

Projecto de Quadro Interactivo de Baixo Custo Utilizando o Comando da Wii

Marco Filipe Chaves Pinto da Silva



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Rua Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal

Julho de 2008

Projecto de Quadro Interactivo de Baixo Custo Utilizando o Comando da Wii

Marco Filipe Chaves Pinto da Silva

Bacharel em Engenharia Electrotécnica – Electrónica e
Computadores pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia
Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto, orientada pelo Professor Doutor Luís Paulo
Reis e co-orientada pelo Professor Doutor Armando Jorge Sousa.

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Rua Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal

Julho de 2008

A Dissertação intitulada

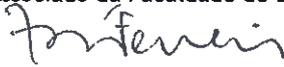
“Wii Remote Interactive Board: Quadro Interactivo de Baixo Custo utilizando um comando da consola Wii”

foi aprovada em provas realizadas em 16/Julho/2008

o júri

Presidente

Professor Doutor José Manuel Martins Ferreira
Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



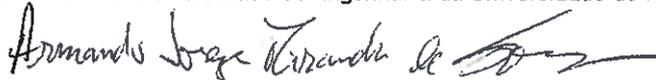
Professor Doutor Luís Filipe de Seabra Lopes
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro



Professor Doutor Luis Paulo Gonçalves dos Reis
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

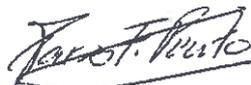


Professor Doutor Armando Jorge Miranda de Sousa
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados.

Autor - Marco Filipe Chaves Pinto da Silva



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

Os quadros interactivos vêm ganhando importância na nossa sociedade, tanto a nível empresarial como, sobretudo, a nível escolar. Os mesmos têm sido uma forte aposta para a educação na maioria dos países europeus, sendo que em Portugal só recentemente esse facto começou a ser visível. No entanto, os produtos propostos pelos principais fabricantes apresentam um grande entrave à sua aquisição: preços muito elevados. Surge então a necessidade de utilizar tecnologias diferentes de modo a poder fornecer uma solução que apresente os mesmos níveis de desempenho, mas com um custo significativamente reduzido.

Ao longo desta dissertação são descritos os passos dados para a elaboração de um sistema de quadro interactivo que cumpra esses requisitos. O sistema proposto gira em torno da utilização do comando Wii Remote, da consola Wii da Nintendo. Esse comando tem um sensor matricial de infravermelhos e suporta comunicação *Bluetooth*, o que garante uma boa flexibilidade no seu uso. Para o controlo do quadro interactivo foi desenvolvido um dispositivo sem fios, baseado em emissores de infravermelhos, que suporta a maioria dos eventos do rato e possibilita um posicionamento correcto do cursor do mesmo.

Foi também desenvolvida uma aplicação em *Delphi*, que pode ser usada com uma ou duas Wiimotes, na qual foi implementado um método de calibração simples e eficiente. A aplicação inclui também a visualização de algumas características próprias à Wiimote, assim como um Notebook flexível que permite aumentar a gama de utilizações a poder dar à mesma.

Foi realizado um inquérito junto de pessoas isentas e qualificadas que, após efectuarem com total liberdade um teste à solução proposta, lograram responder a um questionário. Os resultados obtidos através deste último constituíram indicadores muito positivos acerca da aceitação das pessoas ao quadro interactivo desenvolvido. Um quadro interactivo de baixo custo, acessível a todos, torna-se então numa realidade.

Abstract

Interactive whiteboards are gaining importance in our society, both at a company level and, especially, at school level. The interactive whiteboards have been a strong bet for education in most European countries, and in Portugal that only recently began to be visible. However, the products offered by the major manufacturers have a major barrier to their acquisition: very high prices. There will be a need to use different technologies in order to provide a solution to present the same levels of performance, but with a significantly reduced cost.

Throughout this dissertation the steps taken for the development of an interactive whiteboard are described. The proposed system is based on the Wii Remote, command of the Nintendo Wii console. This command has an infrared camera, and supports *Bluetooth* communication, which guarantees a good flexibility in their use. For the control of the interactive framework is developed a wireless device, based on infrared emitters, which supports most of the events of the mouse and allows a correct positioning of the cursor of it.

An application was also developed in *Delphi*, that can be used with one or two Wiimotes, which was implemented a method of calibration simple and efficient. The application also includes viewing capabilities of some of the Wiimote characteristics, as well as a flexible Notebook to increase the range of uses that it can give to it.

It was conducted a survey of neutral and qualified people who, after making a test of the proposed solution with complete freedom, managed to respond to a questionnaire. The results obtained by the indicators were very positive about the acceptance of people to the interactive whiteboard developed. A low-cost interactive whiteboard, accessible to everyone, then becomes reality.

Résumé

Les tableaux interactifs sont de plus en plus importants dans notre société, à la fois dans les entreprises et, en particulier, dans les écoles. Les tableaux interactifs ont été un pari solide pour l'éducation dans la plupart des pays européens, mais au Portugal ce n'est que récemment que cela se vérifie. Toutefois, les produits offerts par les grands fabricants présentent un obstacle majeur à leur acquisition: des prix très élevés. Il s'avère alors nécessaire d'utiliser des technologies différentes afin de fournir une solution semblable, qui offre les mêmes niveaux de performance, mais avec un coût significativement réduit.

Tout au long de cette thèse sont décrites les mesures prises pour le développement d'un système de tableau interactif qui réponde à ces exigences. Le système proposé s'articule autour de la Wii Remote, la commande de la console de jeux Wii de Nintendo. Cette commande a un capteur infrarouge intégré et communique avec la technologie *Bluetooth*, ce qui garanti une bonne flexibilité dans son utilisation. Pour le contrôle du tableau interactif, il fût mis au point un appareil sans fil, avec la communication basée sur des émetteurs infrarouge, qui supporte la plupart des événements de la souris et permet un bon positionnement du curseur de cette dernière.

Afin de compléter le système, il fût créé une application en *Delphi*, qui peut être utilisée avec une ou deux Wiimotes, laquelle incorpore une méthode de calibration du tableau interactif simple et efficace. L'application informatique comprend également la signalisation constamment actualisée de certaines caractéristiques de la Wiimote, ainsi qu'une application *Notebook* afin d'élargir l'éventail des utilisations possibles que l'on peut donner à cette dernière.

Il fût réalisée une enquête auprès de personnes neutres et qualifiées qui, après avoir effectué un teste à la solution proposée en toute liberté, ont accédé à répondre à un questionnaire. Les résultats obtenus par le biais de ce dernier ont fournis des indicateurs très positifs quant à l'acceptation des gens au tableau interactif développé. Un tableau interactif à bas prix, accessible à tout le monde, devient alors une réalité.

Aos meus pais, irmão, amigos e família

Agradecimentos

Na elaboração deste trabalho foram vários os que contribuíram para que fosse possível atingir o fim desta dissertação.

Em primeiro lugar, agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Luís Paulo Reis, pela proposta deste tema e pelo apoio ao longo das várias etapas deste trabalho. De modo similar, agradeço ao co-orientador desta dissertação, o Professor Doutor Armando Jorge Sousa, por todo o apoio prestado.

Agradeço à Faculdade de Engenharia, que disponibilizou todos os seus meios para a elaboração deste trabalho, mais precisamente ao laboratório LIACC/NIAD&R no qual trabalhei nestes últimos meses. Aproveito para agradecer de igual modo aos técnicos Rui Fernandes, Daniel Azeredo e Nuno Sousa, pelo apoio prestado sempre que tal foi solicitado.

Gostaria também de agradecer à Doutora Mónica Faria pela ajuda na análise estatística do questionário efectuado no âmbito desta dissertação.

Por fim, e não menos importante, quero deixar o meu sincero agradecimento ao meu amigo Daniel Santos e ao meu primo e amigo Rafael, pelas ajudas prestadas em diferentes fases deste trabalho agora levado a cabo.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Motivação	1
1.3 Objectivos	2
1.4 Estrutura da Dissertação.....	3
2. Quadros Interactivos	5
2.1 Introdução	5
2.2 Tecnologias usadas	6
2.2.1 Resistiva	6
2.2.2 Electromagnética	6
2.2.3 Capacitiva	7
2.2.4 Leitura óptica de infravermelhos.....	7
2.2.5 Ultra-sons	8
2.3 Tipos de projecção	8
2.3.1 Projecção frontal.....	8
2.3.2 Projecção traseira.....	9
2.3.3 Utilização de ecrã fino.....	10
2.4 Áreas de utilização	10
2.4.1 Quadros interactivos no ensino.....	10
2.4.2 Quadros interactivos nas empresas.....	11
2.4.3 Quadros interactivos em áreas governamentais.....	12
2.5 Tipos de Calibração	12
2.6 Algumas Marcas, Modelos e Preços praticados.....	13
2.6.1 eBeam Integral 65.....	13
2.6.2 InterWrite 1071	14
2.6.3 Promethan Activboard 95 studio	14
2.6.4 SMARTBoard ESP680-N	15
2.6.5 SMARTBoard 2000i	15

2.7	Conclusões	16
3.	O comando Wii Remote	19
3.1	Introdução	19
3.2	Ligação ao computador	20
3.3	Tipologia dos relatórios	21
3.4	Leitura e Escrita na EEPROM da Wiimote.....	21
3.5	Inicialização e Leitura da Câmara IR.....	23
3.5.1	Inicialização.....	23
3.5.2	Leitura dos dados.....	24
3.6	Ângulos de visão do sensor de infravermelhos.....	26
3.7	Frequência de recepção de relatórios	27
3.8	Suporte adaptável construído	28
3.9	Sumário	30
4.	Dispositivo de controlo do Quadro Interactivo	33
4.1	Introdução	33
4.2	Escolha dos emissores de infravermelhos.....	34
4.3	Escolha do gerador de sinais de controlo	37
4.4	Codificação dos sinais de controlo.....	42
4.5	Esquema eléctrico do dispositivo de controlo.....	44
4.6	Software do microcontrolador	47
4.7	Implementação do dispositivo de controlo	47
4.8	Sumário	50
5.	Projecto e Implementação da Aplicação	51
5.1	Introdução	51
5.2	Calibração	52
5.3	Teste à qualidade do método de calibração.....	53
5.4	Recepção dos eventos do dispositivo de controlo.....	66
5.5	Posicionamento e emulação dos eventos do rato	67
5.6	Apresentação Gráfica e Notebook	68

5.7	Avaliação do Sistema – Inquérito Realizado	72
5.8	Resultados do Inquérito Realizado	74
5.8.1	Amostra	74
5.8.2	Procedimentos	77
5.8.3	Resultados obtidos.....	78
5.8.4	Discussão e Análise dos Resultados.....	82
5.9	Sumário	83
6.	Conclusões e Perspectivas de Desenvolvimento	85
6.1	Conclusões	85
6.2	Perspectivas de Desenvolvimento.....	86
	Referências Bibliográficas	89
	Anexo 1- Esquema da placa de circuito impresso do dispositivo de controlo	91
	Anexo 2- Algoritmo do método rref para Delphi	93
	Anexo 3- Tabela Excel com os Resultados do Inquérito	95
	Anexo 4- Questionário sobre o Quadro Interactivo de baixo custo	97

