filtros disponíveis o processamento da imagem “crua” obtida pela câmara revelou-se bastante eficaz. Como se pode ver na figura 19 a percepção do toque e a monitorização do seu movimento foi atingida com precisão.

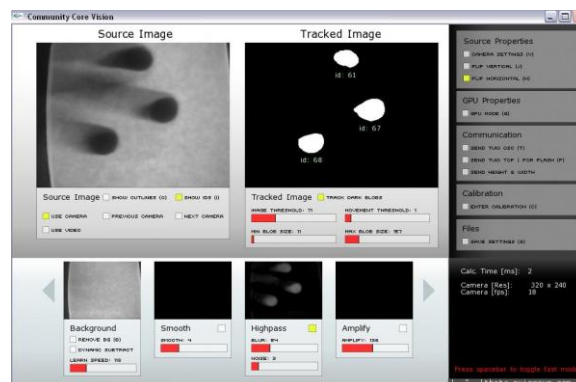


Figura 19: Percepção do toque com *touchpad I*.

Seguidamente tentou-se utilizar o *touchpad* para interagir com algumas aplicações de teste (e.g. visualizador de fotografias, piano) que se encontravam no pacote da *framework*. Sendo um protótipo de tamanho tão reduzido é complicado fazer o mapeamento entre as dimensões da superfície de contacto e as reais dimensões do ecrã, além de que a superfície de contacto também se torna pequena para realizar determinados gestos. Juntado o facto de que estas aplicações de teste foram concebidas para manipulação directa, a interacção com estas aplicações foi bastante limitada embora suficiente para se perceber que o *feedback* devolvido pelas aplicações se devia ao toque e gestos efectuados no *touchpad*. Para se ter a certeza que era possível obter um bom feedback dos gestos realizados recorreu-se a uma aplicação mais simples e pensada para manipulação indirecta, o TUIOmouse [TUIOmouse]. Esta aplicação permitiu utilizar o protótipo da mesma forma que se utiliza o *touchpad* de um computador portátil.

O resultado das experiências realizadas revelou-se positivo, pelo que se confirmou que a ideia inicial de construir um protótipo de maior escala e com possibilidade de manipulação directa ia mesmo avançar.

## Segundo protótipo

Antes de avançar definitivamente para construção de um protótipo que permita manipulação directa, e após os bons resultados obtidos com o primeiro protótipo construído, surgiu a necessidade<sup>4</sup> de construir um protótipo tecnologicamente igual ao primeiro mas de dimensões mais generosas e que não fosse tão descartável, ou seja, que estivesse permanentemente montado, pronto a utilizar e com um aspecto mais agradável.

Com o objectivo de satisfazer os requisitos acima referidos, foi utilizada uma caixa de cartão com aproximadamente 31cm × 33cm × 31cm. Como superfície de toque foi utilizado um vidro com 5mm de espessura estando sobre o mesmo uma folha de papel a actuar como difusor. Ambos ficaram embutidos na tampa da caixa mas sendo possível a sua remoção para trocar a folha<sup>5</sup>. Dentro da caixa foi então novamente colocada uma *webcam* sem qualquer alteração. A figura 20 mostra o resultado final desta configuração.



Figura 20: Protótipo de *touchpad II*.

Com intuito de testar o funcionamento deste novo protótipo utilizou-se novamente a *Community Core Vision*. Tendo este protótipo uma superfície de toque quadrangular com uma diagonal de 13'', foi conseguido um melhor mapeamento entre as dimensões da superfície de contacto e as reais dimensões do ecrã, pelo que a interacção com as aplicações de teste que se encontravam no pacote da *framework* revelou-se bem mais satisfatória do que aquando da utilização do primeiro protótipo.

---

<sup>4</sup> No âmbito de uma apresentação que se viria a realizar.

<sup>5</sup> A necessidade de trocar a folha surge devido à sujidade que os dedos podem ter e que passará, obviamente, para a folha.

### 3.1.2 Protótipo de mesa interactiva

A grande diferença entre um protótipo de uma mesa interactiva e os protótipos anteriormente construídos é o facto de esta permitir manipulação directa dos “objectos” digitais, sendo para tal necessário a existência de imagem na superfície de contacto.

Como explicado anteriormente, o facto de existir imagem na superfície leva à necessidade de recorrer a iluminação de infravermelhos, pelo que o modelo de construção a utilizar não poderia ser novamente Iluminação Difusa Frontal (FDI) havendo a necessidade de escolher outro modelo. Não existindo a possibilidade, por questões relacionadas com recursos e com tempo disponível, de concretizar diversos modelos e optar por aquele que oferecesse melhores resultados foi necessário optar por um modelo e testar o seu funcionamento. Obviamente que se não fossem obtidos resultados satisfatórios com o modelo escolhido, este seria descartado e um outro modelo seria adoptado. Um conjunto de diversos factores levou a que a escolha fosse o modelo de Iluminação Difusa Traseira (RDI) (descrito na secção 2.4.2), nomeadamente:

- Para superfície de interacção poder ser utilizado um vidro normal em conjunto com uma superfície de projecção/difusão.
- Ser possível utilizar como fonte de iluminação de infravermelhos projectores de LEDs de infravermelhos “prontos a funcionar”, não havendo a necessidade de recorrer a lasers mais dispendiosos nem de construir uma “moldura” de LEDs para colocar à volta da superfície de toque, que acarreta um trabalho de bricolage de nível de dificuldade mais acentuado.
- A aparente simplicidade de construção do modelo.
- Permitir reconhecimento de marcadores fiduciais, o que, não sendo necessário para este projecto, se enquadra dentro de um dos objectivos de construção deste dispositivo: dotar a instituição de acolhimento de um dispositivo polivalente que permita alargar o espectro de investigação.
- A possibilidade de através de software contornar o maior problema deste modelo, o menor contraste dos *blobs*.

Sendo um protótipo sempre susceptível a alterações não foi construída uma estrutura dedicada para dar suportar a todo o material necessário, pelo que a estrutura foi adaptada de uma mesa já existente. Uma mesa comum com 59cm × 72cm × 59cm foi colocada com o tampo virado para o chão a servir de base e as partes laterais cobertas com cartão. O topo da nova estrutura foi coberto com um vidro de 5mm de espessura, vidro este que viria a ser utilizado como superfície de toque.

Os restantes componentes do protótipo foram<sup>6</sup>:

- Uma folha de papel vegetal colocada por cima do vidro, servindo de superfície difusora/projecção.
- Uma vulgar *webcam* alterada com o objectivo de captar luz infravermelha e de reduzir ao máximo a captação de luz visível. Esta alteração consistiu na remoção do filtro original que a câmara possuía e que limitava a captação da luz correspondente ao espectro infravermelho e na adição de um filtro que reduzisse a captação de luz visível. Para evitar a aquisição de um filtro específico nesta fase de prototipagem foram testados dois materiais que filtram luz visível, embora não de forma completa, nomeadamente; o disco magnético de uma disquete e a parte preta de um rolo fotográfico que resulta da revelação do mesmo. A aplicação de duas camadas de rolo fotográfico revelou-se como o melhor filtro após testar ambos os materiais.
- Quatro projectores de LEDs de infravermelhos como fonte de luz correspondente a este espectro, alimentados com a fonte de alimentação usada nos computadores de secretária comuns.
- Um projector de curta distância para projectar a imagem na superfície de toque.
- Um computador portátil ligado à *webcam* e ao projector.

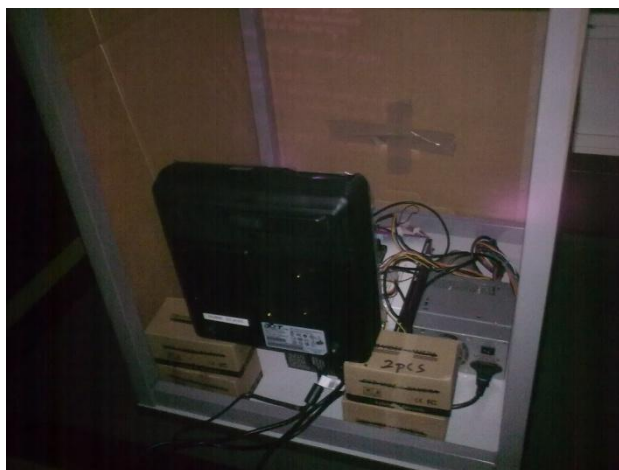
A colocação de todo o material dentro da estrutura revelou algumas dificuldades, principalmente no que respeita à colocação da iluminação e do projector. Quanto ao projector foi necessário encontrar uma posição em que a imagem projectada ocupasse o máximo de área possível da superfície de toque, sem exceder a área captada pela câmara. Relativamente às luzes a maior dificuldade prendeu-se com o encontrar posições correctas para os 4 projectores para que a superfície ficasse iluminada uniformemente. Após várias tentativas e ajustes estas dificuldades foram ultrapassadas (Figura 21).

Mais uma vez a utilização da Community Core Vision como *framework* de visão computacional demonstrou que esta possui as características necessárias para o nosso projecto. Depois de ajustes efectuados nos filtros disponíveis e concluído o processo de calibração que permite mapear as dimensões da superfície de contacto com as reais dimensões do ecrã, foi possível testar diversas aplicações disponíveis recorrendo a manipulação directa, o que não tinha sido possível nos protótipos anteriores. Estes testes demonstraram um nível de usabilidade bastante razoável para um protótipo desta natureza.

---

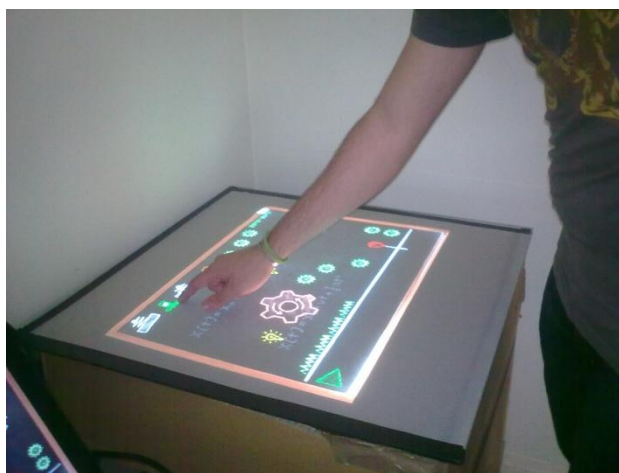
<sup>6</sup> Não será efectuada uma descrição exaustiva dos componentes uma vez que uma descrição mais completa será realizada no subcapítulo seguinte referente à estrutura final da mesa.





**Figura 21: Interior do protótipo da mesa interactiva multi-toque.**

Aproveitando os “Dias Abertos da FCUL”, em que diversos alunos do ensino secundário e respectivos professores visitaram a faculdade para conhecer melhor o meio académico e o trabalho aqui realizado, o protótipo foi disponibilizado aos visitantes para que estes interagissem com o mesmo, assim como lhes foi explicado todo o funcionamento do sistema. Os alunos demonstraram bastante interesse e curiosidade sobre a tecnologia envolvida e a interacção com o protótipo (Figura 22) revelou-se um sucesso, o que foi um *feedback* muito positivo e encorajador para o restante trabalho.



**Figura 22: Interação com protótipo da mesa interactiva multi-toque.**

## **3.2 Mesa Interactiva Multi-Toque**

Nas secções seguintes serão detalhados todos os componentes utilizados na construção da mesa interactiva, assim como será realizada uma análise aos principais detalhes a ter em consideração aquando da colocação dos componentes dentro da estrutura da mesa. Será ainda descrito com mais pormenor o processo que permite

relacionar as coordenadas do toque percebido com o local da imagem projectada onde o toque aconteceu.

### **3.2.1 Componentes**

Depois dos bons resultados obtidos com o protótipo anteriormente desenvolvido, a opção tecnológica para a construção da mesa recaiu sobre a tecnologia na qual assentou a construção do protótipo, ou seja, Iluminação Difusa Traseira (RDI) (descrita na secção 2.4.2).

Todos os componentes necessários para uma configuração assente nesta tecnologia serão descritos de seguida. Esta descrição é baseada nos componentes utilizados até à data de entrega deste relatório, embora estejam previstas alterações num futuro próximo que serão expostas ainda neste capítulo.

#### **Projector**

Com o objectivo de não recorrer a “jogos de espelhos” para conseguir uma imagem com as dimensões pretendidas dada a distância a que o projector está da superfície de projecção, optou-se por um projector de curta distância. Posto isto, o projector escolhido foi um Acer S1200 [Acer] (Figura 23).



**Figura 23: Projector Acer S1200.**

Este projector além de uma boa qualidade de imagem, permite obter uma imagem com uma diagonal de 45” quando projectada a uma distância de 55cm da superfície de projecção. Esta característica permitiu colocar o projector na vertical apontado directamente para a superfície de projecção.

#### **Iluminação de infravermelhos**

Foram utilizados quatro projectores com 48 LEDs de infravermelho cada (Figura 24), sendo o comprimento de onda destes LEDs de 850nm. Para alimentá-los foi usada uma fonte de alimentação de um computador de secretária convencional pelo que foi

preciso alterar os cabos dos projectores para que passassem a ser iguais aos das ventoinhas usadas para arrefecimento dos computadores de secretária e assim ser possível liga-los à fonte de alimentação.



**Figura 24: Projector de luz infravermelha.**

## **Câmara**

Devido ao seu “baixo custo” relativamente às capacidades que apresenta a câmara escolhida foi a Sony Playstation 3 Eye [SonyEye]. Teoricamente esta câmara é capaz de capturar 120 *frames* por segundo com uma resolução de  $320 \times 240$  pixels ou 60 *frames* por segundo com uma resolução de  $640 \times 480$  pixels. Podendo ser ligada ao computador via USB, não existem controladores oficiais para que a mesma possa ser usada sem ser na Playstation 3. No entanto, estão disponíveis, gratuitamente, controladores não oficiais para Windows, Linux e Mac OS X que permitem a utilização da mesma.

Originalmente a câmara contém entre o sensor e a lente um filtro para impedir a captação de luz infravermelha. Sendo a captação de luz infravermelha um ponto fulcral para o funcionamento de todo o sistema, esta câmara também necessita de ser alterada para preencher os requisitos necessários. Para realizar as alterações necessárias a câmara foi desmontada e o filtro original removido. Após a remoção deste filtro, a câmara fica a captar quer luz do espectro visível quer luz do espectro infravermelho, mas, para o objectivo pretendido, a câmara deve captar somente luz infravermelha e, para reduzir o ruído<sup>7</sup>, com um comprimento de onda correspondente ao mesmo que é emitido pelos projectores de luz anteriormente descritos. Para tal, o filtro original foi substituído por outro filtro (*bandpass filter*) que permite somente a captação de luz infravermelha com um comprimento de onda de  $850\text{nm}$ <sup>8</sup>. O diâmetro do novo filtro é ligeiramente superior ao do suporte para a lente original da câmara, pelo que o suporte original também foi

---

<sup>7</sup> A luz ambiente, quer seja do sol ou de luzes artificiais, também contém luz do espectro infravermelho. Limitar a captação de luz a determinado comprimento de onda permite reduzir, em parte, o ruído produzido pela luz ambiente.

<sup>8</sup> O filtro contém um intervalo de tolerância para o qual permite a captação de luz.

trocado por um suporte universal M12. A troca do suporte oferece objectivamente duas vantagens relativamente à configuração original: permite usar diferentes lentes M12 com diferentes ângulos de captação de imagem e possibilita um ajuste de foco contínuo (originalmente a câmara só possui dois pontos de focagem). A figura 25 demonstra o aspecto da câmara depois de todas as alterações concretizadas.



Figura 25: Sony Playstation 3 Eye alterada.

### **Superfície de toque/projecção**

Como superfície de toque foi utilizado um vidro de 71cm × 93cm com 5mm de espessura. Este material apresenta uma taxa de transmissão de luz bastante elevada, pelo que por si só não permite que a imagem seja projectada no mesmo nem difunde a luz infravermelha. Existe assim a necessidade de acrescentar ao vidro uma camada que permita tanto a projecção como a difusão de luz. Para tal foi adicionado por baixo do vidro uma folha de papel vegetal (a substituir mais tarde). Em suma, a superfície de toque/projecção é composta por um vidro com uma folha de papel vegetal colocada por baixo.

### **Estrutura da mesa**

Para instalar todos os componentes atrás descritos e para “prender” a luz infravermelha (a luz fica retida dentro da estrutura) necessária ao correcto funcionamento desta tecnologia foi construída uma estrutura de madeira (Figura 26). O tamanho da estrutura é de 100cm × 79cm, sendo que o tampo da mesma é 10cm maior tanto em comprimento como em largura. De altura a mesa tem 92cm o que permite uma utilização confortável quando utilizada de pé. Na parte posterior existem duas portas que permitem acesso ao seu interior para instalar os componentes e realizar todos os ajustes necessários. Tendo como objectivo facilitar a sua mobilidade, o tampo é removível, diminuindo assim o seu tamanho e peso, e a estrutura está assente em quatro rodas que permitem mudá-la de sítio com facilidade.



**Figura 26: Mesa interactiva multi-toque.**

Tanto o projector como as luzes de infravermelhos contidas dentro da estrutura geram calor que podem levar a um sobreaquecimento do seu interior. Para dissipar esse calor, em cada lateral foi colocada uma ventoinha<sup>9</sup> de 120mm, protegida no exterior por uma grelha metálica para evitar acidentes.

### **Computador**

Os requisitos computacionais para um sistema deste género dependem mais das aplicações a utilizar do que propriamente do sistema em si. Desde que exista capacidade de processamento de vídeo é possível utilizar qualquer computador. Como já foi referido anteriormente existem controladores de câmara e *frameworks* de visão computacional para diversos sistemas operativos, pelo que o sistema operativo também não representa um requisito.