Lista de Figuras

FIGURA 2.1: QUADRO INTERACTIVO DE PROJECCÃO FRONTAL A MÉDIA DISTÂNCIA	8
FIGURA 2.2: QUADRO INTERACTIVO DE PROJECCÃO FRONTAL A CURTA DISTÂNCIA	9
FIGURA 2.3: QUADRO INTERACTIVO DE PROJECCÃO TRASEIRA.....	9
FIGURA 2.4: QUADRO INTERACTIVO UTILIZANDO UM ECRÃ FINO	10
FIGURA 2.5: EBEAM INTEGRAL 65	13
FIGURA 2.6: INTERWRITE 1071.....	14
FIGURA 2.7: PROMETHAN ACTIVBOARD 95 STUDIO	14
FIGURA 2.8: SMARTBOARD ESP680-N.....	15
FIGURA 2.9: SMARTBOARD 2000I.....	16
FIGURA 3.1: WIIMOTE, COMANDO DA WII	19
FIGURA 3.2: BLUESOLEIL COM WIIMOTE CONECTADA.....	20
FIGURA 3.3: TRAMA DE DADOS DO MODO 0x33	21
FIGURA 3.4: TRAMAS DE DADOS DO MODO 0x3E / 0x3F.....	21
FIGURA 3.5: TRAMA DE PEDIDO DE LEITURA DE DADOS DA EEPROM DA WIIMOTE	22
FIGURA 3.6: TRAMA RESULTANTE DA LEITURA DE DADOS DA EEPROM DA WIIMOTE.....	22
FIGURA 3.7: TRAMA DE PEDIDO DE ESCRITA DE DADOS NA EEPROM DA WIIMOTE	22
FIGURA 3.8: CODIFICAÇÃO DOS DADOS DA CÂMARA IR PARA O MODO EXTENSO	25
FIGURA 3.9: CODIFICAÇÃO DOS DADOS DA CÂMARA IR PARA O MODO COMPLETO	26
FIGURA 3.10: TESTE REALIZADO PARA O APURAMENTO DOS ÂNGULOS DE VISÃO.....	26
FIGURA 3.11: SUPORTE PARA WIIMOTE.....	29
FIGURA 3.12: POSICIONAMENTO IDEAL DO SENSOR EM RELAÇÃO À ÁREA INTERACTIVA	30
FIGURA 4.1: SUPORTE DE QUATRO PILHAS AA	34
FIGURA 4.2: LED IR DE ALTO BRILHO (HIRL5020)	35
FIGURA 4.3: LED IR DE GRANDE ÂNGULO DE PROPAGAÇÃO (SFH4200).....	35
FIGURA 4.4: NE555 E CARACTERÍSTICAS RELEVANTES.....	38
FIGURA 4.5: ESQUEMA DAS LIGAÇÕES PARA O CONTROLO DO NE555.....	39
FIGURA 4.6: PIC12F509 E CARACTERÍSTICAS RELEVANTES.....	40
FIGURA 4.7: ATTINY85V E CARACTERÍSTICAS RELEVANTES	41
FIGURA 4.8: TRAMA DO EVENTO BOTÃO ESQUERDO PRESSIONADO	42

FIGURA 4.9: TRAMA DO EVENTO BOTÃO ESQUERDO LARGADO	43
FIGURA 4.10: TRAMA DO EVENTO CLIQUE DO BOTÃO ESQUERDO.....	43
FIGURA 4.11: TRAMA DO EVENTO DUPLO CLIQUE DO BOTÃO ESQUERDO.....	43
FIGURA 4.12: TRAMA DO EVENTO CLIQUE DO BOTÃO DIREITO	44
FIGURA 4.13: CONTROLO DOS LEDS INFRAVERMELHOS POR UM PINO DO MICRO.....	45
FIGURA 4.14: CIRCUITO DE VISUALIZAÇÃO DO ESTADO DAS PILHAS	45
FIGURA 4.15: ESQUEMA ELÉCTRICO DO DISPOSITIVO DE CONTROLO	46
FIGURA 4.16: ESQUEMA DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	48
FIGURA 4.17: PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO VISTA DE FRENTE	48
FIGURA 4.18: PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO VISTA DE TRÁS	48
FIGURA 4.19: PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO INSERIDA NO SUPORTE DAS PILHAS AA	49
FIGURA 4.20: INVÓLUCRO DO DISPOSITIVO DE CONTROLO.....	49
FIGURA 4.21: VERIFICAÇÃO DO ESTADO DAS PILHAS	49
FIGURA 5.1: OS QUATRO PONTOS DE CALIBRAÇÃO.....	52
FIGURA 5.2: RELAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS DO SENSOR IR E AS DO ECRÃ	53
FIGURA 5.3: MATRIZ A PREENCHER PARA CALCULAR O VALOR DAS INCÓGNITAS.....	53
FIGURA 5.4: MATRIZ APÓS A EXECUÇÃO DO ALGORITMO RREF	53
FIGURA 5.5: ÁREA DE TESTE	54
FIGURA 5.6: PONTOS DE LEITURA DA ÁREA DE TESTES	55
FIGURA 5.7: DISPOSIÇÃO DE LEITURA COM UMA E DUAS WIIMOTES	55
FIGURA 5.8: SEGUNDA DISPOSIÇÃO DE LEITURA COM UMA WIIMOTE	56
FIGURA 5.9: EXACTIDÃO E PRECISÃO OBTIDAS NO POSICIONAMENTO 1 COM O LED 1	58
FIGURA 5.10: EXACTIDÃO E PRECISÃO OBTIDAS NO POSICIONAMENTO 1 COM O LED 2	59
FIGURA 5.11: EXACTIDÃO E PRECISÃO OBTIDAS NO POSICIONAMENTO 2 COM O LED 1	61
FIGURA 5.12: EXACTIDÃO E PRECISÃO OBTIDAS NO POSICIONAMENTO 3 COM O LED 1	62
FIGURA 5.13: EXACTIDÃO E PRECISÃO OBTIDAS NO POSICIONAMENTO 3 COM O LED 2	64
FIGURA 5.14: ERROS MÉDIOS DA EXACTIDÃO E PRECISÃO SEGUNDO X E Y	65
FIGURA 5.15: LEITURA DOS OITO BITS DE UMA TRAMA DE UM EVENTO.....	66
FIGURA 5.16: APLICAÇÃO COM UMA WIIMOTE CONECTADA.....	68
FIGURA 5.17: APLICAÇÃO COM DUAS WIIMOTES CONECTADAS.....	69
FIGURA 5.18: EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DO NOTEBOOK IMPLEMENTADO	71
FIGURA 5.19: ASPECTO GERAL DO INQUÉRITO EFECTUADO	72

Lista de Tabelas

TABELA 2.1: ESPECIFICAÇÕES DO EBEAM INTEGRAL 65	13
TABELA 2.2: ESPECIFICAÇÕES INTERWRITE 1071	14
TABELA 2.3: ESPECIFICAÇÕES PROMETHAN ACTIVBOARD 95 STUDIO.....	15
TABELA 2.4: ESPECIFICAÇÕES SMARTBOARD ESP680-N	15
TABELA 2.5: ESPECIFICAÇÕES SMARTBOARD 2000i	16
TABELA 2.6: COMPARAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES DE CINCO QUADROS INTERACTIVOS	17
TABELA 3.1: ALGUNS NÍVEIS DE SENSIBILIDADE DA CÂMARA IR DA WIIMOTE	24
TABELA 3.2: VALORES OBTIDOS PARA OS PONTOS VISÍVEIS NAS EXTREMIDADES	27
TABELA 3.3: VALORES OBTIDOS PARA O ÂNGULO DE VISÃO HORIZONTAL E VERTICAL	27
TABELA 3.4: NÚMERO DE RELATÓRIOS RECEBIDOS POR SEGUNDO	28
TABELA 4.1: CARACTERÍSTICAS DO EMISSOR HIRL5020	35
TABELA 4.2: CARACTERÍSTICAS DO EMISSOR SFH4200	36
TABELA 5.1: VALORES REAIS DOS PONTOS DA ÁREA DE TESTE	56
TABELA 5.2: VALORES LIDOS NO POSICIONAMENTO 1 COM O LED 1	57
TABELA 5.3: VALORES LIDOS NO POSICIONAMENTO 1 COM O LED 2	59
TABELA 5.4: VALORES LIDOS NO POSICIONAMENTO 2 COM O LED 1	60
TABELA 5.5: VALORES LIDOS NO POSICIONAMENTO 3 COM O LED 1	62
TABELA 5.6: VALORES LIDOS NO POSICIONAMENTO 3 COM O LED 2	63
TABELA 5.7: ERROS MÉDIOS DA EXACTIDÃO E PRECISÃO SEGUNDO X E Y	65
TABELA 5.8: FREQUÊNCIA RELATIVA DA IDADE DOS INDIVÍDUOS DA AMOSTRA	75
TABELA 5.9: PERCENTAGENS DAS HABILITAÇÕES LITERÁRIAS DA AMOSTRA	76
TABELA 5.10: PERCENTAGENS DE UTILIZADORES COM EXPERIÊNCIA COM QUADROS INTERACTIVOS	76
TABELA 5.11: PERCENTAGEM DE UTILIZADORES POSSUIDORES DE WIIMOTE.....	76
TABELA 5.12: PERCENTAGENS RELATIVAS AO NÍVEL DE CONHECIMENTO SOBRE A WIIMOTE ..	77
TABELA 5.13: PREÇO ACTUAL DOS QUADROS INTERACTIVOS	78
TABELA 5.14: GRAU DE DIFICULDADE DE LIGAÇÃO DA WIIMOTE AO COMPUTADOR.....	78
TABELA 5.15: GRAU DE DIFICULDADE DE EXECUÇÃO DA CALIBRAÇÃO.....	78
TABELA 5.16: CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA CALIBRAÇÃO	78

TABELA 5.17: CLASSIFICAÇÃO DA MANEABILIDADE DO DISPOSITIVO DE CONTROLO.....	79
TABELA 5.18: CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DA EMULAÇÃO DOS EVENTOS DO RATO	79
TABELA 5.19: CLASSIFICAÇÃO DA APLICAÇÃO NOTEBOOK IMPLEMENTADA	79
TABELA 5.20: CLASSIFICAÇÃO DA RELAÇÃO QUALIDADE / PREÇO DA SOLUÇÃO PROPOSTA	79
TABELA 5.21: ATRACTIVIDADE E ADEQUAÇÃO DO NOME IIBOARD.....	79
TABELA 5.22: CLASSIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO APRESENTADA	80
TABELA 5.23: PREFERÊNCIA PELA IIBOARD NUMA EVENTUAL COMPRA.....	80
TABELA 5.24: EVIDÊNCIAS ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS HIPÓTESES DE ESTUDO	81
TABELA 5.25: CONTINGÊNCIA (2X2) SOBRE EXPERIÊNCIA EM QUADROS INTERACTIVOS E OPÇÃO DE COMPRA.....	82

Capítulo 1

1. Introdução

1.1 Enquadramento

O trabalho descrito neste relatório relaciona-se com o projecto e implementação de um quadro interactivo, sendo que esse tipo de aparelho vem ganhando um mercado crescente nos últimos anos na área da educação, mas na maioria dos casos apresenta ainda preços proibitivos. Surge então a necessidade de encontrar uma solução que, no mínimo, mantenha os níveis de desempenho actualmente propostos e que os torne acessíveis por um preço mais razoável. Para tal, serão estudados vários tipos de emissores de infravermelhos, respectiva alimentação e tentar-se-á integrá-los num dispositivo que funcione como um comando de controlo do quadro. Como receptor de infravermelhos será usado o comando da consola Wii, o Wii Remote, que apresenta a possibilidade de comunicar por *Bluetooth* com qualquer computador equipado com essa tecnologia. A aplicação do quadro interactivo será desenvolvida em *Delphi*, e terá no seu algoritmo a implementação de um método de calibração da câmara de infravermelhos, assim como a emulação de quase todos os eventos do rato, sendo que a informação poderá ser proveniente de uma ou duas Wiimotes em simultâneo.

1.2 Motivação

A motivação principal para a realização deste trabalho resulta da importância crescente que os quadros interactivos vêm adquirindo na sociedade. Desde o mundo empresarial até à utilização caseira, passando pelo sistema educativo, os quadros interactivos vêm conquistando o seu espaço. Hoje em dia já são muitas as soluções existentes no que a quadros interactivos diz respeito, sendo que no entanto estes últimos ainda apresentam preços elevados, correspondendo então a um investimento que nem toda a gente está disposta a fazer.

Nos últimos tempos, têm então surgido algumas aplicações do género, que conseguem um efeito relativamente parecido com o oferecido pelos quadros interactivos tradicionais, mas que são baseadas em dispositivos de custo bem mais moderado. Uma dessas aplicações consiste num quadro interactivo baseado numa caneta emissora de infravermelhos a ser usada juntamente com o Wii Remote, comando da consola Nintendo Wii. A aplicação citada tem sido amplamente divulgada na Internet, sendo que no entanto apresenta ainda algumas limitações, pois somente emula os movimentos do rato juntamente com a acção correspondente ao clique do seu botão esquerdo. No entanto, por detrás dessa aplicação está uma ideia fértil, que se bem trabalhada pode resultar numa aplicação que permita emular os eventos do rato na sua quase totalidade, e ainda conter algumas das funcionalidades oferecidas pelos softwares geralmente fornecidos na compra de quadros interactivos mais clássicos, como uma aplicação *notebook*, teclado virtual, etc. A criação de uma aplicação relativamente flexível e de baixo custo, que substitua da melhor maneira possível os quadros interactivos tradicionais, torna-se então numa realidade bem próxima de ser concretizada.

1.3 Objectivos

O objectivo principal deste trabalho consiste em estudar o funcionamento dos quadros interactivos em geral e do Wii Remote, projectar e implementar um quadro interactivo baseado na utilização deste último dispositivo e em emissores de infravermelhos.

Os objectivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- Estudo do funcionamento da Wiimote, mais concretamente da câmara de infravermelhos;
- Construção de um dispositivo baseado em emissores de infravermelhos que sirva de caneta e que se adapte o melhor possível às necessidades da aplicação;
- Estudo de métodos de calibração de modo a escolher o mais adaptado a esta aplicação, para a calibração do quadro interactivo;
- Projecto de uma aplicação que seja capaz de usar informação proveniente de duas Wiimotes de modo a evitar situações de oclusão;
- Implementação de um conjunto aplicação / dispositivo de controlo capaz de emular quase todos os eventos do rato;
- Desenvolvimento de uma aplicação extra que permita escrever ou desenhar no ambiente de trabalho e guardar esses apontamentos;

- Realização de um pequeno inquérito junto de pessoas com alguma experiência na utilização de quadros interactivos, de modo a apurar a utilidade e o nível de aceitação da aplicação proposta.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos dos quais o primeiro é composto por esta introdução ao trabalho.

No segundo capítulo é apresentado o que actualmente é oferecido ao nível dos quadros interactivos, desde a tecnologia utilizada até aos preços exercidos na venda do produto final.

O terceiro capítulo apresenta a Wiimote, comando da Nintendo Wii. São apresentadas algumas das suas características, assim como o protocolo usado para o envio e recepção de informação, sobretudo relativamente à câmara de infravermelhos.

O quarto capítulo explica as decisões tomadas no projecto do dispositivo de controlo do quadro interactivo, como a escolha dos emissores de infravermelhos, do integrado usado na geração dos sinais de controlo, entre outras. Após isso ilustra a sua implementação e o seu aspecto final.

O quinto capítulo aborda o projecto e implementação da aplicação informática desenvolvida. É devidamente explicado o método de calibração usado e são enumeradas as funcionalidades da aplicação. O método de calibração é também analisado de maneira qualitativa em função do uso de uma ou duas Wiimotes, do posicionamento da(s) mesma(s) em relação ao quadro e do tipo de led usado no dispositivo de controlo. Por fim é descrita a realização de um inquérito a uma amostra de utilizadores que testaram o quadro interactivo desenvolvido e são analisados os respectivos resultados obtidos através de um estudo estatístico.

O último capítulo contém as conclusões gerais deste trabalho, analisa os seus principais resultados e apresenta algumas perspectivas de desenvolvimentos futuros.

Capítulo 2

2. Quadros Interactivos

2.1 Introdução

Um quadro interactivo é um dispositivo digital capaz de interagir com um computador, podendo reconhecer a escrita electronicamente e projectar imagens num ecrã. É usualmente usado em apresentações interactivas, juntamente com um computador e, geralmente, um projector. O projector apresenta o ambiente de trabalho do computador na superfície do quadro, onde o utilizador pode controlar o computador usando uma caneta, específica ou não, um dedo ou qualquer outro dispositivo, dependendo da tecnologia usada. O quadro é tipicamente montado numa parede ou então tem o seu próprio suporte de chão.

Em termos básicos, um quadro interactivo é uma espécie de ecrã de computador, geralmente de dimensões maiores, que pode ser sensível ao toque, a luz infravermelha, a ultra-sons, etc. Este tipo de equipamento tem uma grande variedade de utilizações, como em salas de aula a qualquer nível de ensino, no meio empresarial para a realização de reuniões, no mundo do desporto para demonstrar tácticas e métodos de treino, entre outras aplicações.

O uso de um quadro interactivo permite a interacção com qualquer tipo de aplicação que esteja a correr no computador que está ligado ao quadro, como é o caso de navegadores Internet ou qualquer outro programa. Existe também algum software especializado para a captura de apontamentos que vão sendo escritos na superfície do quadro. De um modo geral, um quadro interactivo permite gerar quase todos os eventos próprios de um rato de computador, marcar apontamentos no decorrer de uma apresentação e, em alguns casos, possibilita a conversão do texto escrito no quadro para um documento de texto em formato digital.

O quadro interactivo pode estar ligado ao computador por cablagem, como no caso do USB ou cabo de porta série, ou por uma ligação sem fios, como é o caso do *Bluetooth*. Normalmente, o *driver* do dispositivo está instalado no computador a ser usado. Esse *driver* fica automaticamente activo aquando o arranque do computador e, uma vez o *driver* inicializado, o quadro interactivo pode ser utilizado em qualquer altura. O *driver* converte contacto ou posicionamento em relação ao quadro interactivo em eventos do rato ou tinta digital. Isto é possível graças a uma superfície táctil ou a um sistema de leitura posicional, que pode ser por exemplo implementado com infravermelhos. Existem várias tecnologias implementadas em quadros interactivos que permitem o controlo do computador através das mesmas, sendo algumas delas a resistiva, a electromagnética, a capacitiva ou mesmo leitura óptica de infravermelhos.

2.2 Tecnologias usadas

Como já foi referido, existem várias tecnologias nas quais podem ser baseados os quadros interactivos [1]. As mais comuns e relevantes são:

2.2.1 Resistiva

Esta tecnologia utiliza duas camadas condutoras que estão separadas por uma pequena camada de ar. O pressionar da superfície do quadro faz com que essas duas camadas se toquem no ponto de pressão, fechando então a camada de ar naquele ponto e estabelecendo contacto eléctrico. A resistividade das duas camadas é então alterada, e, através da mesma, é então possível determinar as coordenadas X e Y nas quais ocorreu o contacto. Esta tecnologia permite então o controlo com uma caneta ou um dedo. No entanto, o toque simultâneo em dois pontos distintos do quadro resulta num mal funcionamento do mesmo. Este tipo de quadro interactivo geralmente só permite operações idênticas às acções efectuadas pelo botão esquerdo do rato. As restantes funções, como o simples deslocamento do rato ou o accionamento do botão direito, quando presente, são geralmente seleccionáveis através de um programa a correr no computador, com o respectivo menu. Normalmente, este tipo de quadro suporta resoluções até 4000 pixels.

2.2.2 Electromagnética

Estes quadros são tipicamente construídos com materiais rígidos, desde a sua superfície de contacto até à restante estrutura, o que os torna extremamente robustos. Um conjunto de fios embutidos atrás da superfície de controlo interage com uma bobina

presente na caneta, o que permite determinar as coordenadas X e Y relativas ao posicionamento da mesma. Há dois tipos de canetas, as activas e as passivas. As activas requerem algum tipo de alimentação, que pode passar por pilhas ou um cabo proveniente do próprio quadro interactivo, enquanto as passivas não necessitam de qualquer tipo de alimentação, tendo na mesma a capacidade de alterar os sinais eléctricos produzidos pelo quadro. A aquisição da informação passa por sensores magnéticos presentes no quadro que reagem às alterações dos sinais eléctricos provocados pela caneta magnética e enviam a informação para o computador, onde ela vai ser devidamente tratada. Este tipo de quadro interactivo geralmente permite efectuar todas as operações similares às de um rato, sendo que utilizador poderá apontar com o dedo em qualquer outra parte do quadro interactivo sem interferir com o seu funcionamento. Sendo assim, a possibilidade de várias pessoas poderem carregar no quadro para apontar sem interferir no funcionamento, o facto de existir um suporte computacional para desenho assistido e o facto de poderem ser criadas algumas regras de funcionamento tornam este tipo de quadro muito flexível, sobretudo em salas de aula. Estes quadros são semelhantes às paletes gráficas usadas por desenhadores profissionais na área digital, sendo que geralmente suportam resoluções superiores a 30000 pixels.

2.2.3 Capacitiva

Tal como a tecnologia electromagnética, esta tecnologia funciona com um barramento de fios colocados atrás do quadro interactivo. No entanto, neste caso, o quadro reage a qualquer objecto que toque no ecrã. O toque entre dois fios perpendiculares, que são colocados na orientação do eixo dos XX e dos YY, que é provocado pela pressão de, por exemplo, um dedo, dar-nos-á as coordenadas X e Y do local do toque. Sendo assim, o uso de uma caneta não é obrigatório, e o facto de todos os componentes electrónicos estarem por detrás do ecrã torna-os invisíveis e protegidos contra eventuais actos de vandalismo.

2.2.4 Leitura óptica de infravermelhos

Toda a superfície do quadro interactivo é varrida por feixes infravermelhos, horizontalmente e verticalmente. Quando a caneta ou um dedo se aproxima da superfície do quadro interactivo, dois ou mais feixes de luz infravermelha são então interrompidos, pelo que o programa a correr no computador pega nessa informação para calcular a posição do contacto. Isto proporciona que o quadro interactivo possa ser feito de qualquer tipo de material, sendo que neste tipo de sistemas não há necessidade de usar um marcador especial.