Desde os protótipos até a versão final da mesa foi utilizado um computador portátil a correr Windows 7 32-bit, com um processador Intel Core 2 Duo @1.33GHz, 2.00 GB de memória RAM e com uma placa gráfica NVIDIA GeForce 8400M G.

### **3.2.2 Disposição dos componentes e calibração**

A colocação dos componentes dentro da estrutura compreende alguns pormenores bastante relevantes para atingir uma configuração o mais perfeita possível. A câmara tem que ser colocada numa posição que permita a captação de imagem de toda a superfície de toque. Para tal pode-se aumentar ou diminuir a distância entre a câmara e a superfície ou então utilizar uma lente com uma amplitude angular que permita captar o pretendido. O projector tem que ocupar uma posição que permita que a projecção

---

<sup>9</sup> Ventoinhas utilizadas para dissipar o calor nos computadores de secretária.

encaixe precisamente no espaço destinado à mesma, sendo que a distância entre o projector e a superfície determina o tamanho da projecção. Ao colocar o projector é necessário ter em consideração que o que tem que estar centrado é a lente de projecção e não o projector propriamente dito pois esta raramente se encontra no centro do projector. Outra questão relevante é o *offset* da imagem, ou seja, a distância entre o centro da lente e o início da imagem projectada. Para evitar que a mesa tenha um rebordo demasiado grande em ambos os lados, ou que não seja simétrica, é necessário inclinar o projector de forma a compensar este *offset*. A inclinação irá introduzir distorção na imagem pelo que é essencial encontrar o ponto de equilíbrio entre a diminuição do *offset* e a mínima distorção possível pois, embora seja possível compensar a distorção através do *software* do projector, esta opção não é aconselhável pela redução de qualidade de imagem que causa.

Como explicado anteriormente, a iluminação de infravermelhos tem um papel essencial neste tipo de configuração e conseguir obter uma iluminação homogénea em toda a superfície de toque é determinante para um bom reconhecimento do ponto de contacto em toda a superfície. A obtenção desta homogeneidade é o mais difícil de concretizar pelo que todo o processo é bastante minucioso e exige paciência. Foram experimentadas diversas posições e orientações para os projectores de luz tendo em vista este objectivo, sendo que um ligeiro ajuste de posicionamento ou inclinação modifica automaticamente a luz presente na superfície de toque. Uma abordagem comum é direccionar os projectores para as paredes da mesa e assim dispersar a luz pela mesma evitando focos de luz demasiado fortes na superfície de toque. No entanto, e como explicado mais à frente, a quantidade de luz existente demonstrou não ser a ideal para uma mesa destas dimensões pelo que foi necessário apontar os projectores directamente para a superfície. Uma solução encontrada para exponenciar a dispersão da luz infravermelha no interior da mesa e evitar focos de luz demasiado fortes foi cobrir os projectores com papel vegetal fazendo com que a luz difundida logo à saída dos projectores aumentando assim a homogeneidade. A colocação dos componentes pode ser observada na figura 27.



**Figura 27: Disposição dos componentes dentro da estrutura da mesa.**

Após todos os componentes estarem colocados e atingida a configuração mais perfeita possível, existe imagem projectada e é possível perceber o toque. No entanto, não há correspondência entre o local de toque e a parte da imagem projectada que foi tocada. A *framework* de visão computacional utilizada fornece um processo de calibração para que seja conseguida essa correspondência. Uma grelha de pontos de calibração é então projectada e à medida que os pontos vão sendo iluminados o utilizador toca nesses pontos (Figura 28).



**Figura 28: Processo de calibração.**

Após este processo estar concluído a aplicação tem a capacidade de triangular os pontos. Assim, quando o utilizador toca na superfície, as coordenadas de ecrã são obtidas através a interpolação de 3 pontos previamente conhecidos. Depois deste processo de calibração, as coordenadas do ponto de contacto percebido pela câmara podem ser convertidas em coordenadas de ecrã, permitindo assim que estas sejam utilizadas pelas aplicações cliente para dar o *feedback* corresponde à interacção realizada (Figura 29).



**Figura 29: Confirmação da correcta conversão de coordenadas.**

### 3.3 Análise e trabalho futuro

Todo o processo de concretização da mesa, desde o primeiro protótipo até a versão final, foi bastante aliciante e cada passo dado foi uma motivação para o passo seguinte. No entanto, um projecto deste género comporta sempre problemas imprevistos e limitações externas que influenciam o tempo que é necessário para a sua concretização.

Um factor externo determinante para o tempo que o projecto demorou a ser executado foi a demora na recepção dos materiais necessários. Em Portugal, materiais como, por exemplo, as luzes de infravermelhos ou o filtro a aplicar na câmara apresentam preços bastante elevados e, como um dos objectivos era construir a mesa sem extravagâncias orçamentais, mas garantindo a qualidade da mesma, optou-se por encomendar materiais do estrangeiro o que acarreta esperas pela chegada dos mesmos que nem sempre correspondem às estimativas dadas pelos fornecedores. Outro factor incontrolável foi a disponibilidade de espaço. A estrutura foi colocada numa sala multifunções da instituição de acolhimento pelo que nem sempre o acesso à sala era possível, criando assim a necessidade de trabalhar em horários em que a sala não estivesse reservada para outras actividades.

Ao nível da construção da estrutura, o maior imprevisto que aconteceu foi o suporte pensado para o projector não ter ficado de acordo com o planeado. Tal como anteriormente explicado a posição dos componentes é bastante minuciosa e o mínimo detalhe faz a diferença. Para atingir uma superfície de interacção de 45'' de diagonal existia a necessidade da lente do projector se encontrar a 55cm da superfície. No entanto, após a entrega do suporte, verificou-se que a mesma se encontrava a cerca de 51cm da superfície reduzindo assim a superfície de interacção para 36'' de diagonal. Outra falha demonstrada pelo suporte foi a sua instabilidade, o que origina que um encosto na mesa faça a imagem tremer um pouco e sair ligeiramente da sua posição.

A passagem do protótipo da mesa para a mesa final também revelou um problema adicional. Devido ao aumento substancial nas dimensões da estrutura, o número de projectores de infravermelhos revelou-se insuficiente, principalmente porque se pretendia substituir de imediato o papel vegetal por uma tela de projecção traseira o que proporciona obviamente uma imagem de melhor qualidade. Tendo a tela uma taxa de transmissão de luz muito inferior ao papel vegetal, os quatro projectores demonstraram não emitir luz suficiente para que, depois de difundida, o toque fosse percebido através desta tela.

Estes problemas não invalidaram que fosse possível obter uma mesa funcional e que permitisse realizar o estudo de usabilidade previsto. No entanto, e como o objectivo também passava por dotar a instituição de acolhimento com um dispositivo de boa qualidade e que preenchesse todos os requisitos inicialmente ambicionados, algum



trabalho futuro ainda irá ser realizado para que a mesa fique completamente de acordo com o idealizado. Esse trabalho futuro compreende:

- I. Substituir o actual suporte do projector por um que ofereça mais estabilidade e que permita ajustes de posicionamento em todos os eixos (x, y, z) para que seja possível obter uma imagem com as dimensões previstas e perfeitamente enquadrada na superfície de toque/projecção. Este suporte já se encontra projectado mas ainda não foi possível adquiri-lo. A montagem do suporte é bastante importante para finalizar por completo o dispositivo, pois só após este estar montado é possível fixar a câmara e as luzes na sua posição final.
- II. Acrescentar quatro projectores de luz infravermelha iguais aos já existentes. Os projectores já se encontram encomendados mas até a data ainda não se encontram disponíveis.
- III. Trocar o papel vegetal por uma tela de projecção traseira. A tela escolhida, após pesquisa e ponderando a relação preço qualidade, foi a Rosco Grey [RoscoGrey]. A tela já está disponível mas a troca não foi ainda realizada por estar dependente do reforço de iluminação.
- IV. Colocar dentro da estrutura um computador dedicado ao funcionamento do dispositivo tendo o cuidado de criar ligações para periféricos acessíveis através do exterior da mesa. A utilização de um computador dedicado elimina a necessidade de utilizar um computador portátil, confinando todos os cabos ao interior da mesa, e permite a sua utilização em qualquer momento pois o *software* necessário estará sempre disponível.

Considero que mesmo com os problemas e imprevistos inerentes a este projecto foi um enorme prazer realizá-lo e proporcionou uma aprendizagem constante. Apesar do trabalho futuro a desenvolver, penso que a construção do dispositivo foi bem sucedida, como demonstrado pela sua utilização nos estudos efectuados no contexto deste trabalhos, e após os melhoramentos a efectuar ficará um dispositivo perfeitamente robusto que penso vir a ser muito útil para a instituição de acolhimento. No que respeita à tecnologia escolhida para implementação (Iluminação Difusa Traseira), creio ter sido uma escolha acertada. O seu principal problema assenta na dificuldade existente em obter uma iluminação homogénea e que permita um bom reconhecimento dos *blobs*; mas com paciência e diversas experiências este bom reconhecimento consegue ser atingido. A sua maior limitação é a interferência que a luz ambiente pode causar devido à mesma também conter luz do espectro infravermelho com comprimento de onda de 850nm. Infelizmente esta limitação é transversal a todas as tecnologias anteriormente

descritas que recorrem a luz deste espectro, inclusive a produtos que são comercializados. A título de exemplo a Microsoft Surface [Surface], refere no manual do utilizador que pode não funcionar correctamente quando na presença de muita luz solar por esta conter bastante luz do espectro infravermelho.

## Capítulo 4

### Interacção Gestual

Este capítulo apresenta uma contextualização do que é interacção gestual. É feita uma abordagem às tecnologias que permitem a captação de gestos, assim como os estilos de gestos envolvidos nesta forma de interacção. Também é fornecida uma ideia geral dos cenários que têm sido alvo de estudo, e termina com uma visão mais específica sobre o que tem sido feito para tentar eliminar a ambiguidade entre gestos.

#### 4.1 Tecnologia

Tecnologicamente os sistemas computacionais conseguem captar os gestos de duas formas distintas: perceptualmente e não-perceptualmente.

A aquisição da intenção do utilizador de forma não-perceptual, implica que o utilizador esteja em contacto físico com algum periférico de entrada ou com o próprio dispositivo com o qual pretende interagir. Por periférico de entrada compreende-se não só os tradicionais rato, teclado e estiletes, mas também periféricos equipados com sensores electrónicos, como por exemplo, luvas, capacetes ou todos os objectos físicos que compõem uma interface tangível. Todas as superfícies de interacção que implicam o toque do utilizador para o seu funcionamento estão também englobadas nos dispositivos de interacção que captam dados não-perceptualmente.

Por oposição, as tecnologias perceptuais possibilitam aos dispositivos captar a intenção dos utilizadores sem que estes tenham que efectuar qualquer contacto com um objecto físico, seja ele de que natureza for, permitindo assim ao utilizador interagir gestualmente sem ter que vestir, tocar ou segurar em qualquer objecto. Esta tecnologia só é possível através da utilização de sensores, que vão desde sensores visuais [Davis01] e acústicos [Cohen97], até aos ainda não muito explorados sensores de sopro [Shen10].

Independentemente da tecnologia aplicada, Dan Saffer [Saffer08] afirma que qualquer dispositivo ou ambiente que permita interacção gestual é composto por pelo menos três componentes genéricos: um sensor, um comparador e um actuador. Estas

três componentes tanto podem estar agrupadas no mesmo dispositivo, como serem três dispositivos físicos separados. O sensor tem a função de detectar alterações no ambiente, sendo que o tipo de interacção permitida está directamente dependente do género de sensor utilizado, uma vez que as alterações podem ser das mais diversas formas dependendo do tipo de sensor (e.g. toque, acústico, movimento) que as percebe. Depois do sensor detectar a alteração alerta o comparador da ocorrência da mesma, que compara o estado actual com o anterior estado e, caso dessa comparação resulte informação que justifique uma acção, esse resultado é então passado para o actuador que tem como missão dar o *feedback* correspondente à intenção do utilizador. Na figura seguinte é possível ver um esquema do funcionamento destes três componentes básicos.



Figura 30: Funcionamento básico de um sistema que permite interacção gestual.

## 4.2 Estilos de gestos

No contexto de interacção gestual interessa distinguir quatro estilos diferentes de gestos [Duarte09], nomeadamente: deícticos, gesticulados, manipulativos e semafóricos.

Os gestos deícticos traduzem-se por apontar para um objecto, tendo por objectivo verificar a sua identidade ou a sua localização espacial dentro de determinado contexto. No âmbito da interacção pessoa-máquina, o primeiro estudo que recorreu a este género de gestos foi o Put-That-There [Bolt80]. Nele, os gestos deícticos foram utilizados em conjunto com interacção através da fala, sendo possível ao utilizador, por exemplo, dar comandos como “*create a blue square there*”, e um quadrado azul aparecia no ecrã no local para onde o utilizador apontava enquanto verbalizava o comando.

Gesticular é, talvez, a forma mais natural de comunicar, pelo que o estilo de gestos gesticulados tem sido bastante abordado nos trabalhos de investigação [Quek02] [Kettebekov04] [Eisenstein07]. Este tipo de gestos é utilizado sobretudo em sistemas multimodais, em combinação com interfaces de fala, tentando assim criar uma interacção natural e intuitiva sem que exista a necessidade de recorrer a dispositivos físicos que diminuam a forma inata com que as pessoas utilizam os gestos. Este estilo de gestos depende da análise computacional que interpreta os gestos mediante o contexto, não existindo por isso um mapeamento entre o gesto efectuado e gestos pré-estabelecidos.

Os gestos manipulativos dão-se quando existe uma relação directa entre o movimento da mão, ou do braço, e o que está a ser manipulado. Estes gestos têm sido

utilizados e estudados em três áreas distintas de interacção: no espaço 2D, em interacção com o ambiente de trabalho, recorrendo a um dispositivo de manipulação directa como o rato ou o estilete [Rubine92]; no espaço 3D, em interfaces de realidade virtual, com interacções envolvendo movimentos de mãos vazias para simular a manipulação de objectos físicos [Wu03] [Rekimoto02]; em interfaces tangíveis, para manipular objectos físicos reais que mapeiam objectos digitais [Hinckley03] [Patel04].

Por último, os gestos semafóricos são definidos [Quek02] como um sistema gestual que emprega um dicionário, estático ou dinâmico, de gestos. Embora o seu conceito corresponda a uma mínima parte das interacções humanas [Quek02], este é um dos tipos de gestos mais utilizados no que respeita à interacção pessoa-máquina. O uso de gestos semafóricos é visto como um método prático de fornecer computação à distância em salas e ambientes inteligentes [Cao04] [Lenman02] [Wilson03] e como forma de reduzir a distração com tarefas primárias quando se realizam tarefas secundárias [Karam05]. Este género de gestos pode ser realizado utilizando as mãos [Rekimoto02] [Alpern03], os dedos [Grossman04] [Rekimoto03], a cabeça [Schmandt02] ou periféricos de entrada como uma varinha ou um rato [Wilson03] [Moyle03]. Estes gestos são bastante utilizados como forma de interagir com aplicações através do mapeamento do movimento gestual em comandos. Alguns exemplos desta utilização são os movimentos do rato para controlo de acções como retroceder e avançar em navegadores Web [Moyle03], o controlo de avatares em aplicações de realidade aumentada, realizando gestos, com uma caneta, correspondentes a letras do alfabeto que são mapeadas para movimentos corporais [Barrientos02], o lançamento de comandos de aplicações estilo desktop [Wu03] [Ou03] [Pastel04], para navegação de ecrãs ou selecção em menus [Smith04] [Lenman02] [Zhao04].

### 4.3 Aplicabilidade

Actualmente a maioria da interacção pessoa-máquina assenta no paradigma WIMP (*Windows, Icon, Menu, Pointing Device*). Este paradigma, concebido em 1980 por Merzouga Wilberts [vanDam97], apresenta a informação organizada em janelas e representada por ícones. Os comandos disponíveis são apresentados em menus, estando acessíveis através do dispositivo apontador, tipicamente um rato. Com este paradigma é fácil abstrair espaços de trabalho, documentos, acções, sendo que as analogias introduzidas no contexto deste paradigma (e.g. representar documentos como folhas de papel ou pastas) diminuem a carga cognitiva necessária para a aprendizagem, sendo muito fácil de introduzir a utilizadores inexperientes.

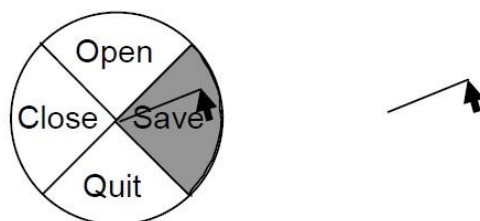
Contudo, tem-se assistido a um crescimento exponencial de dispositivos que possibilitam interacção gestual e táctil, pelo que os periféricos de entrada deixaram de

ser o único meio de interacção possível. Este facto faz com que um paradigma pensado para interacção através destes dispositivos deixe de ser o mais adequado para uma nova forma de interacção cada vez mais em voga, surgindo assim a necessidade de estudar formas de melhorar a interacção gestual, quer seja através da adaptação de alguns conceitos subjacentes ao paradigma WIMP ou criando um novo paradigma, mais actual e adaptado às novas necessidades. Seguidamente será resumido algum do trabalho que se tem realizado para atingir este objectivo.

Desde do seu aparecimento, a interacção gestual tem sido aplicada nos mais diversos tipos de aplicações. A utilização de gestos através de rato, caneta, estilete ou do próprio corpo tem sido mapeada em diferentes tipos de comandos, tentando assim que através da utilização de gestos os utilizadores tenham ao seu dispor os mesmos comandos existentes no anterior paradigma e que são necessários para uma interacção fluida e multifacetada. A aplicabilidade dos gestos é patente nas mais comuns tarefas realizadas num computador, como por exemplo: a manipulação de objectos gráficos [Bolt92]; a navegação em *web browsers* [Moyle03], onde foi provado que é bastante mais rápido e eficiente realizar um gesto em forma de recta (*flick*) para retroceder ou avançar numa página; explorar documentos recorrendo a *scroll* [Smith04]; a edição de documentos [Cohen97] [Roth09].

Sendo a utilização de menus um dos pontos fulcrais do paradigma WIMP, o recurso aos mesmos através da utilização de gestos também tem sido amplamente discutida, exemplos desta discussão são encontrados em trabalhos como [Callahan88] [Kurtenbach94] [Fitzmaurice03] [Guimbretière00] [Hinckley05] [Bau08]. Geralmente, estes sistemas proporcionam mecanismos para aceder a comandos através de menus radiais, organizados de maneira a otimizar a performance do utilizador. Os *pie-menus* [Callahan88] são menus que ao serem invocados, por exemplo, através do botão do rato ou de um toque mais demorado na superfície de interacção, aparecem precisamente no local onde foram invocados, sendo que o utilizador escolhe a acção pretendida através de um gesto na direcção da mesma (Figura 31, esquerda). Os *marking menus* [Kurtenbach91] são uma variante dos anteriormente apresentados, permitindo aos utilizadores escolher a opção do menu antes do mesmo estar visível (Figura 31, direita). Assim. Os utilizadores experientes podem seleccionar a opção pretendida com um gesto rápido na direcção dessa opção. A pensar nos utilizadores menos experientes foi implementado um intervalo de tempo (cerca de meio segundo), tendo como objectivo verificar se existe hesitação por parte do utilizador. Caso exista essa hesitação, é então mostrado o *pie-menu* que permite ao utilizador fazer a sua escolha, como também ajuda na memorização do gesto correcto para determinada opção. Estes menus, além de

exponenciar a usabilidade dos gestos como mecanismo de interacção, proporcionam uma forma de minimizar o efeito da lei de Fitt<sup>10</sup>.



**Figura 31:** *Pie-menu* (esquerda), e selecção equivalente através de *marking menu* (direita) [Moyle03].

A usabilidade que é possível atingir através da interacção gestual também é influenciada pela dimensão da superfície com que se interage. Na literatura podem-se encontrar diversos estudos que vão desde dispositivos móveis, onde a superfície de interacção é bastante pequena [Pastel04] [Roth09] [Butler08], mesas interactivas, com dimensões de superfície que se podem considerar intermédias [Wu03] [Rekimoto02] [Scott03] [Kruger04] [Shen06] e também ecrãs de parede de grandes dimensões [Cao04] [vonHardenberg01] [Pederson93] [Neto09].

A interacção gestual por toque acarreta um problema transversal a todas as dimensões de ecrã, a oclusão. Ao tocar numa superfície para interagir, há sempre uma parte do corpo do utilizador que fica a obstruir a superfície, limitando assim a visibilidade sobre a mesma, especialmente na zona do ecrã imediatamente por baixo daquela com que o utilizador está a interagir. Um exemplo de uma boa prática ao desenvolver interfaces gestuais é evitar colocar informação ou controlos imediatamente por baixo de um elemento da interface que seja passível de interacção por toque [Saffer08]. Infelizmente este género de boas práticas só é aplicável a dispositivos onde as dimensões do ecrã o permitam, pelo que em dispositivos móveis torna-se difícil a sua aplicabilidade. Algumas soluções para este problema podem ser encontradas na literatura, como por exemplo, redesenhar, por cima do local de toque, os pixéis que sofrem de oclusão [Vogel07] ou um protótipo de telemóvel equipado nas suas laterais com sensores de proximidade (infravermelhos), tendo assim a capacidade de detectar a presença e a localização dos dedos quando se encontram à volta do mesmo. Pousando o telemóvel sobre uma superfície é possível interagir com o mesmo efectuando gestos na superfície que o rodeia [Butler08].

---

<sup>10</sup> Esta lei é explicada no subcapítulo 5.5 deste relatório

## 4.4 Gestos de comando

Desenhar e executar comandos são duas tarefas recorrentes em variadas aplicações gestuais, pelo que existe a necessidade da aplicação saber distinguir qual a intenção do utilizador ao realizar determinado gesto. Seguidamente serão sintetizados alguns trabalhos encontrados na literatura que tentam lidar com este problema.

Uma alternativa “simplista” na concepção de aplicações é não permitir que existam gestos que possam ser ambíguos. Por exemplo, o ILoveSketch [Bae08] é um sistema que permite o esboço de curvas em 3D, que, além de ter um fluxo de trabalho bem definido, delimita o uso de gestos de comando a um conjunto de formas diferentes das que podem ser utilizadas para o desenho dos esboços. Esta alternativa, apesar de ser eficaz, não é aplicável a aplicações de desenho livre, uma vez que não existe um fluxo de trabalho concreto nem qualquer restrição ao tipo de desenhos a realizar.

Como alternativa para tentar evitar restrições na concepção dos gestos de comando Yang Li e os seus colegas [Li05] propuseram e analisaram cinco alternativas para trocar entre modo de desenho e modo de comando, nomeadamente: a) pressionar o botão do estilete enquanto o estilete está no ar e manter pressionado até que entre em contacto com a superfície de interação; b) fazer pressão, durante um período de tempo pré-definido, com a ponta do estilete contra a superfície de interação, até obter *feedback* que o modo foi trocado; c) carregar num botão físico, existente no dispositivo, com a mão que não utiliza o estilete; d) perceber o modo consoante a pressão exercida com o estilete contra a superfície; e) utilizar a ponta da estilete específica para apagar, para realizar os comandos, ou seja, inverter a ponta do estilete que é utilizada. Após analisarem quantitativamente as cinco alternativas, concluíram que carregar num botão físico com a mão que não utiliza o estilete é a alternativa mais rápida, e que, em oposição, manter o contacto entre o estilete e a superfície durante um determinado período de tempo é significativamente mais lento e mais propício a erros que as restantes alternativas. A alternativa baseada na quantidade de pressão exercida revelou-se promissora e a experiência demonstrou que pode ser melhorada se existir um local dedicado no ecrã onde esta pressão possa ser aplicada.

Outra hipótese é a utilização de outras modalidades de interação para complementar o gesto. Por exemplo o QuickSet [Cohen97], um simulador de treino militar multimodal, recorre a comandos de voz como complemento aos gestos de comando. Esta opção apresenta algumas limitações de funcionamento como o requerer um esforço extra para o reconhecimento de fala e dificilmente será funcional em cenários muito ruidosos. O Silk [Landay96], ferramenta de *design* que permite esboçar rapidamente uma interface e o Flatland [Mynatt99], uma interface para quadros interactivos, requerem que o utilizador pressione um botão para que a aplicação perceba



que o gesto a executar será um comando. Esta abordagem tem como contra o facto de não funcionar para dispositivos sem botões físicos, a não ser que sejam usados botões virtuais causando assim um desperdício de espaço de ecrã.

A adição de marcas aos gestos também tem sido estudada como forma possível de diferenciação. A utilização de um toque como delimitador foi testada em alguns trabalhos, como por exemplo o MathPad [LaViola04], que sendo um protótipo de uma aplicação matemática utiliza um toque no fim de alguns gestos com o intuito de os distinguir, ou o Fluid Inking [Zelevnik06]. O duplo toque também foi aplicado como forma de eliminar a ambiguidade entre gestos. No Tivoli [Pedersen93] e noutra projecto em tudo semelhante [Moran97] foi feita uma tentativa de usar um toque duplo como um indicador posterior, mas devido à dificuldade de o distinguir de um pequeno traço de desenho, esta abordagem foi abandonada e adoptaram o recurso ao botão da caneta como solução. A pressão exercida com o estilete contra a superfície também foi testada como forma de reduzir a ambiguidade, exemplo disso é uma aplicação de modelação 3D [Tsang04] que, caso o gesto seja efectuado com uma pressão acima de um valor determinado, é assumido como um comando. Mesmo assim, para reduzir a ambiguidade e não comprometer a usabilidade, o número de gestos de comando possíveis de executar foi reduzido para três.

Com o objectivo não de eliminar a ambiguidade entre gestos de comando e gestos de desenho, mas sim aumentar o espectro de acções possíveis com os mesmos gestos, o Bezel Swipe [Roth09] é uma técnica de interacção que visa aumentar as possibilidades gestuais do iPhone para além dos gestos pré-definidos. Para tal, o utilizador começa o gesto na moldura física do iPhone que se encontra em redor do ecrã, e desliza o dedo até um objecto (ou texto) que pretenda seleccionar, sendo assim possível aplicar acções como cortar e colar, arrastar e largar, e seleccionar múltiplos objectos. Ao deslizar o dedo da moldura física para a superfície há uma parte muito pequena do dedo que entra imediatamente em contacto com a superfície quando é iniciado o deslizamento. Para reconhecer esse contacto “especial” é detectado o toque num rectângulo muito pequeno posicionado na fronteira entre a extremidade do ecrã e a parte física do dispositivo, minimizando assim o desperdício de área útil do ecrã.

Como foi sintetizado existem diferentes abordagens tendo em vista a eliminação de ambiguidades entre os gestos, mas apesar dos esforços este objectivo ainda não foi conseguido com total sucesso e não existe uma solução “ótima”. Assim sendo tem sido realizado algum trabalho tendo em vista resolver as ambiguidades em vez de eliminá-las. Saund e Lank [Saund03] ofereceram uma solução para o problema do modo de comando baseada nas propriedades da trajectória da caneta e no contexto dessa mesma trajectória. Caso o sistema não consiga inferir a intenção do utilizador através destas

características é utilizado um mediador de escolha sobre a forma de um *pop-up*. Este mediador é baseado na taxonomia proposta por Mankoff [Mankoff06]

## 4.5 Resumo

Para se perceber o que é interacção gestual existe a necessidade de a contextualizar e conhecer o que tem vindo a ser feito nesta área. Só tendo um conhecimento mais profundo sobre esta forma de interacção é possível melhorá-la e adequá-la as necessidades dos utilizadores.

Tecnologicamente existem duas maneiras de perceber os gestos realizados pelos utilizadores. As tecnologias perceptuais não exigem que o utilizador tenha qualquer contacto com um objecto físico, tendo assim a capacidade de interpretar a intenção do utilizador somente pelo seu movimento corporal. Por outro lado, as tecnologias não-perceptuais implicam que o utilizador esteja em contacto com um periférico de entrada ou com o próprio dispositivo com o qual pretende interagir.

Neste âmbito distinguem-se quatro estilos de gestos diferentes, nomeadamente: deícticos, gesto de apontar para um objecto; gesticulados, actividade inata de gesticular; manipulativos, há uma relação directa entre o movimento da mão, ou do braço, e o que está a ser manipulado; e semaforicos, o gesto do utilizador tem que coincidir com algum gesto que esteja presente no dicionário de gestos do dispositivo com o qual quer interagir.

A não adequação do paradigma WIMP a esta nova forma de interacção leva a que estejam constantemente a ser estudadas novas formas de melhorar a interacção gestual e, em alguns casos, aproximá-la dos hábitos já adquiridos pelos utilizadores. Neste contexto a interacção gestual tem sido estudada e colocada em prática nas aplicações comuns que fazem parte do dia-a-dia dos utilizadores, assim como em dispositivos com as mais diversas dimensões de ecrã. Obviamente que existem contextos em que uma interacção puramente gestual apresenta alguns desafios que ainda não foram superados. A dificuldade que existe em eliminar a ambiguidade entre gestos é um exemplo claro destes desafios. Algumas das soluções propostas incluem: botões para alternar de modo, delimitadores gestuais nos gestos de comando (e.g. toque, duplo-toque, pressão) e até sistemas multimodais em que a voz serve de complemento ao gesto.

Percebe-se que a interacção gestual ainda se encontra em fase de constante desenvolvimento e maturação, pelo que é necessário procurar soluções para os desafios existentes. Neste sentido, e recorrendo a diferentes dispositivos com capacidade de captar não-perceptualmente os gestos dos utilizadores, vão ser analisadas e comparadas duas propostas com o objectivo de eliminar a ambiguidade existente entre gestos semaforicos de desenho e de comando, em aplicações de desenho livre. As soluções

propostas resultaram da análise feita ao trabalho já realizado, baseando-se, por isso, na adição de uma marca ao gesto de comando e numa adaptação do Bezel Swipe [Roth09].



## Capítulo 5

# Interacção Gestual em Superfícies de Diferentes

## Dimensões sem Teclado

Neste capítulo são apresentados dois estudos realizados sobre interacção gestual em superfícies de diferentes dimensões, que não possuem teclado. Para terminar é feita uma reflexão sobre como a dimensão da superfície afecta a velocidade para atingir um objecto.

### 5.1 Enquadramento

O foco dos estudos realizados é a interacção gestual em aplicações de desenho recorrendo a dispositivos sem teclado. Estas aplicações apresentam restrições mais rígidas que as restantes pois existe a necessidade de eliminar a ambiguidade presente quando um gesto significa um comando ou faz parte do que está a ser desenhado. Nesses estudos são explorados dois conjuntos de gestos alternativos capazes de lidar com esse problema e é atestada a adequabilidade de cada conjunto tendo em conta as dimensões de ecrã do dispositivo.

Actualmente, nas interfaces gestuais os gestos são principalmente distinguidos pela forma e direcção com que são desenhados, pela adição de alguma marca específica no início ou no fim do gesto e também pelo contexto inicial ou final do mesmo [Zelevnik06]. Por exemplo, nas típicas aplicações de navegação um gesto começa num local e forma uma linha para a esquerda caso o desejado seja a “página seguinte” e para a direita caso seja a “página anterior”. Um gesto circular tipicamente implica a rotação da “página”. Noutros casos o gesto deve começar com algum género de marca inicial, por exemplo exercer pressão durante um período de tempo mais longo para diferenciar o alvo do gesto (e.g. página ou *widget*). Contudo, se aplicação for uma aplicação de desenho, ou com características semelhantes, estes mesmos gestos são usados com a intenção de desenhar linhas ou círculos e o contexto inicial ou final do gesto

difficilmente resolve o problema porque o utilizador pode querer desenhar por cima de outro desenho já existente.

Neste género de aplicações existem, tipicamente, duas soluções para resolver a questão de perceber qual a intenção do utilizador, nomeadamente: 1) Recorrer a uma região específica do ecrã que se encontre fora da área de desenho e disponibilizar nesse local, por exemplo, uma barra de *scroll*, um ícone ou mesmo um menu; 2) Utilizar botões físicos auxiliares, tais como os botões do rato ou do estilete, ou então as teclas de um teclado. A primeira solução apresenta um nível de reconhecimento mais preciso, é mais fácil de lembrar mas é uma solução mais lenta [Balakrishnan04] [MacKenzie92a]. Dependendo da alternativa escolhida, as opções clássicas baseadas em região requerem: a) um esforço motor extra para completar a tarefa; b) espaço extra no ecrã ou um atalho complementar (e.g. botão direito do rato ou manter uma tecla pressionada) para fazer aparecer essa região dedicada; c) e tempo extra para localizar a opção. Esta solução é frequentemente utilizada por utilizadores inexperientes ou para comandos menos utilizados [Lane05].

Recorrer a botões físicos ou teclas revela ser uma opção mais rápida e que não requer espaço extra no ecrã. Esta opção é frequentemente utilizada como atalhos para comandos atómicos (e.g. *undo*, *redo*), comandos aplicados a argumentos previamente definidos (e.g. apagar) ou para entrar em modos especiais (e.g. agarrar para mover). Manter teclas pressionadas durante a execução de determinado gesto também permite eliminar a ambiguidade entre desenho e comando.

Contudo, para utilização de dispositivos sem teclado e/ou com ecrãs de reduzidas dimensões, e nos quais o principais mecanismos de interacção são os dedos, os estiletes ou as canetas, as soluções acima apresentadas não são as mais adequadas. Na maioria dos dispositivos que possuem estiletes ou canetas, estes acessórios não têm botões e mesmo tendo em consideração que existem canetas que possuem botões físicos, a sua utilização está normalmente associada ao aparecimento de um menu, além de que executar um gesto enquanto se mantém a tecla pressionada dificulta a precisão de desenho do mesmo.

Nos ecrãs multi-toque [Do-Lenh09] os desenhos podem ser executados com mais que um dedo ao mesmo tempo, eliminando assim a utilização de gestos multi-toque como forma de eliminar a ambiguidade acima referida.

Por todas estas razões é necessário encontrar soluções para eliminar a ambiguidade latente entre gestos de desenho e gestos de comando. Foram propostas duas dimensões tendo em vista a obtenção desse objectivo. Essas dimensões surgiram da observação das actuais ferramentas de desenho, da literatura [Appert09] [Bragdon09] [Zelevnik06] e de uma classificação sistemática de gestos sobre a possibilidade de discriminar

características dos traços de desenho. Foram desenvolvidos gestos para alguns dos comandos mais comuns e adaptados para o quadro conceptual de cada dimensão, tendo então sido realizados dois estudos com o objectivo de comparar esses dois conjuntos.

## 5.2 Desenvolvimento dos conjuntos de gestos

Com o objectivo de identificar dimensões gestuais interessantes e relevantes que permitam eliminar a ambiguidade existente entre gestos de desenho e gestos de comando, foi analisado um vasto conjunto de trabalhos já realizados [Appert09] [Bragdon09] [Duarte09] [Bau08] [Zelevnik06]. É de salientar que o foco não se encontra nos gestos em si, mas sim na forma como os modos são identificados ou como é feita a troca dos mesmos. Além disso, foi assumida a inexistência de teclas extra, quer no dispositivo (e.g. teclado) que no periférico de interacção (e.g. dedo, caneta ou estilete).