2.2.5 Ultra-sons

Quando pressionada contra a superfície do quadro interactivo, a caneta envia um som ultra-sónico. Dois microfones ultra-sónicos recebem o som e medem a diferença entre os tempos de chegada do som a ambos, através da qual calculam a posição da caneta. Esta tecnologia não impõe qualquer tipo específico de material para a construção do quadro, mas requer uma caneta activa. Como facilmente se compreende, só se pode usar um tipo específico de canetas, excluindo-se então a possibilidade de se usar os dedos ou qualquer outro dispositivo para o controlo do quadro interactivo.

2.3 Tipos de projecção

O método através do qual o ambiente de trabalho do computador é apresentado na superfície do quadro interactivo varia em função da tipologia do sistema. Geralmente é usado um sistema de projecção, sendo que também há sistemas que podem ser usados num ecrã Plasma ou LCD comum. O modo como é apresentado o ambiente de trabalho no quadro interactivo pode ser então segundo um dos três métodos apresentados a seguir.

2.3.1 Projecção frontal



Figura 2.1: Quadro Interactivo de Projecção Frontal a média distância

Os quadros interactivos de projecção frontal têm um vídeo projector em frente ao quadro, tal como na Figura 2.1. A grande desvantagem desta disposição é que o utilizador terá de estar em frente ao ecrã para o utilizar e o seu corpo irá criar uma sombra no mesmo. Esse facto é obviamente minimizado pelo facto de um utilizador experiente já se saber posicionar e somente colocar o braço estendido à frente do ecrã. Alguns fabricantes também disponibilizam uma opção para aumentar ou diminuir o tamanho da área de interacção de modo a acomodar utilizadores de alturas diferentes. No caso de quadros interactivos que permitem a sua utilização com qualquer dispositivo para o controlo, o uso de uma vulgar vara de comprimento adequado e cuja ponta não danifique o quadro pode facilitar bastante uma apresentação nestas condições.



Figura 2.2: Quadro Interactivo de Projecção Frontal a curta distância

Mais recentemente têm sido comercializados quadros interactivos de projecção frontal em que o projector está fisicamente ligado a parte superior do quadro, e projecta com um ângulo de aproximadamente 45° , a uma distância relativamente curta, como se pode ver na Figura 2.2, o que quase elimina na totalidade as situações em que o quadro interactivo fica sujeito a sombras, minimizando assim uma das maiores desvantagens deste tipo de projecção.

2.3.2 Projecção traseira



Figura 2.3: Quadro Interactivo de Projecção Traseira

Os quadros interactivos de projecção traseira contêm o projector atrás da superfície do quadro o que elimina o problema de existirem sombras na mesma, como ilustrado na Figura 2.3. Outro ponto positivo é o de o utilizador no caso de estar a falar para uma plateia não ter de olhar para a mesma na direcção da luz emitida pelo projector. As desvantagens deste tipo de quadros é que eles são geralmente mais caros que os de projecção frontal, são bastante mais volumosos e não podem ser instalados numa parede, com a excepção de estarem encastrados na mesma.

2.3.3 Utilização de ecrã fino



Figura 2.4: Quadro Interactivo utilizando um ecrã fino

O ambiente de trabalho do computador pode também ser apresentado num vulgar ecrã Plasma ou LCD, como na Figura 2.4, que até pode ser adquirido independentemente do restante sistema de quadro interactivo. Mas, como é fácil de perceber, o ecrã neste caso não vai ter qualquer tecnologia que permita a implementação do quadro interactivo, pelo que as tecnologias que podem ser usadas com este tipo de sistema são mais limitadas. As tecnologias mais comuns que são usadas neste caso são sistemas de detecção de posicionamento baseados em emissores e sensores de infravermelhos ou em envio e recepção de ultra-sons.

2.4 Áreas de utilização

Os quadros interactivos são utilizados em diversos meios, sendo que o meio no qual é mais mediatizado é no ensino. Inicialmente, os quadros interactivos eram utilizados sobretudo no meio empresarial, em reuniões, por exemplo, sendo que também existe algum mercado direccionado para áreas governamentais.

2.4.1 Quadros interactivos no ensino

Em Portugal, foi muito recentemente que a introdução de quadros interactivos nas salas de aulas apareceu. Esse processo está incluído no Plano Tecnológico para a Educação [2]. Já no resto da Europa, há países nos quais essa implementação já está feita há alguns anos. Um estudo datado de 2007 realizado no Reino Unido [3] indica que os quadros interactivos são utilizados em quase todas as escolas, mais concretamente em 98% das escolas do ensino secundário e em 100% das escolas primárias daquela região da Europa. Os professores consideram esta tecnologia perfeitamente adequada ao tipo de ensino que pretendem praticar, para além de proporcionar a economia de recursos e a poupança de tempo. Os quadros interactivos vêm sobretudo substituir os tradicionais quadros pretos a giz ou os quadros brancos usados com marcadores próprios. Eles permitem apresentar aos alunos tudo o que possa ser executado num computador, tal como aplicações educativas, sites, entre outros. Os

projectores, que são usados com os quadros, podem por sua vez serem conectados a um videogravador, a um leitor de DVD ou até mesmo a um sistema de distribuição de vídeo digital eventualmente existente na escola. Alguns quadros interactivos são também acessíveis através da Internet, sob a forma de páginas Web.

Além disso, permitem que os professores possam gravar a sua aula e fornecer posteriormente a gravação aos alunos, ou até mesmo somente para efeitos de arquivo, sendo que esse material pode ser eventualmente usado para a própria avaliação do trabalho desenvolvido pelo professor em causa. As gravações podem ser inseridas numa estratégia muito eficaz para a aprendizagem dos estudantes, que muitas vezes necessitam de ouvir a matéria novamente, sendo que também terá grande utilidade para alunos que não tiveram oportunidade de assistir a determinada aula, ou para revisão em altura de exames. O professor também poderá gravar pequenos comentários em áudio, de modo a situar melhor o aluno de acordo com o que aconteceu exactamente na sala de aula e que não fique registado no quadro interactivo. Este tipo de tecnologia pode ajudar fortemente a revolucionar os métodos de ensino e de aprendizagem. Os fabricantes estão bastante orientados em tentar responder a algumas necessidades que têm surgido ao nível da educação. Muitas empresas que estão historicamente ligadas ao fornecimento de material escolar começam também a ter a preocupação de criar versões dos seus produtos educativos orientadas para o seu uso em quadros interactivos.

2.4.2 Quadros interactivos nas empresas

No meio empresarial, os quadros interactivos são essencialmente usados em escritórios, em reuniões, de modo a ilustrar e guardar todos os apontamentos tirados e para trabalhar em projectos colaborativos. Os quadros são particularmente úteis para aplicações interactivas, como a apresentação de um novo software.

As reuniões podem ter lugar num local específico, com presença física de todos os intervenientes, sendo que pode também existir uma separação física entre grupos de intervenientes, pelo que o uso de quadros interactivos torna insignificante esse factor e permite uma apresentação transparente para todos.

Fora do âmbito de reuniões, os quadros interactivos são também muito usados em empresas cujo mercado se baseia na elaboração de projectos de desenho assistido por computador (CAD).

Resumidamente, os quadros interactivos no meio empresarial introduzem a liberdade de trabalhar com colegas em qualquer lugar, a qualquer hora e com qualquer dispositivo digital ou aplicação. Essa liberdade dá início a uma nova geração de colaboradores.

2.4.3 Quadros interactivos em áreas governamentais

Os fabricantes de quadros interactivos apresentam também alguma preocupação em produzir quadros interactivos especificamente para venda ao governo, sendo que são destinados a serem usados em missões críticas, que exigem comunicações em tempo real.

Os quadros podem ser adquiridos para os diversos ministérios, de modo a facilitarem a troca de mensagens e informações entre eles, a divulgação de certas informações na Internet e também de alguns comunicados para a comunicação social.

Outra área para a qual os quadros interactivos são também adquiridos pelo governo é a militar. Nesse âmbito os quadros são sobretudo usados para acesso e partilha de informação em tempo real, elaboração de estratégias, à distância se necessário, e para a condução de treinos controlados dinamicamente.

2.5 Tipos de Calibração

Na maioria dos casos, a área interactiva tem de ser calibrada com a imagem a ser projectada. Este processo, normalmente, passa por apresentar uma sequência de pontos na imagem, geralmente nove, pontos esses que o utilizador tem de seleccionar com o dedo ou uma caneta, dependendo do sistema. Após esse processo, é gerado um modelo, calculado através de triangulações, geralmente, que relaciona os pontos seleccionados na superfície de controlo com uma localização específica no ambiente de trabalho do computador. Este processo pode ser chamado de orientação ou alinhamento, mas o nome pelo qual é mais conhecido é calibração.

São poucos os quadros interactivos usando projecção da imagem que têm a capacidade de se auto-calibrar. Contudo, a *Mitsubishi Electric Research Laboratories, Inc* desenvolveu uma tecnologia que o permite, sendo ela divulgada com a patente 7,001,023 [4]. Nesse sistema, o computador projecta uma sequência de barras pretas e brancas na superfície do quadro, sequencia essa baseada no código de Gray, sendo que sensores de luz colocados atrás da superfície do quadro detectam os feixes projectados. Este procedimento permite ao computador de alinhar a imagem projectada no quadro interactivo com o seu ambiente de trabalho. No entanto, há a desvantagem de existirem pontos mortos na superfície do quadro no local onde os sensores são colocados. Consequentemente, a localização do ambiente de trabalho relativa ao local desses mesmos pontos mortos fica então inacessível através do quadro.

2.6 Algumas Marcas, Modelos e Preços praticados

Actualmente, existem variadíssimos fabricantes de quadros interactivos, que oferecem produtos de tecnologias e preços muito variados. Serve esta secção para dar uma ideia dos preços que podem atingir os quadros interactivos em função do uso que se lhes pretende dar. Alguns dos fabricantes mais conceituados são a *SMART* [5], a *InterWrite* [6], a *Promethan* [7] e a *eBeam* [8]. A seguir são descritos alguns desses equipamentos, por ordem crescente de preço [9].

2.6.1 eBeam Integral 65

O quadro interactivo eBeam Integral 65 (Figura 2.5) apresenta como principais características a projecção frontal, a utilização de tecnologia de infravermelhos e ultra-sons e um baixo custo (Tabela 2.1).



Figura 2.5: eBeam Integral 65

Tabela 2.1: Especificações do eBeam Integral 65

Tecnologia	Infravermelhos e ultra-sons
Tipo de Projecção	Frontal
Tamanho do ecrã (diagonal)	195.5 cm
Garantia	1 ano
Preço	790€

2.6.2 InterWrite 1071

O quadro interactivo InterWrite 1071 (Figura 2.6) apresenta como principais características a projecção frontal, a utilização de tecnologia electromagnética e um custo moderado (Tabela 2.2).

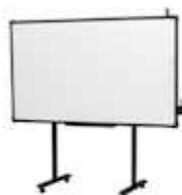


Figura 2.6: InterWrite 1071

Tabela 2.2: Especificações InterWrite 1071

Tecnologia	Electromagnética
Tipo de Projecção	Frontal
Tamanho do ecrã (diagonal)	180.3 cm
Garantia	3 anos
Preço	1142€

2.6.3 Promethan Activboard 95 studio

O quadro interactivo Promethan Activboard 95 studio (Figura 2.7) apresenta como principais características a projecção frontal, a utilização de tecnologia electromagnética e um custo relativamente elevado (Tabela 2.3).