Foram identificadas duas dimensões iniciais, ambas com foco no início do gesto, nomeadamente: 1) a utilização de uma marca; 2) uma região específica do ecrã. No primeiro caso a marca pode consistir num gesto muito pouco provável, por exemplo um borrão antes de iniciar o gesto, ou num toque (*tap*) no ecrã antecedente à realização do gesto. Foi colocada de lado a hipótese de exercer um toque prolongado no ecrã antes da execução do gesto porque, para além de ser mais lento, os toques prolongados estão associados ao aparecimento de um menu.

A utilização de uma região específica do ecrã pode introduzir um problema de desperdício de espaço, assim como para ecrãs de maiores dimensões poderá levar a um esforço motor mais acentuado. O primeiro problema poderá ser minimizado através da utilização de uma pequena moldura invisível em redor do ecrã ou, caso seja necessário, só de um ou dois lados do ecrã. A segunda questão só se coloca para dispositivos de grandes dimensões, sendo o esforço motor desprezível para ecrãs de pequenas dimensões. É de salientar que, em ambos os casos, os gestos de comando são tidos como atalhos que poderão ser complementados com a utilização de menus disponíveis através dos mecanismos clássicos.

A figura 32 mostra os gestos definidos para alguns dos comandos mais utilizados em ferramentas de desenho: seleccionar, cortar e colar, apagar, *undo* e *redo*, e *scroll*. Na primeira coluna os gestos estão representados num contexto sem restrições, ou seja, assumindo que o sistema tem a capacidade de distinguir os gestos de comando dos gestos similares de desenho somente através da intenção do utilizador.

	Unrestricted	Depending on starting mark (e.g. d-click)	Depending on starting region (e.g. frame)
Scroll			
Select			
Copy/Paste			
Undo/Redo			
Delete			

Figura 32: Gestos para os três conjuntos de gestos.

Os gestos propriamente ditos são comuns a outras aplicações e foram considerados aceitáveis em estudos relacionados [Neto09] [Bragdon09]. Os pequenos círculos representam objectos previamente desenhados; alguns desses objectos têm associada a simbologia de selecção, indicando assim que os comandos (apagar e copiar) são aplicados aos mesmos. Os comandos colar e *redo* utilizam gestos simétricos aos de copiar e *undo*. As setas existentes no desenho dos gestos indicam o sentido pelo qual o mesmo deve ser executado.

As outras duas colunas representam os mesmos gestos, mas usando cada uma das dimensões acima referidas. Na coluna do meio, o círculo preenchido no início do gesto representa a marca que indica que o gesto será um comando. A escolha recaiu num toque (*tap*) antes da execução do gesto uma vez que este método de interacção é comum nas actuais interfaces com o utilizador [Saffer08]. A última coluna representa a utilização da moldura invisível em redor do ecrã. Esta moldura está indicada por um rectângulo sombreado onde qualquer gesto de comando deve ser iniciado.

A utilização destes três conjuntos de gestos permite compreender:



- a) o quão difíceis os utilizadores consideram os dois conjuntos propostos em comparação com a situação ideal;
- b) as diferenças entre os dois conjuntos de gestos propostos;
- c) a influência das dimensões do ecrã no desempenho suportado pelos dois conjuntos;

## 5.3 Comparação entre os conjuntos de gestos numa superfície

Tendo como objectivo comparar os dois conjuntos de gestos anteriormente mencionados, foi preparada uma experiência para determinar qual dos conjuntos é mais apropriado para as condições descritas.

### 5.3.1 Descrição

Um total de seis voluntários participou em duas sessões experimentais<sup>11</sup>. Com idades compreendidas entre os 23 e os 29 anos, a média de idades foi de 26 anos. Todos os participantes eram estudantes pós-graduados de Engenharia Informática e, segundo os mesmos, com mais de 10 anos de experiência de utilização de computadores. Cinco afirmaram conhecer pelo menos um dispositivo de interacção gestual, três dos quais com utilização regular. Esta utilização referia-se aos dispositivos Apple iPhone e iPod e Nintendo Wii.

Foi desenvolvida<sup>12</sup> uma aplicação de desenho simplificada (Figura 33) com a qual os utilizadores tiveram de interagir para desempenharem tarefas, sendo que para o fazerem puderam recorrer somente a gestos. A aplicação suportava o desenho de duas formas geométricas: círculos e rectângulos. Além de desenhar formas geométricas os utilizadores podiam arrastá-las pela área de trabalho, assim como aplicar-lhes comandos típicos neste género de aplicações: copiar, colar e apagar as formas, e fazer *undo* e *redo* às acções realizadas. A selecção de uma só forma podia ser realizada tocando sobre a mesma, e a selecção de múltiplas formas era possível através do gesto de selecção. Sendo a área de trabalho maior que a janela de visualização os utilizadores também podiam executar gestos com o objectivo de fazer *scroll*, sendo que as barras de *scroll* encontravam-se desactivadas funcionando apenas como um mecanismo auxiliar de *feedback*.

Querendo eliminar a influência de variáveis externas nesta avaliação optou-se por realizar a experiência como “Feiticeiro de Oz”, reduzindo assim o impacto que o

---

<sup>11</sup> Os guiões e os questionários correspondentes a este estudo podem ser consultados no anexo A.

<sup>12</sup> Tendo por base uma aplicação já existente.

reconhecimento dos gestos poderia ter nos resultados comparativos. Tomada esta opção, só os gestos de círculo, rectângulo e selecção eram reconhecidos automaticamente pela aplicação, sendo os restantes gestos reconhecidos pelo avaliador que monitorizava a experiência.

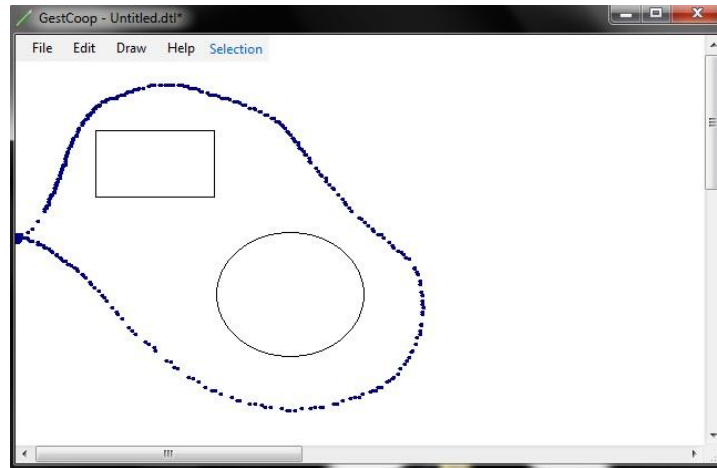


Figura 33: Aplicação de desenho.

Para avaliar a adequabilidade dos dois conjuntos de gestos mediram-se ambos com métricas quantitativas e qualitativas. Um terceiro conjunto de controlo foi também utilizado para avaliar a dificuldade adicional introduzida pelos conjuntos propostos em comparação com uma situação ideal. Para tal, neste conjunto, a aplicação seria capaz de adivinhar, com 100% de precisão, se o gesto era um comando sem recorrer a qualquer característica discriminatória. As métricas quantitativas incluem o tempo médio que os utilizadores demoraram a efectuar os diferentes gestos e uma métrica da qualidade do gesto. Esta métrica foi calculada por uma revisão de um avaliador, classificando todos os gestos realizados por todos os participantes nos testes.

Devido a um problema na aplicação de captura dos gestos nem todos os gestos da primeira sessão experimental foram capturados. Mesmo assim o total de gestos capturados durante as duas sessões ascendeu aos 986. Com base nesta captura, o avaliador classificou os gestos dentro de uma das acções que eram possíveis reconhecer. Um gesto foi considerado de qualidade se este reconhecimento coincidia com a intenção do utilizador ao realizar o gesto. As métricas qualitativas incluem uma avaliação subjectiva dos utilizadores aos três conjuntos de gestos, sendo que as características avaliadas foram a velocidade, o conforto, a precisão e a satisfação de utilização.

### 5.3.2 Procedimento

A experiência desenrolou-se em duas sessões com um dia de intervalo, tendo em ambas os mesmos participantes. A primeira sessão começou com uma explicação dos objectivos aos participantes, os quais seguidamente preencheram um questionário de

perfil. Posteriormente, e para o primeiro conjunto de gestos, uma folha com ilustrações dos gestos foi fornecida aos participantes e foi dado todo o tempo requerido para que os mesmos se adaptassem à aplicação, tendo sempre o apoio do avaliador. Quando se sentiram preparados, a folha foi retirada e foi pedido aos participantes que desempenhassem um conjunto de tarefas pensadas para englobarem cada uma das acções pelo menos uma vez. Após todas as tarefas concluídas o segundo conjunto de gestos foi apresentado e todo o procedimento repetido, repetindo-se mais uma vez para o último conjunto de gestos. No final foi pedido aos participantes que preenchessem um questionário de satisfação.

Durante a segunda sessão nenhuma folha com ilustrações dos gestos esteve disponível. A sessão começou com uma breve descrição da aplicação, mas sem nunca mencionar os três conjuntos de gestos. Foi então pedido aos participantes que executassem um conjunto de tarefas, sem serem dadas quaisquer indicações sobre o conjunto de gestos a utilizar, sendo assim possível inferir qual o conjunto de gestos mais natural e intuitivo. Após concluírem estas tarefas foi então pedido aos participantes que executassem um novo conjunto de tarefas, mas desta vez repetindo-se para cada um dos três conjuntos de gestos. Isto permitiu detectar se os participantes tinham mais dificuldades em lembrarem os gestos de algum conjunto específico. Mais uma vez, e após terminarem todas as tarefas para todos os conjuntos de gestos, foi pedido aos participantes que preenchessem um novo questionário de avaliação.

Sendo os gestos semelhantes, e não querendo que os resultados fossem afectados pelo efeito de treino, a ordem pelo qual os testes foram realizados por cada participante e para cada conjunto de gestos foi controlada em ambas as sessões.

Para executar o procedimento descrito utilizou-se um Tablet PC, nomeadamente um LG P100 com 10.6'' de ecrã e com uma resolução de 1280 por 768 pixels. O computador encontrava-se configurado como um *tablet* com o ecrã orientado para o participante e o teclado coberto pelo mesmo, sendo que aplicação de desenho encontrava-se maximizada ocupando todo o ecrã. Os participantes do teste encontravam-se sentados e a sua interacção com o *tablet* foi efectuada recorrendo a um estilete. O avaliador que interpretava o papel de “Feiticeiro de Oz” encontrava-se perto do participante e com excelente visibilidade para o ecrã. O reconhecimento dos gestos foi possível, mapeando os gestos da aplicação para atalhos de teclado, recorrendo a um teclado USB ligado ao Tablet PC.

### **5.3.3 Análise de resultados**

Seguidamente são apresentados os resultados obtidos nas duas sessões experimentais e é realizada a análise dos mesmos.

A tabela 1 apresenta a distribuição dos gestos pelas acções efectuadas. É possível observar que cerca de um terço dos gestos foram efectuados para comandos de *scroll*, e aproximadamente outro terço para comandos de apagar e de *undo*. O grande número de comandos de *scroll* deveu-se à natureza das tarefas a realizar, que implicavam muitas vezes a deslocação da janela de visualização ao longo da área de trabalho. O número de gestos de apagar e de *undo* ficou um pouco acima do esperado, principalmente devido a alguns erros de reconhecimento durante a acção de selecção. O problema subjacente a estes erros de reconhecimento será discutido mais à frente neste relatório.

Acção	%	Acção	%
Rectângulo	1.8%	Copiar	3.3%
Círculo	3.3%	Colar	3.3%
Arrastar	13.2%	<i>Undo</i>	11.7%
<i>Scroll</i>	34.9%	<i>Redo</i>	3.3%
Seleccção	12.5%	Apagar	12.6%

Tabela 1: Distribuição dos comandos ao longo da experiência.

A tabela 2 apresenta a distribuição dos conjuntos de gestos. Quase metade dos gestos foram efectuados no conjunto sem restrições. Este facto deveu-se ao grande número de tarefas efectuadas recorrendo a este conjunto durante a segunda sessão de testes, uma vez que numa parte da sessão não existia imposição quanto ao conjunto de gestos a utilizar e todos os participantes optaram pelo conjunto sem restrições.

Conjunto	%
Sem restrição	47.4%
Moldura	29.1%
Toque	23.5%

Tabela 2: Distribuição dos conjuntos de gestos ao longo da experiência.

### Métricas quantitativas

A tabela 3 apresenta o tempo médio, em segundos, que os participantes demoraram para executar cada acção, tendo em consideração o conjunto de gestos.

	Sem restrição	Moldura	Toque
<b>Rectângulo</b>	1.143	1.286	1.750
<b>Círculo</b>	0.696	0.750	1.167
<i>Scroll</i>	0.652	0.536	1.086
<b>Seleccção</b>	1.630	1.677	2.130
<b>Copiar</b>	0.111	0.403	1.002
<b>Colar</b>	0.211	0.208	0.498
<i>Undo</i>	0.341	0.550	0.806
<i>Redo</i>	0.350	0.375	0.605
<b>Apagar</b>	0.541	0.497	1.061

Tabela 3: Tempo médio (segundos) para cada acção em cada conjunto de gestos.

Para determinar a influência dos conjuntos de gestos na duração dos gestos realizados foram conduzidos testes ANOVA. A tabela 4 apresenta os resultados dos testes para todas as acções realizadas, exceptuando as de desenho pois não implicam nenhum gesto de comando.

	F-teste	<i>p</i>
<i>Scroll</i>	F(2.340) = 23.045	<b>4.1148E-10</b>
<b>Seleccção</b>	F(2.120) = 4.248	0.016497981
<b>Copiar</b>	F(2.30) = 11.33	<b>0.000216102</b>
<b>Colar</b>	F(2.30) = 0.789	0.463676386
<i>Undo</i>	F(2.112) = 7.725	<b>0.000719604</b>
<i>Redo</i>	F(2.30) = 0.396	0.676793486
<b>Apagar</b>	F(2.120) = 13.424	<b>5.48109E-06</b>

Tabela 4: Testes ANOVA para a duração dos gestos.

O conjunto de gestos teve um efeito estatisticamente significativo nos gestos de *scroll*, copiar, *undo* e apagar com  $p < .001$ . Uma série de testes Tukey HSD foram realizados para comparar os gestos tendo em conta o conjunto pertencente. Estatisticamente concluiu-se que o gesto de *scroll* é significativamente mais lento no conjunto de gestos Toque do que no conjunto Moldura (HSD = 9.281,  $p < .01$ ) e no conjunto Sem Restrição (HSD = 7.924,  $p < .01$ ). O gesto de copiar também é

significativamente mais lento no conjunto de gestos Toque do que no conjunto Moldura (HSD = 4.151,  $p < .01$ ) e no conjunto Sem Restrição (HSD = 6.663,  $p < .01$ ). O gesto de *undo* é significativamente mais rápido no conjunto Sem Restrição do que no conjunto Toque (HSD = 5.554,  $p < .01$ ). Finalmente, o gesto de apagar é significativamente mais lento no conjunto Toque do que no conjunto Moldura (HSD = 6.262,  $p < .01$ ) e no conjunto Sem Restrição (HSD = 6.638,  $p < .01$ ).

Em suma, os gestos de *scroll*, copiar e apagar são mais lentos no conjunto Toque comparativamente aos outros dois conjuntos. O gesto de *undo* é mais rápido no conjunto Sem Restrições quando comparado com o conjunto Toque. Não foram encontradas mais relações estatisticamente significativas nos dados recolhidos.

Como referido anteriormente, a qualidade dos gestos realizados também foi medida. A tabela 5 apresenta para cada conjunto de gestos e cada acção a percentagem de gestos considerados de qualidade.

	Sem Restrição	Moldura	Toque
<i>Scroll</i>	92.1%	89.1%	78.6%
<b>Copiar</b>	94.4%	50.0%	60.0%
<b>Colar</b>	89.5%	60.0%	75.0%
<i>Undo</i>	72.7%	80.0%	54.8%
<i>Redo</i>	85.0%	87.5%	60.0%
<b>Apagar</b>	77.0%	76.7%	75.8%

Tabela 5: Qualidade dos gestos para cada acção em cada conjunto de gestos.

Seguindo o que foi realizado para a duração dos gestos, foram executados uma série de testes ANOVA para determinar o efeito do conjunto de gestos na qualidade dos gestos realizados. A tabela 6 apresenta o resultado desses testes.

Pode-se observar que o conjunto de gestos tem um efeito estatisticamente significativo nos gestos de *scroll* e de copiar, com  $p < .05$ . No entanto sendo estatisticamente significativo, este efeito é menos pesado do que o detectado no efeito sobre a duração dos gestos. Mais uma vez, para comparar os gestos de *scroll* e de copiar foram realizados testes Tukey HSD donde se concluiu que o gesto de *scroll* no conjunto Sem Restrição apresenta um resultado estatístico significativamente de melhor qualidade do que no conjunto Toque, e que o gesto de copiar apresenta uma melhor qualidade no conjunto Sem Restrição do que no conjunto Moldura. Resumindo, o

impacto do conjunto de gestos na qualidade dos gestos é menos profundo do que na média de tempo da execução do gesto.

	<b>F-teste</b>	<b><i>p</i></b>
<b><i>Scroll</i></b>	F(2.340) = 4.468	<b>0.012147763</b>
<b>Copiar</b>	F(2.30) = 4.574	<b>0.018461447</b>
<b>Colar</b>	F(2.30) = 1.748	0.191358791
<b><i>Undo</i></b>	F(2.112) = 2.807	0.064633036
<b><i>Redo</i></b>	F(2.30) = 0.921	0.408940323
<b>Apagar</b>	F(2.120) = 0.010	0.990287383

Tabela 6: Testes ANOVA para a qualidade dos gestos.

### Métricas qualitativas

Os dados qualitativos foram recolhidos através de dois questionários apresentados no fim de cada sessão experimental. No fim da primeira sessão foram recolhidos dados relativos à velocidade, ao conforto, à precisão e à satisfação referentes a cada conjunto de gestos. Cada critério tinha uma escala de 1 a 5, sendo 5 a melhor pontuação. A tabela 7 apresenta os resultados médios dos 6 participantes.

	<b>Sem Restrição</b>	<b>Moldura</b>	<b>Toque</b>
<b>Velocidade</b>	4.33	3.00	2.67
<b>Conforto</b>	4.50	2.67	2.83
<b>Precisão</b>	4.17	2.83	3.33
<b>Satisfação</b>	4.33	2.50	2.67

Tabela 7: Opinião dos participantes relativa aos três conjuntos de gestos.

Dado o pequeno número de participantes na experiência não foi feita análise estatística destes dados. Contudo, ao analisar a tabela é possível concluir que os participantes acharam que o conjunto Sem Restrições é mais confortável e rápido, tem grande precisão e de forma geral é mais satisfatório. Os resultados apresentam uma grande vantagem do conjunto Sem Restrições comparativamente com os outros dois conjuntos.

Ao comparar os outros dois conjuntos é possível verificar que não existe uma clara vantagem de nenhum deles sobre o outro, mesmo assim os participantes pareceram

achar os gestos do conjunto Toque mais confortáveis de executar e mais precisos, enquanto que os gestos do conjunto Moldura mais rápidos de executar. Estes resultados estão de acordo com o esperado após uma simples análise a cada conjunto. Os gestos do conjunto Toque requerem que o utilizador dê um toque no ecrã antes de executar o gesto de comando. Este requisito intuitivamente implica uma maior duração na execução do gesto de comando, pelo menos em dispositivos onde a dimensão do ecrã não implique que para aceder à moldura seja necessário um movimento muito longo. Esta análise é suportada pelos dados da tabela 3, onde os gestos do conjunto Toque são os que requerem mais tempo de execução. No que respeita ao conforto e precisão, o requisito de executar o gesto a partir da moldura torna a sua execução mais desconfortável levando, logicamente, a que a precisão de execução diminua.

O questionário da segunda sessão foi focado em dois aspectos: qual o conjunto de gestos preferido e quão adequados são os gestos para cada acção. Para tal foi pedido aos participantes que escolhessem o seu conjunto de gestos preferido, aquele que consideraram mais fácil de executar, o mais eficiente e o mais fácil de memorizar. A resposta foi unânime em todas as questões: o conjunto Sem Restrição. Esta resposta está de acordo com a selecção feita pelos participantes quando a tarefa implicou uma livre escolha do conjunto, já que todos executaram os gestos do conjunto Sem Restrição.

A tabela 8 apresenta a média da satisfação dos participantes para cada gesto relativamente à acção desempenhada, sendo que a diferença entre os gestos residia somente na forma como era indicada a intenção de realizar um comando. A satisfação foi medida de 1 a 5, sendo 5 o melhor resultado.

<b>Acção</b>	<b>Satisfação</b>
<i>Scroll</i>	4.00
Seleccção	2.83
Copiar	4.50
Colar	4.50
Apagar	3.50
<i>Undo</i>	5.00
<i>Redo</i>	5.00

**Tabela 8:** Média da satisfação relativamente ao gesto associado a cada acção.

Os gestos de *scroll*, copiar, colar, *undo* e *redo* atingiram elevadas pontuações de satisfação, estando estes dados de acordo com o comportamento dos participantes



durante a experiência. Os gestos de selecção e de apagar atingiram pontuações menores. Um dos participantes, sendo canhoto, comentou que teve dificuldades nestes dois gestos; outro participante sugeriu que o gesto de apagar fosse multi-traço. O gesto de selecção criou alguns problemas por ser igual ao gesto de desenho do círculo variando somente no sentido em que é executado. Esta diferença demonstrou não ser muito eficaz, justificando a baixa pontuação.

### **Observações e comentários**

Os comentários dos participantes ao longo das sessões experimentais também assumem a sua relevância permitindo confirmar e expandir os dados obtidos através das métricas quantitativas e qualitativas.

Comentários feitos pelos participantes durante conversas após os testes confirmaram aquilo que os questionários revelaram: o conjunto de gestos mais natural e menos intrusivo é o conjunto Sem Restrição. Esta é uma conclusão óbvia quando nos referimos a uma aplicação de desenho com um número limitado de gestos de desenho. Mas ao serem adicionadas mais funcionalidades a aplicabilidade do conjunto Sem Restrição será menor. Se tomarmos como exemplo a possibilidade de desenhar linhas, da mesma forma que desenhamos rectângulos e elipses, isto irá inviabilizar o gesto de *scroll*, uma vez que este também é uma linha. Um efeito parecido pôde ser observado durante a experiência. Sendo o gesto de desenhar uma elipse semelhante ao de selecção, por mais que uma vez os participantes executaram o gesto de selecção quando queriam desenhar uma elipse e vice-versa. Em aplicações de desenho reais será expectável que o número de gestos de desenho aumente e que seja também possível desenho livre, o que irá limitar acentuadamente o uso de gestos de comando sem restrições.

Uma observação relevante em sistemas gestuais é o impacto da mão dominante do utilizador. Sendo um dos participantes canhoto, foi possível observar, e o próprio comentou, que sentiu muitas dificuldades em distinguir o gesto de elipse do gesto de selecção, uma vez que variavam somente no sentido. Notou-se também que estes dois gestos geraram alguma confusão quando ocorria um erro de reconhecimento, levando os participantes a demorar mais tempo a pensar sobre o gesto correcto. Isto é um sinal inequívoco que a direcção do gesto não pode ser equacionada como método para eliminar a ambiguidade entre gestos de desenho e de comando.

### **5.3.4 Discussão**

O foco principal deste estudo foi como eliminar a ambiguidade existente entre gestos de comando e gestos de desenho em aplicações de desenho com interface gestual. Isto é particularmente importante em cenários em que não haja botões adicionais ou outra forma de “entrar” em modo comando. Foram propostas duas dimensões, baseadas

no início do gesto, para efectuar essa distinção. Uma dimensão era identificada pela localização do início do gesto, enquanto a outra por um toque no ecrã antes do gesto de comando, sendo que a utilização destas dimensões permite que qualquer gesto seja utilizado como gesto de comando desde que seja precedido por uma característica definidora.

Para avaliar a proposta foi conduzida uma experiência onde os dois conjuntos de gestos foram comparados entre eles, e também com uma situação ideal onde a intenção do utilizador era sempre reconhecida com 100% de eficácia, quer a mesma fosse desenhar ou executar um comando. Os conjuntos de gestos foram avaliados quanto à sua velocidade, conforto, precisão e satisfação, e tal como esperado a situação ideal foi a escolha preferida dos participantes assim como a mais efectiva.

De uma perspectiva pragmática de uma opção de implementação, a comparação entre os conjuntos Moldura e Toque revelou vantagens e desvantagens em ambos. A experiência revelou, na configuração em que foi realizada, que é mais rápido realizar gestos a partir da moldura do que recorrendo a um toque no ecrã antes de efectuar o gesto. No que respeita a conforto, precisão e satisfação os gestos precedidos de toque demonstraram melhores resultados.

## **5.4 Comparação entre os conjuntos de gestos em superfícies de diferentes dimensões**

Ao interagirmos por toque as dimensões de ecrã representam directamente as dimensões da superfície de interacção, pelo que uma interface pensada para interacção numa superfície de pequenas dimensões poderá não ser a mais adequada para uma superfície de grandes dimensões e vice-versa. Deste ponto surge a necessidade de estudar e comparar métodos de interacção em superfícies de diferentes dimensões para ser possível compreender o que é mais adequado para cada dimensão.

Após no estudo anterior se ter feito uma comparação entre os dois conjuntos de gestos numa única dimensão de superfície e se ter concluído que ambos têm prós e contras mas que revelaram uma boa aceitação por parte dos utilizadores, resultou a necessidade de comparar estes mesmos conjuntos em superfícies de diferentes dimensões para tentar assim perceber se a adequabilidade dos conjuntos varia com as dimensões da superfície de interacção. O estudo efectuado tendo em vista a obtenção deste objectivo é descrito nas secções seguintes.

### 5.4.1 Descrição

Nesta experiência<sup>13</sup> participaram 12 voluntários, existindo o cuidado de não recorrer a nenhum voluntário que já tivesse realizado a primeira experiência. Com idades compreendidas entre os 23 e os 48 anos, a média de idades foi de 27 anos. Todos os participantes afirmaram ter 10 ou mais anos de experiência na utilização de computadores e só um participante afirmou não conhecer qualquer dispositivo de interacção gestual, sendo que, dos onze que afirmaram conhecer este tipo de dispositivos, oito fazem uma utilização regular, nomeadamente de telemóveis e Nintendo Wii.

Para esta experiência existia a intenção de utilizar a mesa interactiva que foi construída, e já anteriormente descrita. Recorrendo à mesa como dispositivo de interacção não foi possível utilizar a mesma aplicação de desenho simplificada que se utilizou no estudo anterior, uma vez que esta aplicação não permitia a recepção de dados através do protocolo TUIO<sup>14</sup>. Após um estudo das alternativas concluiu-se que seria mais eficaz implementar de raiz uma aplicação de desenho simplificada recorrendo a outra linguagem que fornecesse um bom suporte para este protocolo. A escolha recaiu sobre ActionScript 3, complementada com uma biblioteca destinada precisamente à descodificação dos dados enviados através do protocolo anteriormente mencionado. Posto isto, foi implementada outra aplicação de desenho simplificada (Figura 34) que permitiu assim a utilização da mesa como dispositivo de interacção. A aplicação está também dotada de suporte para interacção multi-toque sendo assim possível recorrer a esta para futuros estudos em que o foco seja multi-toque. Neste estudo não foi utilizada qualquer espécie de interacção multi-toque pois, dos três dispositivos usados no estudo, a mesa é o único que o permite, e o objectivo do estudo é uma comparação entre dispositivos de diferentes dimensões. No que respeita a funcionalidades esta aplicação possui todas as funcionalidades da aplicação anterior pelo que não será repetida a descrição das mesmas.

Um problema recorrente em interacção gestual é a possível falta de eficácia no reconhecimento dos gestos, dando assim origem a uma interacção menos fluida e que logicamente leva a uma perda de eficiência. No estudo anteriormente apresentado para evitar que um deficiente reconhecimento influenciasse os resultados optou-se por realizar a experiência como “Feiticeiro de Oz”. Para a realização deste novo estudo foi realizada uma “afinação” no reconhecedor gestual permitindo assim que a aplicação reconhecesse automaticamente todos os gestos efectuados, desde que os mesmos

---

<sup>13</sup> O guião e os questionários correspondentes a este estudo podem ser consultados no anexo B.

<sup>14</sup> Todo o processo de funcionamento de um dispositivo com as características da mesa interactiva multi-toque construída foi anteriormente explicado no capítulo 2 deste relatório.

constassem do dicionário de gestos. O reconhecimento gestual foi baseado no *one-dollar recognizer* [Wobbrock07], no entanto o mesmo teve que ser ligeiramente alterado para que o reconhecimento dos gestos propostos fosse conseguido com sucesso. O principal problema encontrado foi os constantes erros ocorridos na distinção entre os gestos de *scroll*, *undo/redo* e copiar/colar. Ao analisar o algoritmo percebeu-se que ao tentar desenhar uma recta os pontos são reordenados de forma a eliminar o erro do utilizador, fazendo assim com que o gesto seja percebido como uma recta mais perfeita em vez de conter oscilações de pontos. Existe um intervalo no qual os pontos são ou não reorganizados, e foi precisamente aqui que foi necessário intervir minimizando esse intervalo. O que sucedia frequentemente era que o utilizador executava, por exemplo, o gesto de *undo* e caso a curvatura do gesto não fosse acentuada o reconhecedor interpretava como sendo uma recta originando assim que a aplicação desse *feedback* correspondente ao gesto de *scroll* e não de *undo*. A pequena alteração efectuada permitiu assim que deixasse de existir uma confusão constante entre os gestos acima mencionados permitindo uma interacção sem demasiados erros de reconhecimento.

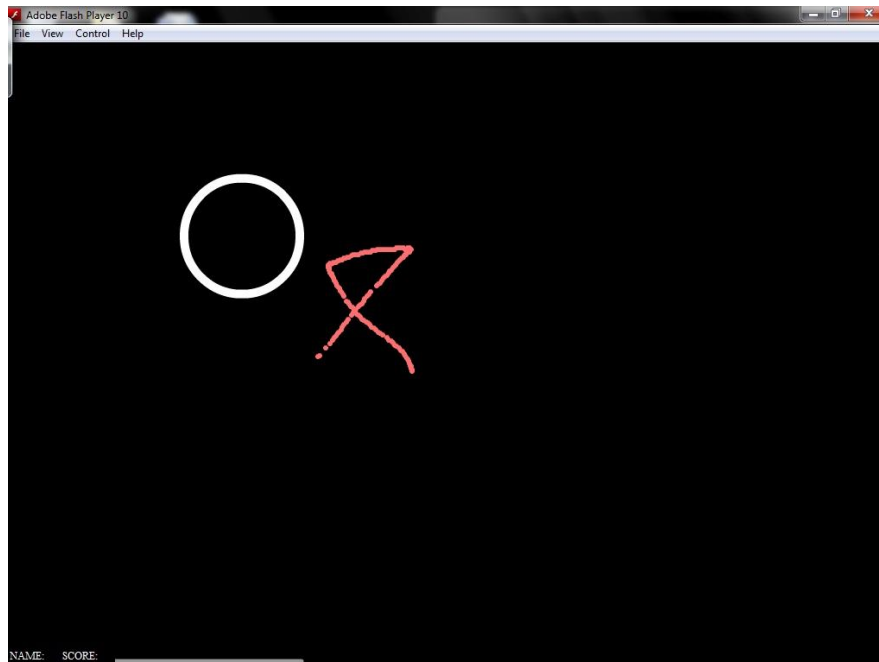


Figura 34: Aplicação de desenho com total reconhecimento gestual.

Tendo como objectivo uma comparação directa entre os dois conjuntos propostos em 3 dimensões distintas de superfícies de interacção, e ao contrário do sucedido no estudo anterior, para este estudo não se utilizou o conjunto de controlo (conjunto Sem Restrição). Os dois conjuntos foram comparados através de métricas qualitativas, que incluíram novamente uma avaliação subjectiva dos participantes aos dois conjuntos de gestos, mais concretamente nas características de velocidade, conforto, precisão e a

satisfação de utilização. Foi também pedido aos participantes que comparassem directamente a sua satisfação para cada conjunto em cada uma das superfícies.

### **5.4.2 Procedimento**

Cada participante esteve presente numa sessão experimental em que, para cada dispositivo utilizado, num total de três, teve que realizar a mesma tarefa para cada um dos dois conjuntos de gestos propostos.

No início da sessão foi explicado aos participantes o objectivo do estudo, sendo-lhes posteriormente fornecida uma folha com ilustrações dos gestos a efectuar para que os mesmos se adaptassem à aplicação e aos conjuntos de gestos. Após este período de adaptação foi pedido aos participantes para executarem um conjunto de tarefas iguais para ambos os conjuntos de gestos, sendo que, após concluírem as tarefas nos dois conjuntos de gestos, foi-lhes pedido para responderem a um questionário de satisfação. De seguida era pedido aos participantes para trocarem de dispositivo e o procedimento era repetido. Após completarem as tarefas nos três dispositivos tiveram que responder a um questionário comparativo da sua satisfação para cada conjunto de gestos em cada dispositivo. Tanto a ordem dos dispositivos como do conjunto a utilizar foi sempre alterada de participante para participante, tentando com isso que não houvesse qualquer influência nos resultados finais.

Os três dispositivos nos quais os participantes efectuaram as tarefas foram:

- Tablet PC com um ecrã de 10.6”.
- Quadro digital interactivo com 77” de superfície de interacção.
- Mesa interactiva com 36” de superfície de interacção.

Nos três dispositivos a resolução utilizada foi 1024 por 768 pixeis, estando sempre a aplicação maximizada ocupando todo o ecrã.

### **5.4.3 Análise de resultados**

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos durante a experiência e é também realizada uma análise dos mesmos.

Como já foi referido anteriormente, no fim de realizarem as tarefas em cada dispositivo foi pedido aos participantes para avaliarem, numa escala de 1 a 5, ambos os conjuntos de gestos no que respeita a velocidade, conforto, precisão e satisfação. A tabela 9 apresenta os resultados médios dos 12 participantes após concluírem as tarefas no Tablet PC.

	<b>Moldura</b>	<b>Toque</b>
<b>Velocidade</b>	3.75	3.83
<b>Conforto</b>	3.5	3.75
<b>Precisão</b>	3.67	3.92
<b>Satisfação</b>	3.58	3.92

**Tabela 9: Opinião dos participantes relativa aos dois conjuntos de gestos executados no Tablet PC.**

É possível observar que o conjunto Toque atingiu melhores pontuações nos quatro parâmetros avaliados. Fazendo uma análise comparativa com os resultados obtidos na primeira experiência realizada, a única diferença é que nesta nova experiência no parâmetro de velocidade o conjunto Toque também foi melhor pontuado que o conjunto Moldura, sendo que na primeira experiência o parâmetro velocidade era o único onde o conjunto Moldura tinha vantagem. Foi realizada uma análise estatística aos resultados apresentados mas não foram encontradas relações estatisticamente significativas.

Na tabela 10 é possível observar os resultados relativamente às tarefas executadas na mesa interactiva.