Figura 2.7: Promethan Activboard 95 studio

Tabela 2.3: Especificações Promethan Activboard 95 studio

Tecnologia	Electromagnética
Tipo de Projecção	Frontal
Tamanho do ecrã (diagonal)	241.3 cm
Garantia	3 anos
Preço	1890€

2.6.4 SMARTBoard ESP680-N

O quadro interactivo SMARTBoard ESP680-N (Figura 2.8) apresenta como principais características a projecção frontal, a utilização de tecnologia resistiva e um custo elevado (Tabela 2.4), sendo no entanto de realçar que tem o projector integrado.



Figura 2.8: SMARTBoard ESP680-N

Tabela 2.4: Especificações SMARTBoard ESP680-N

Tecnologia	Resistiva
Tipo de Projecção	Frontal
Tamanho do ecrã (diagonal)	195.6 cm
Garantia	3 anos
Preço	3390€

2.6.5 SMARTBoard 2000i

O quadro interactivo SMARTBoard 2000i (Figura 2.9) apresenta como principais características a projecção traseira, a utilização de tecnologia resistiva e um

custo muito elevado (Tabela 2.5), característica própria do tipo de projecção, visto ter o projector integrado.



Figura 2.9: SMARTBoard 2000i

Tabela 2.5: Especificações SMARTBoard 2000i

Tecnologia	Resistiva
Tipo de Projecção	Traseira
Tamanho do ecrã (diagonal)	167.6 cm
Garantia	1 ano
Preço	7090€

2.7 Conclusões

Como se pode verificar, existe um grande leque de possibilidades para a aquisição de um quadro interactivo, diferenciando-se uns dos outros pelas tecnologias usadas, tipos de projecção e, obviamente, os preços. Contudo, mesmo os quadros interactivos mais baratos do mercado, como os *eBeam*, que se baseiam em tecnologias à partida mais baratas, como os infravermelhos, apresentam sempre preços mínimos de cerca de 800 euros, isto para versões que usam USB, ou seja, com ligações por fios, sendo que a opção sem fios, que usa a tecnologia *Bluetooth*, apresenta ainda um custo acrescido e é tida como opcional.

Um aspecto importante nos quadros interactivos são as suas funcionalidades, ou seja, o software que os acompanha aquando a sua aquisição, e isto sem qualquer tipo de custo adicional. Essas funcionalidades podem passar por terem editores de texto próprios, teclado virtual próprio, software de conversão de escrita para formato digital, entre outras.

Tabela 2.6: Comparação das funcionalidades de cinco quadros interactivos

Modelo	Sem fios	Tirar apontamentos	Reconhecimento de escrita	Projeção	Projector Incluído	Preço
eBeam Integral 65	Não	Sim	Não	Frontal	Não	790€
InterWrite 1071	Sim	Sim	Sim	Frontal	Não	1142€
Promethan Activboard 95 studio	Sim	Sim	Sim	Frontal	Não	1890€
SMARTBoard ESP680-N	Sim	Sim	Sim	Frontal	Sim	3390€
SMARTBoard 2000i	Sim	Sim	Sim	Traseira	Sim	7090€

Um factor também a ter em conta é o facto de a maioria dos quadros interactivos de projecção traseira já terem o projector integrado, o que não acontece geralmente nos de projecção frontal, sendo que no caso destes últimos representará sempre uma despesa que se tornará inevitável e que tem de ser tida em conta logo à partida. Em jeito de conclusão, na Tabela 2.6, são comparadas as cinco soluções de quadros interactivos apresentadas anteriormente, do ponto de vista das suas funcionalidades.

Capítulo 3

3. O comando Wii Remote

3.1 Introdução

A Wii Remote, ilustrada na Figura 3.1, informalmente conhecida como Wiimote, é o comando da consola Wii da Nintendo. Trata-se de um dispositivo sem fios, que usa a tecnologia *Bluetooth* para comunicar com a Wii. A Wiimote usa o protocolo padrão *Human Interface Device (HID) Bluetooth* para comunicar com o *host*, que é directamente baseado no HID USB padrão. Como tal, o dispositivo aparecerá como uma entrada padrão para qualquer *host Bluetooth*. No entanto, a Wiimote não usa as tramas de dados padrão, somente indica o tamanho das suas tramas, sem fazer referência ao seu conteúdo, o que a torna inutilizável com os *drivers* HID padrão, no entanto já existem alguns *drivers* feitos especialmente para a Wiimote. Concluindo, a Wiimote usa um conjunto complexo de operações, recebe através do HID pedidos do *host*, sob a forma de relatório de saída, e retorna um número específico de pacotes de dados, sob a forma de relatório de entrada, em função do que foi requisitado, sendo que os pacotes contêm informação sobre o estado da Wiimote e dos seus periféricos.



Figura 3.1: Wiimote, comando da Wii

A decodificação do protocolo da Wiimote exige muita engenharia inversa [10] e não está ainda completa, pelo que ainda não é possível controlar completamente todos os seus componentes. A comunicação *Bluetooth*, a leitura dos botões, dos dados do acelerómetro, do nível da bateria, de um eventual equipamento externo conectado e respectivos componentes, assim como o controlo dos leds já não têm segredos para o utilizador em geral. A leitura do sensor de infravermelhos já está completamente decodificada, mas as opções de sensibilidade ainda não estão completamente exploradas, assim como o misterioso mecanismo que desencadeia na Wii o pressionar do botão de ligar / desligar a consola. O único componente da Wiimote que ainda não se consegue controlar com resultados satisfatórios é o *speaker*.

3.2 Ligação ao computador

A ligação da Wiimote ao computador faz-se premindo simultaneamente os botões 1 e 2, sendo que o comando fica disponível enquanto aparelho comunicando por *Bluetooth* durante 20 segundos, durante os quais podemos conectá-la ao computador. Se nenhuma ligação for estabelecida durante esse período a Wiimote volta a desligar-se.

Obviamente, do lado do computador, temos de ter um dispositivo *Bluetooth*, sendo que nem todos os *drivers* funcionam. Os *drivers* mais usados para a ligação da Wiimote a um computador são os *BlueSoleil*. A Figura 3.2 apresenta o *BlueSoleil* com uma Wiimote conectada.

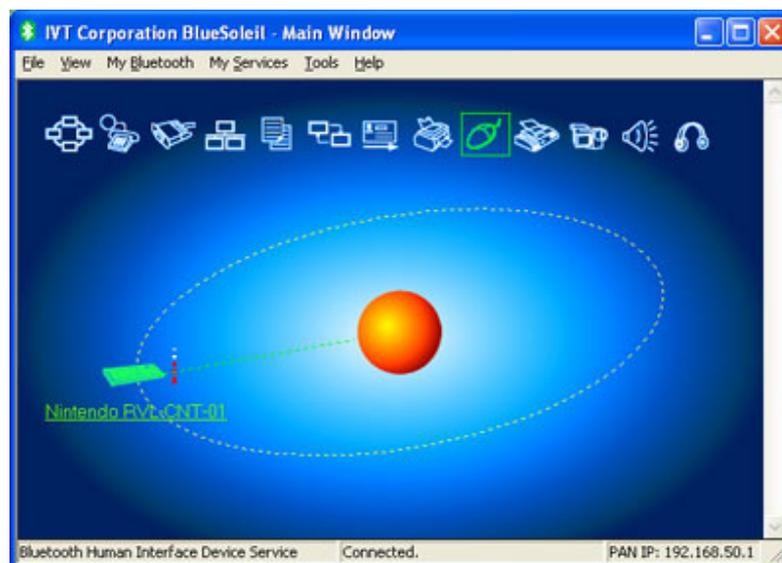


Figura 3.2: BlueSoleil com Wiimote conectada


```
(52) 17 MM FF FF FF SS SS
```

Figura 3.5: Trama de pedido de leitura de dados da EEPROM da Wiimote

Os bytes FF contêm o endereço de memória que se pretende ler e os bytes SS contêm a quantidade de bytes a ler. O bit 2 de MM atribui significados diferentes ao endereçamento. Por esse bit a 0 corresponde a ler na memória EEPROM, enquanto pô-lo a 1 corresponde a ler os registos de controlo. Os dados resultantes da leitura são devolvidos num relatório de entrada com a identificação 0x21, cuja estrutura está representada na Figura 3.6.

```
(a1) 21 BB BB SE FF FF DD DD
```

Figura 3.6: Trama resultante da leitura de dados da EEPROM da Wiimote

Novamente, os bytes BB contêm o estado actual dos botões da Wiimote. Durante a leitura de dados da EEPROM, o relatório habitual que a Wiimote envia periodicamente fica desactivo. Os bytes FF contêm o endereço do último byte de dados que foi lido e enviado na trama. O byte E de SE contém uma flag de erro, pelo que se E for 0 não ocorreu qualquer erro, se E for 7 significa que tentamos ler um registo que somente está disponível para escrita, se E for 8 significa que não existe memória no endereço indicado, sendo que estes são os valores de detecção de erros até hoje conhecidos. O S de SE contém o número de bytes menos um que consta do pacote de dados. Comummente o tamanho é 0x0f, ou seja, 16 bytes, para todos os pacotes, excepto para o último, caso o número total de bytes pedidos não seja múltiplo de 16. Os DD são bytes de dados. Quando são pedidos mais de 16 bytes, a informação é então recebida em vários pacotes, sendo que o endereço FF FF é incrementado de 16 a cada nova trama de dados.

Para escrever dados na EEPROM, o pedido é mandado para o relatório de saída 0x16. A trama tem a forma representada na Figura 3.7.

```
(52) 16 MM FF FF FF SS DD DD
```

Figura 3.7: Trama de pedido de escrita de dados na EEPROM da Wiimote

A maioria dos bytes tem o mesmo significado que os da trama de recepção de uma leitura, excepto que o tamanho da trama não pode exceder 16 bytes, ou seja, só 16 bytes podem ser escritos na EEPROM de cada vez. No caso de a escrita ser bem sucedida recebemos um relatório de entrada com identificação 0x22.

3.5 Inicialização e Leitura da Câmara IR

A Wiimote contém uma câmara monocromática de 128x96 pixels, com um filtro passa-IR. A câmara contém um processador com capacidade para seguir os movimentos de um a quatro emissores de infravermelhos. No caso de aparecer um quinto emissor, ele será ignorado até ser libertada uma vaga por um dos quatro emissores actualmente detectados. A análise de 8x por subpixel é usada para fornecer uma resolução de 1024x768 para os pontos IR detectados. Com o filtro passa-IR, as fontes infravermelhas com comprimento de onda de 940nm são detectadas com aproximadamente duas vezes a intensidade de fontes infravermelhas com 850nm, mas, no entanto, já não se detectam tão bem quando estão a uma distância curta do sensor. Se o filtro passa-IR for removido, a Wiimote passa a poder seguir o movimento de qualquer objecto luminoso.