	<b>Moldura</b>	<b>Toque</b>
<b>Velocidade</b>	3.41	3.33
<b>Conforto</b>	3.33	3.42
<b>Precisão</b>	3.25	2.92
<b>Satisfação</b>	3.33	3.33

**Tabela 10: Opinião dos participantes relativa aos dois conjuntos de gestos executados na mesa interactiva.**

Os resultados obtidos encontram-se relativamente equilibrados entre os dois conjuntos de gestos, sendo que a maior diferença se encontra na precisão, onde o conjunto Moldura tem uma vantagem ligeiramente mais acentuada sobre o conjunto Toque. Ao comparar os resultados obtidos aquando da utilização da mesa comparativamente com os do Tablet PC constata-se que em ambos os conjuntos todos os parâmetros avaliados obtiveram piores resultados. Este facto poderá estar relacionado com algumas falhas de precisão que a mesa interactiva ainda possa apresentar e que terão que ser corrigidas de futuro. No entanto, está bem patente o equilíbrio existente entre os dois conjuntos de gestos numa superfície de dimensões intermédias. Aqui, mais uma vez, a análise estatística não permitiu obter resultados estatisticamente significantes.

Por último, a tabela 11 apresenta os resultados obtidos com a utilização dos dois conjuntos de gestos no SmartBoard.

	<b>Moldura</b>	<b>Toque</b>
<b>Velocidade</b>	3.17	4.33
<b>Conforto</b>	2.67	4
<b>Precisão</b>	3.47	4.17
<b>Satisfação</b>	3	4.25

**Tabela 11:** Opinião dos participantes relativa aos dois conjuntos de gestos executados no SmarBoard.

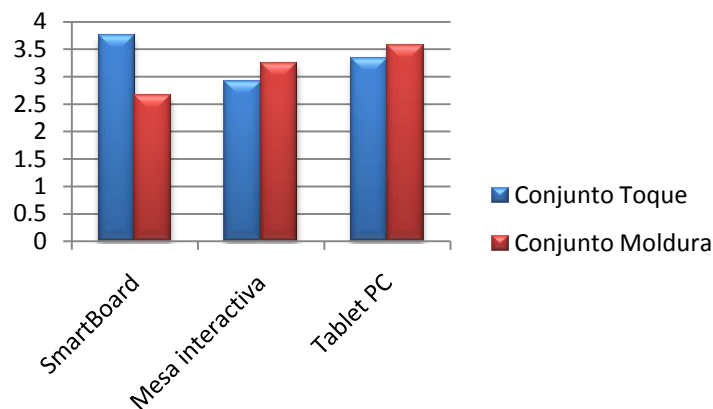
Tal como nos resultados do Tablet PC, o conjunto Toque obteve melhor pontuação em todos os parâmetros avaliados. Devido às dimensões da superfície de interacção do SmartBoard (77”) estes resultados seriam expectáveis, uma vez que a utilização do conjunto Moldura implica que os utilizadores tenham que mover as suas mãos até às extremidades do SmartBoard, o que, em algumas ocasiões, pode implicar um movimento longo e inconveniente. Ao comparar os resultados obtidos pelo conjunto Toque neste dispositivo com os outros dois dispositivos, é facilmente observável que apresenta médias bastante mais elevadas em todos os parâmetros, o que demonstra que neste dispositivo foi claramente valorizada, por parte dos utilizadores, a hipótese de efectuar comandos sem ter que mover as mãos até outro ponto da superfície.

Neste caso, e devido à diferença tão pronunciada, a análise estatística através de *t-tests* demonstrou que para todos os parâmetros avaliados o conjunto Toque é significativamente preferido relativamente ao conjunto Moldura. A tabela 12 apresenta os valores de *t* e *p* para todos os parâmetros.

	<b>Velocidade</b>	<b>Conforto</b>	<b>Precisão</b>	<b>Satisfação</b>
<b>t(11)</b>	4.84	5.2	2.46	5.75
<b>p</b>	< 0.01	< 0.01	0.03	< 0.01

**Tabela 12:** *t-tests* para todos os parâmetros avaliados, respeitante ao SmartBoard.

Depois dos participantes da experiência terem completado as tarefas em todos os dispositivos foi-lhes pedido para responder a um novo questionário com o objectivo de comparar a sua satisfação relativa a cada conjunto de gestos para cada dispositivo. Os resultados para ambos os conjuntos são apresentados na Figura 35.



**Figura 35: Comparação da satisfação para com os conjuntos de gestos nas três superfícies.**

Como pode ser observado, o conjunto Toque é claramente preferido na superfície de maior dimensão e, em oposição, o conjunto Moldura atinge o pior resultado nessa mesma superfície. Este resultado acaba por ser um resultado intuitivo, pois o desconforto e o esforço necessário para mover a mão até à extremidade de uma superfície vão aumentando à medida que o tamanho da superfície aumenta. Esta interpretação é também suportada pelo facto do conjunto Moldura ter o seu melhor resultado no Tablet PC, precisamente o dispositivo com uma superfície de interacção mais pequena. Os testes ANOVA realizados com estes dados não revelaram resultados estatisticamente significativos, contudo os resultados obtidos vieram acrescentar confiança ao trabalho realizado, assim como motivação para futuras experiências. Embora não sendo significativos, os resultados ficaram muito próximos de o ser uma vez que para o conjunto Toque foram  $F(2.33) = 2.88$  e  $p = 0.07$ , e para o conjunto Moldura  $F(2.33) = 3.06$  e  $p = 0.06$ .

#### 5.4.4 Discussão

Na sequência do estudo anteriormente realizado, esta experiência teve por objectivo comparar os dois conjuntos de gestos propostos tendo em conta diferentes dimensões de ecrã. Para tal, foi elaborada uma experiência onde os participantes tiveram que desempenhar a mesma tarefa recorrendo a cada um dos conjuntos de gestos e repetindo o processo em três dispositivos distintos. A diferença (relevante para o estudo) entre os três dispositivos foi a dimensão da superfície de interacção, pelo que foram utilizados; um Tablet PC com 10.6'', uma mesa interactiva com 36'' e uma SmartBoard com 77''.

Os resultados obtidos demonstraram que para dispositivos onde a superfície de interacção tem uma dimensão considerável o conjunto Toque é claramente preferido, e que para dispositivos de pequena dimensão o conjunto Moldura, embora não tão



significativamente, tem a preferência dos utilizadores. Os dados obtidos no SmartBoard sustentam claramente esta conclusão, uma vez que dada a grande dimensão da sua superfície de interacção o conjunto Toque obteve uma preferência significativa quando comparado com o conjunto Moldura.

## 5.5 Efeito da dimensão da superfície na realização de gestos

Como é sabido, os utilizadores gostam de despende o menor tempo possível para executar um comando, pelo que um factor determinante na escolha da forma correcta de eliminar a ambiguidade entre gestos de desenho e de comando é a velocidade com que é possível executar determinado comando. As experiências anteriores revelaram que quando a dimensão da superfície de interacção é muito grande o conjunto Toque é claramente favorito em detrimento do conjunto Moldura, e um dos factores que contribuirá para esse resultado é o tempo que é necessário para atingir a moldura antes de executar o gesto de comando. Seguidamente é feita uma reflexão sobre a influência que o tamanho do ecrã e o tamanho da moldura têm sobre o tempo que é necessário para alcançar a moldura com o objectivo de executar determinado comando.

Para realizar essa reflexão recorreu-se a lei de Fitt [Fitts54], mais concretamente ao modelo proposto por MacKenzie [MacKenzie92b] que visa movimentos sobre uma única dimensão:

$$MT = a + b \times ID$$
$$ID = \log_2\left(\frac{A}{W} + 1\right)$$

Na primeira fórmula apresentada,  $MT$  é o tempo médio necessário para executar o movimento,  $a$  e  $b$  são constantes determinadas empiricamente e  $ID$  é o índice de dificuldade. Relativamente à segunda fórmula,  $A$  é a amplitude do movimento, ou seja a distância entre o ponto inicial e o centro do objecto a atingir, e  $W$  é a largura do objecto a atingir.

Esta lei tem sido amplamente utilizada na investigação acerca da interacção pessoa-máquina, fundamentalmente com o objectivo de prever o tempo necessário para executar um movimento que permita atingir um objecto. Já foi aplicada sobre diferentes condições, com diversos membros (e.g. mãos, olhos) e também para diversos periféricos de entrada (e.g. rato, estilete). Neste trabalho, a aplicação desta lei tem como objectivo inferir acerca do tempo necessário para atingir a moldura quando se pretende executar um gesto de comando.

Seguindo as recomendações propostas por Soukoreff e MacKenzie [Soukoreff04], começou-se por executar uma série de medições e determinar o intervalo dos valores de

*ID*, que para o intuito deste estudo se situa entre 1.5 e 4.5 bits. Foram também recolhidos dados acerca dos pontos finais, o que permitiu fazer um ajuste de precisão recorrendo ao desvio-padrão da posição dos pontos finais e assim calcular o índice de dificuldade. Aplicando a regressão linear dada pela lei de Fitt, foi possível determinar os valores de intercepção e inclinação para o Tablet PC e o SmartBoard (Tabela 13). Optou-se somente por realizar a análise para o SmartBoard e para o Tablet PC por serem os dispositivos com a maior e a menor área de superfície de interacção, permitindo assim compreender os dois extremos. Para o Tablet PC, como objecto a atingir considerou-se uma moldura com 10mm de largura, sendo que para o SmartBoard considerou-se a moldura com 100mm de largura.

	Tablet PC	SmartBoard
<i>a</i>	-54.974	322.33
<i>b</i>	393.64	835.19

Tabela 13: Intercepção e inclinação para o Tablet PC e o SmartBoard.

Com estes dados foi possível obter uma representação gráfica de como o tempo necessário para atingir a moldura é influenciado pelo tamanho da superfície e pela largura da própria moldura (Figuras 36 e 37). Para conseguir que a representação gráfica possa ser ilustrativa de uma grande gama de dispositivos, para o Tablet PC foram consideradas larguras de moldura até os 50mm e uma distância à moldura até 350mm, enquanto que para o SmartBoard as larguras de moldura consideradas vão até aos 250mm e a distância para atingir a mesma até aos 500mm.

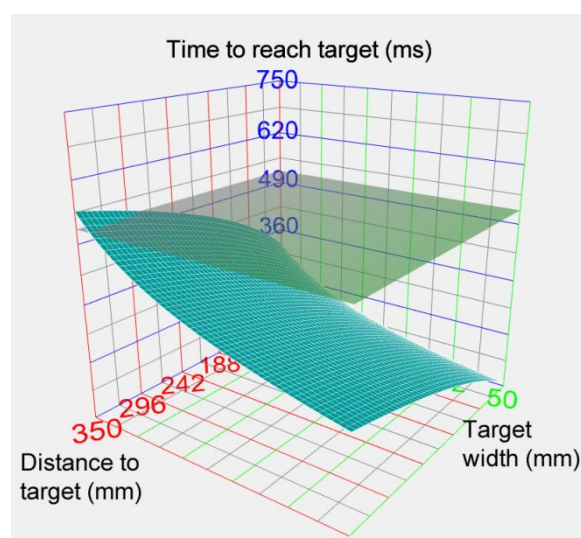
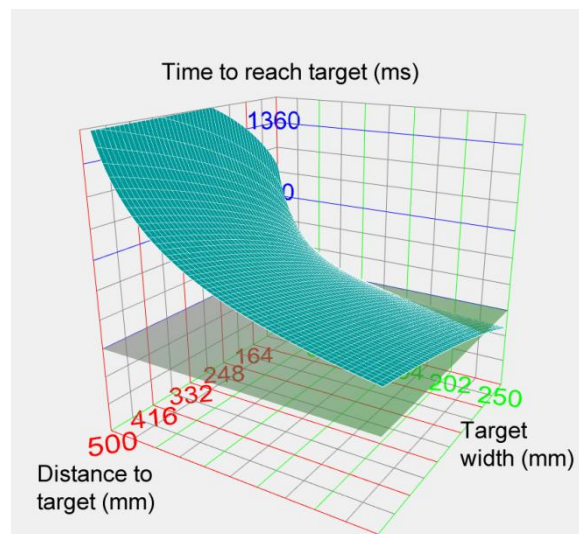


Figura 36: Influência do tamanho da moldura e da distância à moldura no tempo necessário para a atingir, no Tablet PC.



**Figura 37: Influência do tamanho da moldura e da distância à moldura no tempo necessário para a atingir, no SmartBoard.**

Como previsto pela lei de Fitt o tempo para executar o movimento aumenta consoante aumenta a amplitude do movimento, sendo que para ecrãs de grandes dimensões chega a ser necessário mais de um segundo para atingir a moldura quando esta assume uma menor largura.

Uma análise interessante é comparar o tempo previsto para atingir a moldura com o tempo necessário para executar um gesto de comando no modo Toque. As médias dos tempos necessários para executar os gestos de comando nas experiências anteriormente descritas foram de 725ms para o conjunto Moldura e 1246ms para o conjunto Toque. Sendo que os gestos propriamente ditos são iguais em ambos os conjuntos pode-se inferir que a diferença nos tempos reside no facto de para o conjunto Toque o tempo do gesto incluir o toque prévio necessário para indicar que é um comando, enquanto que para o conjunto Moldura o tempo necessário para atingir a moldura nas extremidades dos dispositivos não foi englobado. Assim sendo, pode-se assumir que a diferença entre estas médias, 521ms, corresponde ao tempo necessário para efectuar o toque que precede o gesto de comando.

Em ambos os gráficos pode-se observar um plano correspondente a esses 521ms que existem de diferença nas médias, pelo que, o que se encontra acima desse plano corresponde à amplitude de movimento e à largura da moldura para as quais o tempo necessário para atingir a moldura é superior ao tempo necessário para realizar o toque prévio no ecrã. Como se pode observar na figura 33, correspondente ao Tablet PC, é quase sempre mais rápido começar o gesto de comando pela moldura do que tocar previamente no ecrã antes de executar o gesto. Em comparação, observando a figura 34 que corresponde ao SmartBoard conclui-se que o inverso é verdadeiro, ou seja, só para

molduras com uma largura significativa (acima dos 200mm) e distâncias curtas até à mesma, é mais rápido utilizar a moldura do que dar o toque prévio no ecrã.

Esta análise suporta as conclusões obtidas pelo estudo prévio, provando que, para dispositivos com pequenas superfícies de interação, o modo Moldura é o modo mais eficaz, e que, em oposição, para dispositivos onde as superfícies de interação atingem elevadas dimensões, o modo Toque é preferível. Os resultados apresentados demonstram também que, idealmente, a largura da moldura devia ser grande para permitir um movimento mais rápido. No entanto, em termos práticos, a aplicabilidade desta conclusão acarreta um contra bastante significativo: ao aumentar a largura da moldura está-se a reduzir a área útil de desenho, pelo que a opção acerca das dimensões da moldura tem que ser tomada tendo sempre em conta este facto.

## Capítulo 6

### Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas após todo o trabalho ter sido realizado, assim como são analisadas as perspectivas de trabalho futuro.

#### 6.1 Conclusões

Ao longo deste trabalho exploraram-se formas de melhorar o nível de usabilidade da actual interacção gestual. Mais concretamente, foram propostos dois conjuntos de gestos de comando passíveis de serem utilizados em aplicações de desenho desenvolvidas para dispositivos onde não existem botões nem teclas físicas. O objectivo dos conjuntos propostos é eliminar a ambiguidade existente entre um gesto que faça parte do desenho ou que seja um comando dado pelo utilizador, pelo que para tentar atingir este propósito os gestos de comando são diferenciados dos gestos de desenho através do seu início. Num dos conjuntos desenvolvidos, o conjunto Toque, o utilizador tem que dar um toque no ecrã (*tap*) antes de executar o gesto de comando, enquanto que no outro conjunto, o conjunto Moldura, o gesto de comando tem que ser iniciado numa pequena moldura invisível, existente nas extremidades da superfície de interacção.

Antes de avançar para os estudos directamente relacionados com os conjuntos propostos, foi tomada a opção de construir uma mesa multi-toque interactiva. À medida que a pesquisa e investigação sobre interacção gestual e superfícies de toque foi avançando, percebeu-se que existia uma lacuna na instituição de acolhimento deste projecto: a não existência de um dispositivo com dimensões intermédias e que permitisse interacção multi-toque. Sendo um dos objectivos do projecto analisar em que medida as dimensões da superfície de interacção influenciam a adequabilidade dos conjuntos propostos, a existência de um dispositivo com dimensões intermédias relativamente aos que já estavam disponíveis na instituição de acolhimento seria uma mais-valia para os estudos a realizar no âmbito deste trabalho, além disso seria também muito enriquecedor para a instituição de acolhimento ficar na posse de um dispositivo com estas características pois alarga o espectro de investigações possíveis de serem

realizadas. A construção de um dispositivo deste género requer um conhecimento e competências completamente diferentes das adquiridas durante o meu percurso académico, pelo que a nível pessoal foi um desafio bastante interessante e motivador.

Para evitar desperdícios de fundos e a frustração de me propor a um objectivo que poderia não ser cumprido, todo o trabalho de concepção da mesa foi bastante sustentado e foi evoluindo progressivamente. Foram sendo desenvolvidos protótipos à medida que as necessidades vinham surgindo e só após o sucesso num protótipo se avançou para a fase seguinte. Apesar de toda esta ponderação, um projecto deste género acarreta problemas completamente imprevistos e à medida que vai avançando vão sempre surgindo novos desafios, que por muito pequenos que sejam demoram sempre o seu tempo a resolver. Mesmo tendo em consideração que a mesa actual não está ainda na sua versão final, pelas razões descritas anteriormente no capítulo dedicado a este tema, considero que a construção deste dispositivo foi um sucesso, tanto por todo o conhecimento que me permitiu adquirir nas mais diversas áreas, como também pelo produto conseguido. Tenho total confiança que com as alterações a realizar, a mesa irá ficar um dispositivo completamente robusto e funcional e que terá um grande valor para a instituição de acolhimento.