3.5.1 Inicialização

A câmara é inicializada pondo a 1 o bit 2 nos relatórios de saída 0x13 e 0x1a. O primeiro relatório põe em funcionamento um relógio de pixels de 24MHz, activando o pino 7 da câmara. O segundo põe o pino 4 a 0, sendo que se trata de um pino de activação activo a 0. Para escrever nos registos da Wiimote é sempre necessário por o bit 2 a 1 no primeiro byte do relatório de saída. É então a seguir descrito o procedimento para activar e configurar devidamente a câmara IR.

1. Activar a câmara IR, relativa ao primeiro e segundo ponto IR, enviando 0x04 para o relatório de saída 0x13;
2. Activar a câmara IR, relativa ao terceiro e quarto ponto IR, enviando 0x04 para o relatório de saída 0x1a;
3. Escrever 0x08 na posição de memória 0xb00030;
4. Escrever o primeiro bloco de configuração da sensibilidade para a posição de memória 0xb00000;
5. Escrever o segundo bloco de configuração da sensibilidade para a posição de memória 0xb0001a;
6. Escrever o modo de funcionamento da câmara para a posição de memória 0xb00033;
7. Escrever novamente 0x08 para a posição de memória 0xb00030.

Após estes passos, a Wiimote fica num de três estados possíveis, sendo eles a câmara estar ligada mas não enviar dados, a câmara estar ligada e enviar dados mas só com a sensibilidade por defeito, que é correspondente a um nível médio de

sensibilidade, ou a câmara estar ligada e enviar os dados correspondentes à sensibilidade escolhida. O estado em que fica após a inicialização é aparentemente aleatório. Consequentemente, podemos ter de repetir o procedimento até ficarmos no estado que pretendemos, na grande maioria dos casos o terceiro mencionado, sendo que o segundo, por vezes, também é aceitável.

A sensibilidade do sensor de infravermelhos é manuseada em dois blocos de configuração, um de 9 bytes e outro de 2 bytes de comprimento. Na Tabela 3.1 são apresentadas algumas configurações conhecidas.

Tabela 3.1: Alguns níveis de sensibilidade da câmara IR da Wiimote

Bloco 1	Bloco 2	Nível de Sensibilidade
02 00 00 71 01 00 64 00 fe	fd 05	Nível 1
02 00 00 71 01 00 96 00 b4	b3 04	Nível 2
02 00 00 71 01 00 aa 00 64	63 03	Nível 3
02 00 00 71 01 00 c8 00 36	35 03	Nível 4
07 00 00 71 01 00 72 00 20	1f 03	Nível 5
00 00 00 00 00 00 90 00 41	40 00	Nível Máximo

O último byte de cada bloco determina a intensidade da sensibilidade, sendo que quanto mais se aumenta o seu valor, mais se reduz a sensibilidade. A Wiimote retornará dados para um ponto IR de intensidade a mais fraca possível quando o último byte do primeiro bloco for 0x41 e o segundo byte do segundo bloco for 0x00. Deve-se aumentar a sensibilidade o máximo possível, mas sempre em função da existência de eventuais fontes luminosas presentes no meio em que a Wiimote opera e que pode causar resultados indesejados, sendo que quanto maior for a sensibilidade com que se conseguir operar, maior será a resolução. Seguindo a mesma linha de raciocínio, com o reduzir da sensibilidade, perde-se resolução, sendo que quanto mais se reduzir, mais nos aproximamos da resolução real do sensor que é 128x96.

3.5.2 Leitura dos dados

A câmara IR pode retornar tramas de dados relativos aos objectos detectados em formatos diferentes. Quando a câmara IR identifica um objecto, ela atribui-o à primeira variável disponível. Se um objecto sair do campo de visão, a sua variável é então libertada, retornando o valor de 0xff quando lida, mas no caso de haver outros objectos, esses mantêm as suas posições nas variáveis.

O tipo de relatório enviado pela câmara é seleccionado de um de três, sendo eles o básico ($X+Y$), o extenso ($X+Y+\text{Tamanho}$) e o completo ($X+Y+\text{Tamanho}+X_{\min}+X_{\max}+Y_{\min}+Y_{\max}+\text{Intensidade}$). O modo de relatórios que anteriormente se seleccionou para a Wiimote tem de corresponder exactamente ao número de bytes necessários para o modo de leitura da câmara escolhido, senão a leitura não vai ser bem sucedida. Tendo em conta as características do projecto, o modo escolhido pode ser o extenso ou o completo, sendo que o extenso permite-nos uma frequência de leitura duas vezes superior à do modo completo pelo que vão ser de seguida descritos os dois modos.

No modo extenso, a câmara IR retorna 12 bytes com 3 bytes de informação para cada eventual ponto visível, sendo então que o modo de relatório escolhido tem de ser o 0x33. Para cada ponto, os valores de X e Y vêm em 10 bits, sendo que X pode variar entre 0 e 1023 enquanto o Y pode variar entre 0 e 767. O tamanho do ponto infravermelho pode variar entre 0 e 15. A Figura 3.8 mostra como decifrar os valores X, Y e tamanho em função dos 3 bytes recebidos para cada ponto.

	Bit							
Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
0	$X\langle 7:0 \rangle$							
1	$Y\langle 7:0 \rangle$							
2	$Y\langle 9:8 \rangle$		$X\langle 9:8 \rangle$			$S\langle 3:0 \rangle$		

Figura 3.8: Codificação dos dados da câmara IR para o modo Extenso

No modo completo, a câmara IR retorna o máximo de dados, sendo que envia 9 bytes por cada ponto, num total de 36 bytes para os quatro pontos. Os dados são inseridos em dois relatórios de 18 bytes cada, sendo que o modo de relatório escolhido tem de ser o 0x3e ou 0x3f, sendo que ambos são equivalentes. Os primeiros 3 bytes do relatório de cada objecto enviam as coordenadas X e Y e o tamanho do ponto, de maneira semelhante ao modo extenso. Os 4 bytes seguintes dão-nos os valores X_{\min} , X_{\max} , Y_{\min} e Y_{\max} , que nos dão os valores máximos e mínimos que o X e o Y podem mesmo assumir na realidade naquele momento. O último byte indica-nos a intensidade luminosa do ponto infra-vermelho, numa escala de 0 a 255. A Figura 3.9 demonstra como obter os valores referentes aos pontos IR a partir dos 9 bytes recebidos para cada um.

	Bit							
Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
0	$X\langle 7:0 \rangle$							
1	$Y\langle 7:0 \rangle$							
2	$Y\langle 9:8 \rangle$		$X\langle 9:8 \rangle$			$S\langle 3:0 \rangle$		
3	0	$X\text{ min}\langle 6:0 \rangle$						
4	0	$Y\text{ min}\langle 6:0 \rangle$						
5	0	$X\text{ max}\langle 6:0 \rangle$						
6	0	$Y\text{ max}\langle 6:0 \rangle$						
7	0							
8	$\text{Intensity}\langle 7:0 \rangle$							

Figura 3.9: Codificação dos dados da câmara IR para o modo Completo

3.6 Ângulos de visão do sensor de infravermelhos

De modo a apurar os ângulos de visão do sensor IR da Wiimote, realizou-se um pequeno teste no qual se registou a distância entre os pontos visíveis nas extremidades do eixo horizontal e vertical, como ilustrado na Figura 3.10, isto para distâncias dos mesmos de 1, 2 e 3 metros em relação à Wiimote. Para cada distância efectuaram-se duas leituras, cujos valores são apresentados na Tabela 3.2.

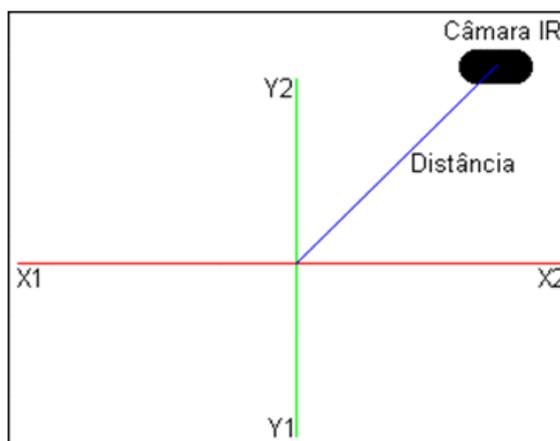


Figura 3.10: Teste realizado para o apuramento dos ângulos de visão

Tabela 3.2: Valores obtidos para os pontos visíveis nas extremidades

Distância (m)	X1 (cm)	X2 (cm)	Y1 (cm)	Y2 (cm)
1	37.1	35.3	25.5	26.7
1	37.3	35.2	25.7	27.0
2	79.7	69.2	54.5	55.0
2	78.4	68.5	54.6	55.4
3	110.8	106.7	88.2	72.3
3	110.8	107.3	88.2	73.4

De modo a transformar os valores obtidos em ângulos de visão, em graus, aplicaram-se as seguintes fórmulas:

$$\alpha_h = \sin^{-1} \frac{X_1}{D} + \sin^{-1} \frac{X_2}{D} \quad (3.1)$$

$$\alpha_v = \sin^{-1} \frac{Y_1}{D} + \sin^{-1} \frac{Y_2}{D} \quad (3.2)$$

Os valores obtidos após a aplicação das fórmulas referidas constam da Tabela 3.3, assim como a média do valor do ângulo de visão horizontal e vertical apurado.

Tabela 3.3: Valores obtidos para o ângulo de visão horizontal e vertical

Distância	α_h	α_v
1	42.5°	30.3°
1	42.5°	30.6°
2	43.7°	31.8°
2	43.1°	31.9°
3	42.5°	31.0°
3	42.6°	31.3°
Média	42.8°	31.2°

Conclui-se então que o ângulo de visão horizontal do sensor IR da Wiimote é de aproximadamente 42.8° e que o ângulo vertical anda à volta de 31.2°.

3.7 Frequência de recepção de relatórios

De modo a apurar-se a frequência de recepção de relatórios enviados pela Wiimote, mediu-se o número de relatórios recebidos por segundo, durante 20 segundos

consecutivos, nos dois modos de recepção dos dados do sensor de infravermelhos que nos podem interessar. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 3.4, assim como o valor médio dos mesmos.

Tabela 3.4: Número de relatórios recebidos por segundo

Leitura	Modo Extenso	Modo Completo
1	98	94
2	98	96
3	95	98
4	98	97
5	99	97
6	98	94
7	96	98
8	98	96
9	96	98
10	97	98
11	99	98
12	97	97
13	96	98
14	96	98
15	98	96
16	98	96
17	95	97
18	94	99
19	98	96
20	97	96
Média	97.05	96.85

Conclui-se então que a frequência de envio de relatórios da Wiimote é de aproximadamente 97 relatórios por segundo, em média, sendo que o modo da leitura dos infravermelhos escolhido não incide significativamente nesse valor.

3.8 Suporte adaptável construído

De modo a tornar o posicionamento da Wiimote o mais flexível possível aquando a sua utilização no quadro interactivo, procedeu-se ao desenvolvimento de um suporte modular para Wiimote.

O suporte é constituído por uma base, na qual encaixa uma barra de altura configurável, entre 1 e 2m, na qual por sua vez encaixa o suporte que prende a Wiimote. Em alternativa, o suporte da Wiimote pode ser directamente encaixado na base, no caso de esta última ser pousada numa mesa ou num móvel similar. As duas configurações do suporte desenvolvido são apresentadas na Figura 3.11.