Para avaliar os conjuntos de gestos propostos e a sua adequabilidade relativamente a diferentes dimensões de dispositivos, foram conduzidos dois estudos. No primeiro estudo o objectivo foi comparar os dois conjuntos de gestos sem ter em consideração as dimensões de ecrã, pelo que a experiência foi realizada recorrendo a um Tablet PC com 10.6’’ de diagonal na sua superfície de interacção. Neste estudo, além dos dois conjuntos de gestos propostos, foi ainda utilizado um conjunto de controlo onde não existia a necessidade do utilizador sinalizar que o seu gesto seria um comando, ou seja, a aplicação percebia com 100% de eficácia quando a intenção do utilizador era desenhar ou executar um comando. Para ser possível essa eficácia na percepção da intenção do utilizador e também para eliminar a influência que erros no reconhecimento gestual poderiam ter sobre os resultados obtidos, optou-se por realizar este estudo recorrendo à técnica de “Feiticeiro de Oz”. A primeira conclusão que foi possível, e que era expectável, obter através da análise dos resultados foi que todos os participantes preferem uma situação ideal onde não exista ambiguidade entre os gestos. Não sendo esta solução possível, a outra conclusão relevante obtida quando comparados os dois conjuntos propostos foi que ambos possuem vantagens e desvantagens, nomeadamente o conjunto Moldura revelou ser o mais rápido de executar e o conjunto Toque revelou ser vantajoso no que respeita a conforto, precisão e satisfação.

No segundo estudo o objectivo primordial foi averiguar em que medida os conjuntos de gestos eram adequados para diferentes dimensões de superfície de

interacção, sendo que para tal foi utilizado um Tablet PC de 10.6'', a mesa interactiva construída com uma superfície de interacção de 36'' e uma SmartBoard com 77''. Após a análise feita aos dados obtidos concluiu-se objectivamente que para superfícies de grande dimensão o conjunto Toque tem a preferência clara por parte dos utilizadores, e que em dispositivos de menor dimensão o conjunto Moldura apresentou melhores resultados.

Para comprovar as conclusões obtidas foi ainda realizada uma análise teórica sobre a influência que o tamanho do ecrã e o tamanho da moldura têm sobre o tempo que é necessário para alcançar a moldura com o objectivo de executar determinado comando. Esta análise provou que em dispositivos com dimensões semelhantes ao Tablet PC é mais rápido iniciar o gesto de comando pela moldura do que executar um toque prévio no ecrã antes de realizar o gesto. Em contraposição, em dispositivos com dimensões semelhantes ao SmartBoard, é substancialmente mais rápido preceder o comando com um toque na superfície do que iniciar o gesto de comando a partir da moldura. Esta conclusão prende-se com o tempo que é necessário para chegar com a mão até à extremidade da superfície de interacção, sendo este o local onde se encontra a moldura.

Em suma, os conjuntos de gestos propostos revelaram uma boa aceitação por parte dos utilizadores. Mas ficou claramente provado que o conjunto Toque é mais adequado para superfícies grandes e o conjunto Moldura para superfícies mais pequenas.

Como balanço final, este projecto revelou-se bastante interessante, tendo em consideração que tive que realizar algumas escolhas durante o mesmo que acarretavam alguns riscos. Foi com enorme prazer que fui superando os desafios que me foram aparecendo ao longo do projecto e permitiu-me conhecer uma vertente da informática até então, quase, desconhecida e pela qual ganhei imenso gosto.

## **6.2 Trabalho Futuro**

Este tipo de projecto nunca se encontra terminado e existem sempre perspectivas de trabalho futuro a desenvolver.

No que respeita à mesa interactiva construída, o trabalho futuro a desenvolver foi detalhado com pormenor no subcapítulo 3.3, pelo que não será exaustivamente detalhado neste subcapítulo. Tendo como objectivo ficar com uma configuração permanente sem necessitar de constantes ajustes e calibrações será necessário substituir algum do actual material usado na construção e acrescentar algum material novo. Sintetizando, o trabalho futuro a realizar é:

- I. Substituir o actual suporte do projector.
- II. Acrescentar quatro projectores de luz infravermelha.

### III. Substituir o papel vegetal por uma tela de retroprojectão.

Seria também interessante colocar dentro da estrutura da própria mesa um computador dedicado ao funcionamento da mesma, eliminando assim a necessidade constante de ligar um computador portátil ao projector e a câmara sempre que se pretende colocar a mesa em funcionamento. Isto aumentaria a sua versatilidade e facilidade de utilização por parte de qualquer pessoa que a queira utilizar, pois o *software* necessário para o seu funcionamento estaria sempre disponível.

Relativamente aos estudos realizados e às conclusões obtidas penso que no futuro será interessante analisar os conjuntos de gestos propostos em dispositivos de menores dimensões (e.g. telemóveis), e, quem sabe, encontrar um conjunto de gestos em que a sua adequabilidade seja transversal a todas as dimensões de dispositivos, facilitando assim a vida tanto a utilizadores como a programadores. Também interessante será tentar perceber de que forma a utilização de gestos multi-toque pode ajudar a eliminar a ambiguidade anteriormente explicada.

A nível aplicacional podem ser introduzidas mais funções na aplicação desenvolvida, quer sejam de desenho (e.g. outras formas geométricas, desenho livre), quer sejam mais comandos gestuais que venham complementar os actuais. Este aumento de funcionalidades além de, obviamente, melhorarem a aplicação permitem aumentar as ambiguidades existentes entre gestos de comando e gestos de desenho.



## Bibliografia

- [Acer] Projector S1200 Ultra-short throw, acedido em Setembro de 2010  
<http://www.acer.co.uk/acer/productv.do?LanguageISOCtxParam=en&kcond61e.c2att101=43735&sp=page16e&ctx2.c2att1=17&link=ln438e&CountryISOCtxParam=UK&ctx1g.c2att92=283&ctx1.att21k=1&CRC=3341145265>
- [Alpern03] Alpern, M. and Minardo, K. 2003. Developing a car gesture interface for use as a secondary task. In *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (Ft. Lauderdale, Florida, USA, April 05 - 10, 2003). CHI '03. ACM, New York, NY, 932-933.
- [Appert09] Appert, C. and Zhai, S. 2009. Using strokes as command shortcuts: cognitive benefits and toolkit support. In *Proceedings of the 27th international Conference on Human Factors in Computing Systems* (Boston, MA, USA, April 04 - 09, 2009). CHI '09. ACM, New York, NY, 2289-2298.
- [Balakrishnan04] Balakrishnan, R. 2004. "Beating" Fitts' law: virtual enhancements for pointing facilitation. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 61, 6 (Dec. 2004), 857-874.
- [Barrientos02] Barrientos, F. A. and Canny, J. F. 2002. Cursive:: controlling expressive avatar gesture using pen gesture. In *Proceedings of the 4th international Conference on Collaborative Virtual Environments* (Bonn, Germany, September 30 - October 02, 2002). CVE '02. ACM, New York, NY, 113-119.
- [Bae08] Bae, S., Balakrishnan, R., and Singh, K. 2008. ILoveSketch: as-natural-as-possible sketching system for creating 3d curve models. In *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Monterey, CA, USA, October 19 - 22, 2008).
- [Bau08] Bau, O. and Mackay, W. E. 2008. OctoPocus: a dynamic guide for learning gesture-based command sets. In *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Monterey, CA, USA, October 19 - 22, 2008). UIST '08. ACM, New York, NY, 37-46.
- [Benko06] Benko, H., Wilson, A. D., and Baudisch, P. 2006. Precise selection techniques for multi-touch screens. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on*

*Human Factors in Computing Systems* (Montréal, Québec, Canada, April 22 - 27, 2006).

[Bolt80] Bolt, R. A. 1980. "Put-that-there": Voice and gesture at the graphics interface. In *Proceedings of the 7th Annual Conference on Computer Graphics and interactive Techniques* (Seattle, Washington, United States, July 14 - 18, 1980). SIGGRAPH '80. ACM, New York, NY, 262-270.

[Bolt92] Bolt, R. A. and Herranz, E. 1992. Two-handed gesture in multi-modal natural dialog. In *Proceedings of the 5th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Monteray, California, United States, November 15 - 18, 1992). UIST '92. ACM, New York, NY, 7-14.

[Bragdon09] Bragdon, A., Zeleznik, R., Williamson, B., Miller, T., and LaViola, J. J. 2009. GestureBar: improving the approachability of gesture-based interfaces. In *Proceedings of the 27th international Conference on Human Factors in Computing Systems* (Boston, MA, USA, April 04 - 09, 2009). CHI '09. ACM, New York, NY, 2269-2278.

[Butler08] Butler, A., Izadi, S., and Hodges, S. 2008. SideSight: multi-"touch" interaction around small devices. In *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Monterey, CA, USA, October 19 - 22, 2008). UIST '08. ACM, New York, NY, 201-204.

[Buxton07] Buxton, B. 2007, "Sketching User Experiences: Getting the Design Right and the Right Design", Morgan Kaufmann, ISBN: 0123740371.

[Callahan88] Callahan, J., Hopkins, D., Weiser, M., and Shneiderman, B. 1988. An empirical comparison of pie vs. linear menus. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Washington, D.C., United States, May 15 - 19, 1988). J. J. O'Hare, Ed. CHI '88. ACM, New York, NY, 95-100.

[Cao04] Cao, X. and Balakrishnan, R. 2004. VisionWand: interaction techniques for large displays using a passive wand tracked in 3D. In *ACM SIGGRAPH 2004 Papers* (Los Angeles, California, August 08 - 12, 2004). J. Marks, Ed. SIGGRAPH '04. ACM, New York, NY, 729-729.

[CCV] Community Core Vision Framework, acedido em Setembro de 2010  
<http://ccv.nuigroup.com/>

[Cohen97] Cohen, P. R., Johnston, M., McGee, D., Oviatt, S., Pittman, J., Smith, I., Chen, L., and Clow, J. 1997. QuickSet: multimodal interaction for simulation set-up and control. In *Proceedings of the Fifth Conference on Applied Natural Language*

*Processing* (Washington, DC, March 31 - April 03, 1997). Applied Natural Language Conferences. Association for Computational Linguistics, Morristown, NJ, 20-24.

[Davis01] Davis, J. W. and Vaks, S. 2001. A perceptual user interface for recognizing head gesture acknowledgements. In *Proceedings of the 2001 Workshop on Perceptive User interfaces* (Orlando, Florida, November 15 - 16, 2001). PUI '01, vol. 15. ACM, New York, NY, 1-7.

[Dietz01] Dietz, P. and Leigh, D. 2001. DiamondTouch: a multi-user touch technology. In *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Orlando, Florida, November 11 - 14, 2001).

[Do-Lenh09] Do-Lenh, S., Kaplan, F., Sharma, A., and Dillenbourg, P. 2009. Multi-finger interactions with papers on augmented tabletops. In *Proceedings of the 3rd international Conference on Tangible and Embedded interaction* (Cambridge, United Kingdom, February 16 - 18, 2009). TEI '09. ACM, New York, NY, 267-274.

[Duarte09] Duarte, C. and Neto, A. 2009. Gesture interaction in cooperation scenarios. In *Proceedings of the 15th international Conference on Groupware: Design, Implementation, and Use* (Peso da Régua, Douro, Portugal, September 13 - 17, 2009). L. Carriço, N. Baloian, and B. Fonseca, Eds. Lecture Notes In Computer Science. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 190-205.

[Eisenstein07] Eisenstein, J. and Davis, R. 2007. Visual and linguistic information in gesture classification. In *ACM SIGGRAPH 2007 Courses* (San Diego, California, August 05 - 09, 2007). SIGGRAPH '07. ACM, New York, NY, 15.

[Fitts54] Fitts, P. M. 1954. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. 381-391.

[Fitzmaurice03] Fitzmaurice, G., Khan, A., Pieké, R., Buxton, B., and Kurtenbach, G. 2003. Tracking menus. In *Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Vancouver, Canada, November 02 - 05, 2003). UIST '03. ACM, New York, NY, 71-79.

[Grossman04] Grossman, T., Wigdor, D., and Balakrishnan, R. 2004. Multi-finger gestural interaction with 3d volumetric displays. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Santa Fe, NM, USA, October 24 - 27, 2004). UIST '04. ACM, New York, NY, 61-70.

[Guimbretiére00] Guimbretiére, F. and Winograd, T. 2000. FlowMenu: combining command, text, and data entry. In *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (San Diego, California, United States, November 06 - 08, 2000). UIST '00. ACM, New York, NY, 213-216.

[Han05] Han, J. Y. 2005. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. In *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Seattle, WA, USA, October 23 - 26, 2005).

[Hinckley03] Hinckley, K. 2003. Synchronous gestures for multiple persons and computers. In *Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Vancouver, Canada, November 02 - 05, 2003). UIST '03. ACM, New York, NY, 149-158.

[Hinckley05] Hinckley, K., Baudisch, P., Ramos, G., and Guimbretiere, F. 2005. Design and analysis of delimiters for selection-action pen gesture phrases in scriboli. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Portland, Oregon, USA, April 02 - 07, 2005). CHI '05. ACM, New York, NY, 451-460.

[HP150] HewlettPackard150, acedido em Setembro de 2010

<http://hp.com/hpinfo/abouthp/histnfacts/museum/personalsystems/0031/index.html>

[iPad] iPad, acedido em Setembro de 2010

<http://www.apple.com/ipad/>

[iPhone] iPhone, acedido em Setembro de 2010

<http://www.apple.com/iphone/>

[Jorda07] Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M., and Kaltenbrunner, M. 2007. The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. In *Proceedings of the 1st international Conference on Tangible and Embedded interaction* (Baton Rouge, Louisiana, February 15 - 17, 2007). TEI '07. ACM, New York, NY, 139-146.

[Kaltenbrunner05] Kaltenbrunner, M. & Bovermann, T. & Bencina, R. & Costanza, E. "TUIO - A Protocol for Table Based Tangible User Interfaces", Proceedings of the 6th International Workshop on Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation (GW 2005), Vannes (France).

[Kaltenbrunner07] Kaltenbrunner, M. and Bencina, R. 2007. reacTIVision: a computer-vision framework for table-based tangible interaction. In *Proceedings of the 1st international Conference on Tangible and Embedded interaction* (Baton Rouge, Louisiana, February 15 - 17, 2007). TEI '07. ACM, New York, NY, 69-74.

[Kaltenbrunner09] Kaltenbrunner, M. 2009. reacTIVision and TUIO: a tangible tabletop toolkit. In *Proceedings of the ACM international Conference on interactive Tabletops and Surfaces* (Banff, Alberta, Canada, November 23 - 25, 2009). ITS '09. ACM, New York, NY, 9-16.

- [Karam05] Karam, M. and schraefel, m. c. 2005. A study on the use of semaphoric gestures to support secondary task interactions. In *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (Portland, OR, USA, April 02 - 07, 2005). CHI '05. ACM, New York, NY, 1961-1964.
- [Kettebekov04] Kettebekov, S. 2004. Exploiting prosodic structuring of coverbal gesticulation. In *Proceedings of the 6th international Conference on Multimodal interfaces* (State College, PA, USA, October 13 - 15, 2004). ICMI '04. ACM, New York, NY, 105-112.
- [Krueger85] Krueger, Myron, W., Gionfriddo, Thomas., & Hinrichsen, Katrin (1985). VIDEOPLACE - An Artificial Reality, *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI'85), 35 - 40.
- [Kruger04] Kruger, R., Carpendale, S., Scott, S. D., and Greenberg, S. 2004. Roles of Orientation in Tabletop Collaboration: Comprehension, Coordination and Communication. *Comput. Supported Coop. Work* 13, 5-6 (Dec. 2004), 501-537.
- [Kurtenbach91] Kurtenbach, G. and Buxton, W. 1991. Issues in combining marking and direct manipulation techniques. In *Proceedings of the 4th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Hilton Head, South Carolina, United States, November 11 - 13, 1991). UIST '91. ACM, New York, NY, 137-144.
- [Kurtenbach94] Kurtenbach, G. and Buxton, W. 1994. User learning and performance with marking menus. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems: Celebrating interdependence* (Boston, Massachusetts, United States, April 24 - 28, 1994). B. Adelson, S. Dumais, and J. Olson, Eds. CHI '94. ACM, New York, NY, 258-264.
- [Landay96] J. A. Landay. Silk: sketching interfaces like crazy. CHI '96, 398-399, 1996.
- [Lane05] D. Lane, H. Napier, S. Peres, and A. Sandor. Hidden costs of graphical user interfaces: Failure to make the transition from menus and icon toolbars to keyboard shortcuts. *International Journal of Human-Computer Studies*, 18(1):133-144, 2005.
- [LaViola04] LaViola, J. J. and Zeleznik, R. C. 2004. MathPad<sup>2</sup>: a system for the creation and exploration of mathematical sketches. In *ACM SIGGRAPH 2004 Papers* (Los Angeles, California, August 08 - 12, 2004). J. Marks, Ed. SIGGRAPH '04. ACM, New York, NY, 432-440.
- [Lenman02] Lenman, S., Bretzner, L., and Thuresson, B. 2002. Using marking menus to develop command sets for computer vision based hand gesture interfaces. In *Proceedings of the Second Nordic Conference on Human-Computer interaction*

(Aarhus, Denmark, October 19 - 23, 2002). NordiCHI '02, vol. 31. ACM, New York, NY, 239-242.