Figura 3.11: Suporte para Wiimote

3.9 Sumário

Neste capítulo foi apresentada alguma informação relativamente à Wii Remote, comando da Nintendo Wii, vulgarmente apelidado de Wiimote. Este componente vai assumir o maior protagonismo existente no sistema de quadro interactivo de baixo custo que se pretende criar. Como ficou perceptível, o facto de o comando ter integrada uma câmara de infravermelhos e de comunicar por *Bluetooth* faz dele um dispositivo muito flexível e extremamente útil. Juntamente com um dispositivo de controlo baseado em infravermelhos e um computador que suporte comunicação por *Bluetooth*, pode formar um triângulo de partilha de informação que resulte na implementação de um sistema de quadro interactivo com bom desempenho. A câmara de infravermelhos envia informação suficientemente detalhada sobre qualquer um dos quatro pontos de infravermelhos eventualmente visíveis, sendo a informação mais relevante relativa às coordenadas X e Y dos mesmos em relação ao plano do sensor. O teste de apuramento da frequência de recepção de relatórios apontou para um valor próximo de 100Hz, ou seja, cerca de 100 relatórios por segundo, o que nos permite praticamente garantir uma actualização do estado do quadro interactivo a cada 10ms. O apuramento dos ângulos de visão da Wiimote apontou para um ângulo de visão horizontal de cerca de 42.8° e para um ângulo de visão vertical de aproximadamente 31.2° . Esses dados também nos permitem tirar algumas conclusões sobre o melhor posicionamento, *a priori*, a dar a Wiimote em relação ao quadro interactivo. Assumindo que o sensor de infravermelhos está posicionado paralelamente à superfície de controlo e que os seus pontos centrais são intersectados por uma recta perpendicular a ambos os planos, como na Figura 3.12, pode-se calcular a distância ideal do posicionamento da Wiimote em relação à superfície interactiva, isto em função da altura e comprimento da mesma.

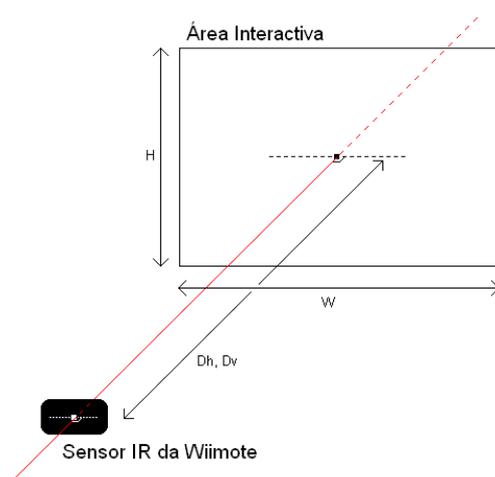


Figura 3.12: Posicionamento ideal do sensor em relação à área interactiva

Sabendo então o comprimento W e a altura H da área interactiva, podemos calcular a distância D ideal para o maior aproveitamento possível da resolução da câmara de infravermelhos da Wiimote. As fórmulas (3.3) e (3.4) indicam-nos então como calcular a distância ideal em função do ângulo horizontal e vertical, respectivamente, sendo que a distância D da Wiimote à área interactiva terá de ser a maior das duas distâncias calculadas, D_h e D_v .

$$D_h = \frac{W}{2 \times \tan 42.8^\circ} \quad (3.3)$$

$$D_v = \frac{H}{2 \times \tan 31.2^\circ} \quad (3.4)$$

A Wiimote revela-se assim como um dispositivo de excelente relação qualidade / preço, sendo que o seu custo unitário ronda os 40€.

Capítulo 4

4. Dispositivo de controlo do Quadro Interactivo

4.1 Introdução

Um aspecto fundamental do bom funcionamento do quadro interactivo é uma boa definição das características necessárias do dispositivo de controlo, que irá permitir a interacção do utilizador com o quadro.

Numa primeira fase, pretende-se que o dispositivo de controlo seja maneável, eficiente e que tenha um mínimo de estética. O dispositivo terá dois botões de pressão, o direito e o esquerdo, de modo a controlar os eventos implementados próprios aos botões homólogos do rato. O dispositivo terá um interruptor para ligar e desligar a alimentação e outro para seleccionar o modo de calibração ou o modo de funcionamento contínuo.

O controlo do quadro interactivo incidirá em um de dois leds infravermelhos colocados na parte da frente cuja orientação poderá ser configurável em função do posicionamento da(s) Wiimote(s), sendo que no caso de se usar uma única Wiimote um dos leds será ocultado, havendo também a possibilidade de os juntar de modo a formarem um único ponto infravermelho com maior intensidade luminosa. Um led verde terá um comportamento idêntico aos leds infravermelhos para facultar algum *feedback* do estado dos mesmos ao utilizador, visível a olho nu.

O controlo do circuito poderá ser feito por um microcontrolador, de modo a ler as entradas e em função das mesmas controlar as saídas. A alimentação ficará a cargo de três pilhas AA, sendo que à partida se escolheu o suporte de quatro pilhas AA ilustrado na Figura 4.1.



Figura 4.1: Suporte de quatro pilhas AA

Propõe-se então construir o dispositivo de controlo com base no suporte, sendo que a parte electrónica será colocada numa placa de circuito impresso que irá substituir a quarta pilha.

De modo a também ter algum *feedback* da tensão de alimentação propõe-se colocar três leds, um verde, um amarelo e um vermelho, de modo a indicar o nível de tensão das pilhas aquando a pressão de um botão colocado para esse efeito, sendo que quando somente o led vermelho ligar, aconselha-se a troca das mesmas.

4.2 Escolha dos emissores de infravermelhos

De modo a otimizar a distância a que a Wiimote pode estar da área interactiva, tem de se ter algum cuidado no que á escolha dos leds diz respeito. Surgem algumas dúvidas quanto à intensidade luminosa mínima necessária para o bom funcionamento da aplicação e quanto ao ângulo de propagação mais adequado. Numa fase secundária também se privilegia o preço do componente e a própria estética do led. No que ao comprimento de onda diz respeito, sabe-se à partida que os leds de 940nm são detectados com aproximadamente duas vezes a intensidade dos leds de 850nm, sendo que estes últimos são mais eficientes para distâncias muito curtas. Sendo que o sistema não está a ser dimensionado para funcionar com a Wiimote a menos de 1m da zona interactiva, vão se procurar leds com comprimento de onda a rondar os 940nm. Após algumas pesquisas sobre leds infravermelhos com esse comprimento de onda, escolheram-se dois leds com características bastantes diferentes de modo a poder verificar o impacto dessas características na sua detecção por parte da Wiimote. De seguida são brevemente apresentados os dois leds em causa.

1. HIRL5020: Emissor de alto brilho e ângulo de propagação pequeno



Figura 4.2: Led IR de alto brilho (HIRL5020)

O HIRL5020, ilustrado na Figura 4.2, é um emissor infravermelho de alto brilho e de ângulo de propagação pequeno. As suas características mais relevantes são apresentadas na Tabela 4.1 [11].

Tabela 4.1: Características do emissor HIRL5020

Ângulo de Propagação	$\pm 17^\circ$
Intensidade de Radiação	60mW/sr
Comprimento de Onda	940nm
Largura de Banda do Espectro	50nm
Diâmetro do led	5mm
Queda de Tensão em funcionamento	1.45V
Corrente consumida em funcionamento	100mA
Potência Dissipada	170mW
Preço Unitário	0,40€

2. SFH4200: Emissor de ângulo de propagação grande e de pouco brilho



Figura 4.3: Led IR de grande ângulo de propagação (SFH4200)

O SFH4200, apresentado na Figura 4.3, é um emissor de infravermelhos de pouco brilho mas que apresenta um grande ângulo de propagação. As suas principais características constam da Tabela 4.2 [12].

Tabela 4.2: Características do emissor SFH4200

Ângulo de Propagação	$\pm 60^\circ$
Intensidade de Radiação	10,5mW/sr
Comprimento de Onda	950nm
Largura de Banda do Espectro	40nm
Diâmetro do led	3mm
Queda de Tensão em funcionamento	1.5V
Corrente consumida em funcionamento	100mA
Potência Dissipada	180mW
Preço Unitário	0,47€

Como se pode verificar, têm características eléctricas muito parecidas, em termos de potência dissipada, corrente consumida e queda de tensão. Em termos de preço, e sendo que o dispositivo de controlo terá somente dois leds implementados, não há uma diferença significativa, levando a que também não seja esse o critério de escolha mais preponderante. Sobram então as características que realmente diferenciam os dois leds, sendo elas o ângulo de propagação e a intensidade de radiação. Colocando a Wiimote a uma distância de três metros, orientando os leds no sentido da câmara de infravermelhos, alimentando-os com uma tensão de 4.5V e fornecendo-lhes uma corrente de aproximadamente 80mA, em termos práticos, ambos os leds são bem visíveis na aplicação, o que leva a concluir que a baixa intensidade de radiação do SFH4200 é suficiente para o uso que se lhe pretende dar. No que à diferença de ângulos de propagação diz respeito, não se notaram grandes diferenças, pois efectuando um manuseamento dos leds idêntico, ambos deixam de ser visíveis aproximadamente com o mesmo ângulo de posicionamento em relação à câmara de infravermelhos, sendo esse ângulo de aproximadamente 90° . Por todas estas considerações, conclui-se que afinal estes leds são relativamente equivalentes do ponto de vista da aplicação e que, tendo em conta que se podem usar duas Wiimotes, provavelmente em lados opostos do quadro, o dispositivo de controlo terá os dois emissores de infravermelhos cujo posicionamento flexível fará com que não sejam simultaneamente visíveis para a mesma Wiimote, mas sim complementares, ou seja, quando um deixa de ser visível passa a ser visível o segundo led. A decisão acaba por ter então em conta o preço e a facilidade em manusear o led, sem esquecer alguma robustez necessária, pelo que a escolha recai no HIRL5020.

4.3 Escolha do gerador de sinais de controlo

O dispositivo de controlo terá de ter a capacidade de enviar para a Wiimote informação correspondente aos eventos accionados pelo utilizador relativos ao clique do botão esquerdo e botão direito do rato. Numa primeira fase o objectivo proposto é o de conseguir esse feito com o uso de um único led. Para tal, os diferentes sinais terão de ser enviados sob a forma de uma trama binária, a uma frequência que seja legível para a Wiimote e, por outro lado, que não torne muito lenta a reacção da aplicação. Passa-se então a uma fase de pesquisa de um componente que cumpra alguns requisitos mínimos. O componente terá de permitir uma modelação PWM (*Pulse-Width Modulation*) com *duty cycle* regulável e controlar a frequência do sinal. Outra característica será a de ter duas entradas, sendo elas relativas ao botão esquerdo e direito do rato, e uma saída para o controlo do estado do emissor de infravermelhos. O componente deverá apresentar a possibilidade de ser alimentado com uma tensão que ronde os 3V e, por motivos de tamanho, não deverá ter mais de 8 pinos. Para tal tarefa, foram analisados três componentes distintos, sendo eles o NE555, a PIC12F509 e o AtTiny85V.