[Li05] Li, Y., Hinckley, K., Guan, Z., and Landay, J. A. 2005. Experimental analysis of mode switching techniques in pen-based user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Portland, Oregon, USA, April 02 - 07, 2005). CHI '05. ACM, New York, NY, 461-470.

[MacKenzie92a] MacKenzie, I. S. 1992. Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction. *Hum.-Comput. Interact.* 7, 1 (Mar. 1992), 91-139.

[MacKenzie92b] MacKenzie, I. S. and Buxton, W. 1992. Extending Fitts' law to two-dimensional tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Monterey, California, United States, May 03 - 07, 1992). P. Bauersfeld, J. Bennett, and G. Lynch, Eds. CHI '92. ACM, New York, NY, 219-226.

[Mankoff06] Mankoff, J., Hudson, S. E., and Abowd, G. D. 2006. Interaction techniques for ambiguity resolution in recognition-based interfaces. In *ACM SIGGRAPH 2006 Courses* (Boston, Massachusetts, July 30 - August 03, 2006). SIGGRAPH '06. ACM, New York, NY, 6.

[Matsushita97] Matsushita, N. and Rekimoto, J. 1997. HoloWall: designing a finger, hand, body, and object sensitive wall. In *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Banff, Alberta, Canada, October 14 - 17, 1997). UIST '97. ACM, New York, NY, 209-210.

[Mehta82] Mehta, Nimish (1982), *A Flexible Machine Interface*, M.A.Sc. Thesis, Department of Electrical Engineering, University of Toronto supervised by Professor K.C. Smith.

[Moran97] Moran, T. P., Chiu, P., and van Melle, W. 1997. Pen-based interaction techniques for organizing material on an electronic whiteboard. In *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Banff, Alberta, Canada, October 14 - 17, 1997). UIST '97. ACM, New York, NY, 45-54.

[Moyle03] Moyle, M. and Cockburn, A. 2003. The design and evaluation of a flick gesture for 'back' and 'forward' in web browsers. In *Proceedings of the Fourth Australasian User interface Conference on User interfaces 2003 - Volume 18* (Adelaide, Australia). R. Biddle and B. Thomas, Eds. ACM International Conference Proceeding Series, vol. 36. Australian Computer Society, Darlinghurst, Australia, 39-46.

[Mynatt99] Mynatt, E. D., Igarashi, T., Edwards, W. K., and LaMarca, A. 1999. Flatland: new dimensions in office whiteboards. In *Proceedings of the SIGCHI*

*Conference on Human Factors in Computing Systems: the CHI Is the Limit* (Pittsburgh, Pennsylvania, United States, May 15 - 20, 1999). CHI '99. ACM, New York, NY, 346-353.

[Nakatani83] Nakatani, L. H. and Rohrlich, J. A. 1983. Soft machines: A philosophy of user-computer interface design. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Boston, Massachusetts, United States, December 12 - 15, 1983). A. Janda, Ed. CHI '83. ACM, New York, NY, 19-23.

[Neto09] A. Neto and C. Duarte. Comparing gestures and traditional interaction modalities on large displays. INTERACT 2009, 58-61, 2009.

[Ou03] Ou, J., Fussell, S. R., Chen, X., Setlock, L. D., and Yang, J. 2003. Gestural communication over video stream: supporting multimodal interaction for remote collaborative physical tasks. In *Proceedings of the 5th international Conference on Multimodal interfaces* (Vancouver, British Columbia, Canada, November 05 - 07, 2003). ICMI '03. ACM, New York, NY, 242-249.

[Pastel04] Pastel, R. and Skalsky, N. 2004. Demonstrating information in simple gestures. In *Proceedings of the 9th international Conference on intelligent User interfaces* (Funchal, Madeira, Portugal, January 13 - 16, 2004). IUI '04. ACM, New York, NY, 360-361.

[Patel04] Patel, S. N., Pierce, J. S., and Abowd, G. D. 2004. A gesture-based authentication scheme for untrusted public terminals. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Santa Fe, NM, USA, October 24 - 27, 2004). UIST '04. ACM, New York, NY, 157-160.

[Pederson93] Pedersen, E. R., McCall, K., Moran, T. P., and Halasz, F. G. 1993. Tivoli: an electronic whiteboard for informal workgroup meetings. In *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems* (Amsterdam, The Netherlands, April 24 - 29, 1993). CHI '93. ACM, New York, NY, 391-398.

[Pew] Pew Internet & American Life Project. Internet revolution – The future of internet, aceso em Setembro de 2010

<http://pewinternet.org/Reports/2008/The-Future-of-the-Internet-III.aspx>

[Quek02] Quek, F., McNeill, D., Bryll, R., Duncan, S., Ma, X., Kirbas, C., McCullough, K. E., and Ansari, R. 2002. Multimodal human discourse: gesture and speech. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 9, 3 (Sep. 2002), 171-193.

[Rekimoto02] Rekimoto, J. 2002. 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* (Minneapolis, Minnesota, USA, April 20 - 25, 2002). CHI '02. ACM, New York, NY, 113-120.

[Rekimoto03] Rekimoto, J., Ishizawa, T., Schwesig, C., and Oba, H. 2003. PreSense: interaction techniques for finger sensing input devices. In *Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Vancouver, Canada, November 02 - 05, 2003). UIST '03. ACM, New York, NY, 203-212.

[RoscoGrey] Tela de projecção, acedido em Setembro de 2010

<http://www.rosco.com/uk/screens/roscoscreen.cfm>

[Roth09] Roth, V. and Turner, T. 2009. Bezel swipe: conflict-free scrolling and multiple selection on mobile touch screen devices. In *Proceedings of the 27th international Conference on Human Factors in Computing Systems* (Boston, MA, USA, April 04 - 09, 2009). CHI '09. ACM, New York, NY, 1523-1526.

[Rubine92] Rubine, D. 1992. Combining gestures and direct manipulation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Monterey, California, United States, May 03 - 07, 1992). P. Bauersfeld, J. Bennett, and G. Lynch, Eds. CHI '92. ACM, New York, NY, 659-660.

[Saffer08] Saffer, D. 2008 *Designing Gestural Interfaces: Touchscreens and Interactive Devices*. O'Reilly Media, Inc.

[Saund03] Saund, E. and Lank, E. 2003. Stylus input and editing without prior selection of mode. In *Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Vancouver, Canada, November 02 - 05, 2003). UIST '03. ACM, New York, NY, 213-216.

[Schmandt02] Schmandt, C., Kim, J., Lee, K., Vallejo, G., and Ackerman, M. 2002. Mediated voice communication via mobile IP. In *Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Paris, France, October 27 - 30, 2002). UIST '02. ACM, New York, NY, 141-150.

[Scott03] Scott, S. D., Grant, K. D., and Mandryk, R. L. 2003. System guidelines for co-located, collaborative work on a tabletop display. In *Proceedings of the Eighth Conference on European Conference on Computer Supported Cooperative Work* (Helsinki, Finland, September 14 - 18, 2003). K. Kuutti, E. H. Karsten, G. Fitzpatrick, P. Dourish, and K. Schmidt, Eds. ECSCW. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 159-178.



- [Shen06] Shen, C., Ryall, K., Forlines, C., Esenther, A., Vernier, F. D., Everitt, K., Wu, M., Wigdor, D., Morris, M. R., Hancock, M., and Tse, E. 2006. Informing the Design of Direct-Touch Tabletops. *IEEE Comput. Graph. Appl.* 26, 5 (Sep. 2006), 36-46.
- [Shen10] Shen, Y. and Do, E. 2010. Making digital leaf collages with blow painting!. In *Proceedings of the Fourth international Conference on Tangible, Embedded, and Embodied interaction* (Cambridge, Massachusetts, USA, January 24 - 27, 2010). TEI '10. ACM, New York, NY, 265-268.
- [Sherwood72] Sherwood, B. 1972. Status of PLATO IV. *SIGCUE Outlook* 6, 3 (Jun. 1972), 3-6.
- [Simon] Simon, acessido em Setembro de 2010  
<http://cdecas.free.fr/computers/pocket/simon.php>
- [Smith04] Smith, G. M. and schraefel, m. c. 2004. The radial scroll tool: scrolling support for stylus- or touch-based document navigation. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Santa Fe, NM, USA, October 24 - 27, 2004). UIST '04. ACM, New York, NY, 53-56.
- [Snell] Lei de Snell, acessido em Setembro de 2010  
<http://scienceworld.wolfram.com/physics/SnellsLaw.html>
- [SonyEye] Sony Playstation 3 Eye, acessido em Setembro de 2010  
<http://us.playstation.com/ps3/accessories/scph-98047.html>
- [Soukoreff04] Soukoreff, R. W. and MacKenzie, I. S. 2004. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 61, 6 (Dec. 2004), 751-789.
- [Surface] Microsoft Surface, acessido em Setembro de 2010  
<http://www.microsoft.com/surface/>
- [Tsang04] Tsang, S., Balakrishnan, R., Singh, K., and Ranjan, A. 2004. A suggestive interface for image guided 3D sketching. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Vienna, Austria, April 24 - 29, 2004). CHI '04. ACM, New York, NY, 591-598.
- [TUIOmouse] TUIOmouse, acessido em Setembro de 2010  
<http://www.progenlabs.com/blog/2008/11/03/tuimouse-released/>
- [vanDam97] van Dam, A. 1997. Post-WIMP user interfaces. *Commun. ACM* 40, 2 (Feb. 1997), 63-67.
- [Vogel07] Vogel, D. and Baudisch, P. 2007. Shift: a technique for operating pen-based interfaces using touch. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in*

*Computing Systems* (San Jose, California, USA, April 28 - May 03, 2007). CHI '07. ACM, New York, NY, 657-666.

[vonHardenberg01] von Hardenberg, C. and Bérard, F. 2001. Bare-hand human-computer interaction. In *Proceedings of the 2001 Workshop on Perceptive User interfaces* (Orlando, Florida, November 15 - 16, 2001). PUI '01, vol. 15. ACM, New York, NY, 1-8.

[Wellner93] Wellner, P. 1993. Interacting with paper on the DigitalDesk. *Commun. ACM* 36, 7 (Jul. 1993), 87-96.

[Wilson03] Wilson, A. and Shafer, S. 2003. XWand: UI for intelligent spaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Ft. Lauderdale, Florida, USA, April 05 - 10, 2003). CHI '03. ACM, New York, NY, 545-552.

[Wilson04] Wilson, A. D. 2004. TouchLight: an imaging touch screen and display for gesture-based interaction. In *Proceedings of the 6th international Conference on Multimodal interfaces* (State College, PA, USA, October 13 - 15, 2004).

[Wilson05] Wilson, A. D. 2005. PlayAnywhere: a compact interactive tabletop projection-vision system. In *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Seattle, WA, USA, October 23 - 26, 2005).

[Windows7] Windows 7, aceso em Setembro de 2010

<http://windows.microsoft.com/pt-PT/windows7/products/home?os=win7>

[Wobbrock07] Wobbrock, J. O., Wilson, A. D., and Li, Y. 2007. Gestures without libraries, toolkits or training: a \$1 recognizer for user interface prototypes. In *Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Newport, Rhode Island, USA, October 07 - 10, 2007). UIST '07. ACM, New York, NY, 159-168.

[Wright03] Wright, M., Freed, A., and Momeni, A. 2003. OpenSound Control: state of the art 2003. In *Proceedings of the 2003 Conference on New interfaces For Musical Expression* (Montreal, Quebec, Canada, May 22 - 24, 2003). New Interfaces For Musical Expression. National University of Singapore, Singapore, 153-160.

[Wu03] Wu, M. and Balakrishnan, R. 2003. 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* (Vancouver, Canada, November 02 - 05, 2003). UIST '03. ACM, New York, NY, 193-202.

[Zelevnik06] Zelevnik, R. and Miller, T. 2006. Fluid inking: augmenting the medium of free-form inking with gestures. In *Proceedings of Graphics interface 2006* (Quebec,

Canada, June 07 - 09, 2006). ACM International Conference Proceeding Series, vol. 137. Canadian Information Processing Society, Toronto, Ont., Canada, 155-162.

[Zhao04] Zhao, S. and Balakrishnan, R. 2004. Simple vs. compound mark hierarchical marking menus. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Santa Fe, NM, USA, October 24 - 27, 2004). UIST '04. ACM, New York, NY, 33-42.



## Anexo A – Primeiro Estudo

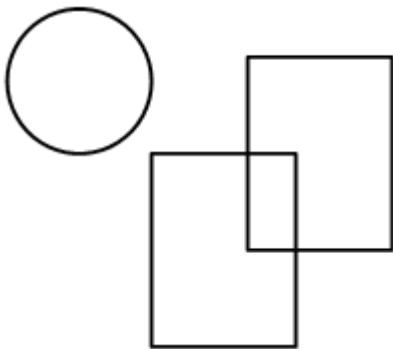
### Guião da primeira sessão

#### Tarefa 1

- Desenhar um rectângulo no canto superior esquerdo da área de trabalho
- Desenhar um círculo no canto inferior direito
- Copiar o círculo para o canto superior direito
- Copiar o rectângulo para o canto inferior esquerdo
- Apagar os dois círculos
- Undo de modo a ficarem as duas elipses visíveis novamente

#### Tarefa 2

- Desenhar o seguinte conjunto de formas no canto superior esquerdo



- Copiar o conjunto para o canto inferior esquerdo
- Apagar o círculo do canto inferior esquerdo
- Undo
- Redo
- Copiar o círculo do canto superior esquerdo para o canto inferior direito
- Fazer undos até que a cópia original do canto inferior direito seja reposta
- Apagar o conjunto do canto superior esquerdo

## Questionário da primeira sessão

### Perfil

1. Idade \_\_\_\_\_

2. Há quantos anos usa computadores?

- Menos de 1
- Menos de 3
- Menos de 5
- Menos de 10
- 10 ou mais

3. Conhece interfaces baseadas em gestos?

- Sim
- Não

3.1. Se sim, quais?

4. Usa interfaces baseadas em gestos?

- Sim
- Não

4.1. Se sim, quais e há quanto tempo?

## Avaliação

1. Classifique a sua percepção do modo de gestos Sem Restrição de acordo com as seguintes características:

	1	2	3	4	5
Velocidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conforto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precisão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Satisfação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Classifique a sua percepção do modo de gestos Moldura de acordo com as seguintes características:

	1	2	3	4	5
Velocidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conforto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precisão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Satisfação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Classifique a sua percepção do modo de gestos Toque de acordo com as seguintes características:

	1	2	3	4	5
Velocidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conforto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precisão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Satisfação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Guião da segunda sessão

### Tarefa 1

- Desenhar um rectângulo no canto superior esquerdo e copiá-lo para o canto superior direito

- Desenhar dois círculos no canto inferior direito
- Apagá-los
- Undo
- Redo
- Copiar rectângulo do canto superior esquerdo para o canto inferior esquerdo
- Desenhar círculo ao lado
- Apagar ambos
- Undo
- Redo

## **Tarefa 2**

- Desenhar círculo no canto superior direito
- Copiar círculo para o canto inferior direito
- Desenhar rectângulo à esquerda deste último círculo
- Copiar rectângulo para a esquerda do outro círculo
- Apagar círculo e rectângulo do canto superior direito
- Undo
- Apagar círculo e rectângulo do canto inferior direito
- Undo
- Redo

## **Questionário da segunda sessão**

1. Os gestos que prefiro são os:

- Sem Restrição
- Moldura
- Toque

2. Os gestos mais fáceis são os:

- Sem Restrição
- Moldura
- Toque

3. Os gestos mais eficientes são os:

- Sem Restrição
- Moldura
- Toque



4. Os gestos que memorizei mais facilmente foram os:

- Sem Restrição
- Moldura
- Toque

5. Classifique a sua satisfação com os gestos escolhidos para as seguintes acções:

	Detestei	Gostei pouco	Gostei	Gostei muito	Adorei
Seleccção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Copiar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Colar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apagar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Undo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Redo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Classifique a sua satisfação com os gestos de scroll nos diferentes conjuntos de gestos:

	Detestei	Gostei pouco	Gostei	Gostei muito	Adorei
Sem restrição	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moldura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Toque	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Finalmente, deixe-nos os seus comentários e sugestões:



## Anexo B – Segundo Estudo

### Guião

#### Tarefa 1

- Desenhar um rectângulo no canto superior esquerdo e copiá-lo para o canto superior direito
- Desenhar dois círculos no canto inferior direito
- Apagá-los
- Undo
- Redo
- Copiar rectângulo do canto superior esquerdo para o canto inferior esquerdo
- Desenhar círculo ao lado
- Apagar ambos
- Undo
- Redo

#### Questionário após cada dispositivo

1. Classifique a sua percepção do modo de gestos Moldura de acordo com as seguintes características:

	1	2	3	4	5
Velocidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conforto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precisão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Satisfação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Classifique a sua percepção do modo de gestos Toque de acordo com as seguintes características:

	1	2	3	4	5
Velocidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conforto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precisão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Satisfação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Questionário após todos os dispositivos

### Perfil

1. Idade \_\_\_\_\_
2. Há quantos anos usa computadores?
- Menos de 1
  - Menos de 3
  - Menos de 5
  - Menos de 10
  - 10 ou mais
3. Conhece interfaces baseadas em gestos?
- Sim
  - Não

3.1 Se sim, quais?

4. Usa interfaces baseadas em gestos?
- Sim
  - Não

4.1 Se sim, quais e há quanto tempo?

--

## Avaliação

5. Classifique a sua satisfação para com os gestos do conjunto Toque relativamente a cada dispositivo:

	Detestei	Gostei pouco	Gostei	Gostei muito	Adorei
Tablet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mesa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SmartBoard	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Classifique a sua satisfação para com os gestos do conjunto Moldura relativamente a cada dispositivo:

	Detestei	Gostei pouco	Gostei	Gostei muito	Adorei
Tablet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mesa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SmartBoard	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>