- **NE555**

O NE555 é um *timer* de 8 pinos que nos permite gerar um sinal PWM e controlar o *duty cycle* e a frequência do mesmo através de algum hardware externo. Na Figura 4.4 são apresentadas as suas principais características [13].

Features

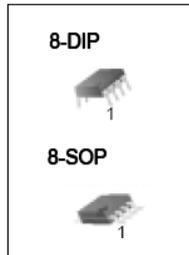
- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From μSec to Hours
- Turn off Time Less Than $2\mu\text{Sec}$

Applications

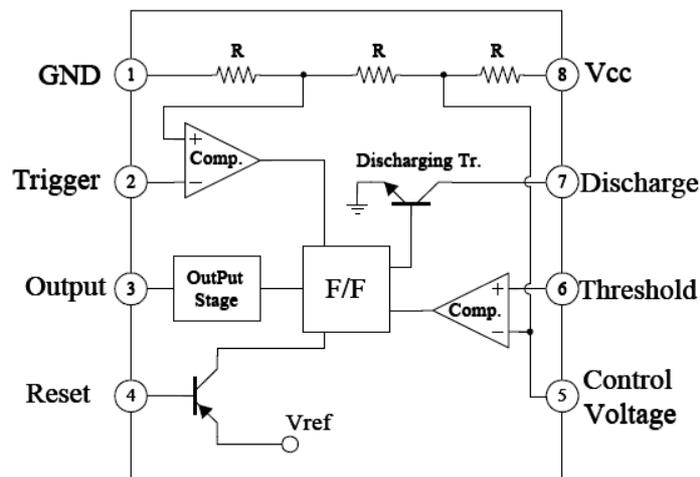
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With a monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With an astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled by two external resistors and one capacitor.



Internal Block Diagram



Electrical Characteristics

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5 \sim 15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	-	4.5	-	16	V

Figura 4.4: NE555 e características relevantes

O componente pode conduzir correntes até 200mA e admite ser alimentado com tensões entre os 4.5 e os 16V.

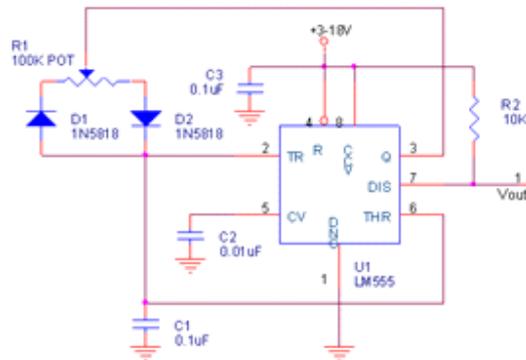


Figura 4.5: Esquema das ligações para o controlo do NE555

O *duty cycle* é controlado pelo valor da resistência R1 e a frequência é calculada através da fórmula seguinte:

$$f = \frac{1.44}{R_1 \times C_1} \quad (4.1)$$

Um destes integrados custa cerca de 0.23€ [14].

- **PIC12F509**

A PIC12F509 é um microcontrolador de 8 pinos da *Microchip*. Na Figura 4.6 são apresentadas as características mais relevantes do seu *datasheet* [15].

Como se pode ver na figura referida, que é apresentada na página seguinte, esta PIC pode ser alimentada com tensões entre os 2 e os 5.5V. Tem também um *timer* de 8 bits e uma frequência de relógio de 4MHz. As correntes máximas de entrada e saída por pino são iguais, sendo elas de 25mA. O preço unitário deste componente é de 1,25€ [16].

High-Performance RISC CPU:

- Only 33 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- 12-bit wide instructions
- 2-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes for data and instructions
- 8-bit wide data path
- 8 Special Function Hardware registers
- Operating speed:
 - DC – 20 MHz clock input (PIC16F505 only)
 - DC – 200 ns instruction cycle (PIC16F505 only)
 - DC – 4 MHz clock input
 - DC – 1000 ns instruction cycle

Special Microcontroller Features:

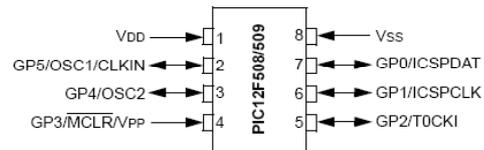
- 4 MHz precision internal oscillator:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- In-Circuit Debugging (ICD) support
- Power-on Reset (POR)
- Device Reset Timer (DRT)
- Watchdog Timer (WDT) with dedicated on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Multiplexed $\overline{\text{MCLR}}$ input pin
- Internal weak pull-ups on I/O pins
- Power-saving Sleep mode
- Wake-up from Sleep on pin change
- Selectable oscillator options:
 - INTRC: 4 MHz precision internal oscillator
 - EXTRC: External low-cost RC oscillator
 - XT: Standard crystal/resonator
 - HS: High-speed crystal/resonator (PIC16F505 only)

Low-Power Features/CMOS Technology:

- Operating Current:
 - < 350 μA @ 2V, 4 MHz
- Standby Current:
 - 100 nA @ 2V, typical
- Low-power, high-speed Flash technology:
 - 100,000 Flash endurance
 - > 40 year retention
- Fully static design
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- Wide temperature range:
 - Industrial: -40°C to +85°C
 - Extended: -40°C to +125°C

Peripheral Features (PIC12F508/509):

- 6 I/O pins:
 - 5 I/O pins with individual direction control
 - 1 input only pin
 - High current sink/source for direct LED drive
 - Wake-on-change
 - Weak pull-ups
- 8-bit real-time clock/counter (TMR0) with 8-bit programmable prescaler

PDIP, SOIC, MSOP

Device	Program Memory	Data Memory	I/O	Timers 8-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)		
PIC12F509	1024	41	6	1

ELECTRICAL CHARACTERISTICS**Absolute Maximum Ratings**

Ambient temperature under bias	-40°C to +125°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on V_{DD} with respect to V_{SS}	0 to +6.5V
Total power dissipation ⁽¹⁾	800 mW
Max. current out of V_{SS} pin	200 mA
Max. current into V_{DD} pin	150 mA
Max. output current sunk by any I/O pin	25 mA
Max. output current sourced by any I/O pin	25 mA
Max. output current sourced by I/O port	75 mA
Max. output current sunk by I/O port	75 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows: $P_{DIS} = V_{DD} \times \{I_{DD} - \sum I_{OH}\} + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

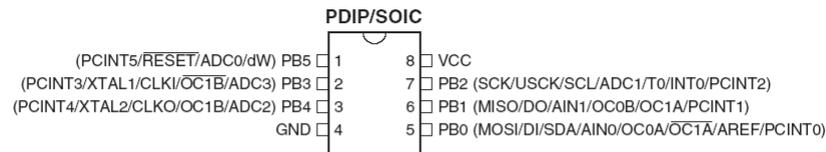
Figura 4.6: PIC12F509 e características relevantes

- **AtTiny85V**

O AtTiny85V é um microcontrolador de 8 pinos da *Atmel*. Na Figura 4.7 são apresentadas as suas características mais relevantes [17].

Features

- High Performance, Low Power AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 120 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
- Non-volatile Program and Data Memories
 - 2/4/8K Byte of In-System Programmable Program Memory Flash (ATtiny25/45/85)
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - 128/256/512 Bytes In-System Programmable EEPROM (ATtiny25/45/85)
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 128/256/512 Bytes Internal SRAM (ATtiny25/45/85)
 - Programming Lock for Self-Programming Flash Program and EEPROM Data Security
- Peripheral Features
 - 8-bit Timer/Counter with Prescaler and Two PWM Channels
 - 8-bit High Speed Timer/Counter with Separate Prescaler
 - 2 High Frequency PWM Outputs with Separate Output Compare Registers
 - Programmable Dead Time Generator
 - USI – Universal Serial Interface with Start Condition Detector
 - 10-bit ADC
 - 4 Single Ended Channels
 - 2 Differential ADC Channel Pairs with Programmable Gain (1x, 20x)
 - Temperature Measurement
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - debugWIRE On-chip Debug System
 - In-System Programmable via SPI Port
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Low Power Idle, ADC Noise Reduction, and Power-down Modes
 - Enhanced Power-on Reset Circuit
 - Programmable Brown-out Detection Circuit
 - Internal Calibrated Oscillator
- I/O and Packages
 - Six Programmable I/O Lines
 - 8-pin PDIP, 8-pin SOIC and 20-pad QFN/MLF
- Operating Voltage
 - 1.8 - 5.5V for ATtiny25/45/85V
 - 2.7 - 5.5V for ATtiny25/45/85
- Speed Grade
 - ATtiny25/45/85V: 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V
 - ATtiny25/45/85: 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Industrial Temperature Range
- Low Power Consumption
 - Active Mode:
 - 1 MHz, 1.8V: 300 μ A
 - Power-down Mode:
 - 0.1 μ A at 1.8V



Electrical Characteristics

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except <u>RESET</u> with respect to Ground	-0.5V to $V_{CC}+0.5V$
Voltage on <u>RESET</u> with respect to Ground	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0 mA
DC Current V_{CC} and GND Pins	200.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Figura 4.7: AtTiny85V e características relevantes

A informação fornecida sobre o AtTiny85V aponta então para uma gama de tensões de alimentação possíveis entre 1.8 e 5.5V. Este microcontrolador tem também dois *timers* e uma frequência de relógio de 8MHz. As correntes máximas de entrada e saída por pino são iguais, sendo elas de 40mA. O preço unitário deste componente é de 1,95€ [18].

Com vista a escolher então a melhor solução para a aplicação, tendo em conta que os componentes vão ser inseridos no dispositivo de controlo, analisaram-se as características dos três componentes descritos. Numa primeira análise, o NE555

destaca-se pela negativa em relação aos dois outros componentes por várias razões. O facto de necessitar de hardware externo, sendo que este tem de ser alterado para mudar o *duty cycle* e a frequência do sinal PWM, aliado à necessidade de ter de ser alimentado com no mínimo 4.5V são grandes desvantagens, sendo que o seu preço relativamente baixo não atenua significativamente esse facto.

A escolha recairá então sobre a PIC ou o AtTiny. Os dois são relativamente parecidos, sendo que a PIC apresenta características um pouco inferiores, o que também se reflecte no seu preço. Ambos se adequam à utilização pretendida, sendo que têm uma grande desvantagem comum: os seus pinos não permitem as correntes necessárias para a alimentação de um emissor de infravermelhos, pelo que essa função terá de ser desempenhada por outro componente, que por sua vez será controlado pelo microcontrolador. Por o AtTiny apresentar características ligeiramente superiores e a diferença entre os preços não ser muito significativa, é sobre este último que recai a escolha para sua implementação no dispositivo de controlo.

4.4 Codificação dos sinais de controlo

De modo a enviar os eventos do rato gerados pelos botões da caneta por um único led, implementou-se um protocolo próprio ao envio desses mesmos dados. O led, em funcionamento contínuo, está, por defeito, constantemente ligado, pelo que o início do envio será dado por um desligar do led. Cada evento será codificado em 8 bits, sendo que cada bit corresponde ao estado do led durante espaços de 30ms. Os eventos implementados e as tramas de codificação respectivas são apresentados de seguida.

1. Botão Esquerdo Pressionado

Este evento é relativo à pressão do botão esquerdo do dispositivo de controlo durante 360ms. A respectiva trama enviada é apresentada na Figura 4.8.

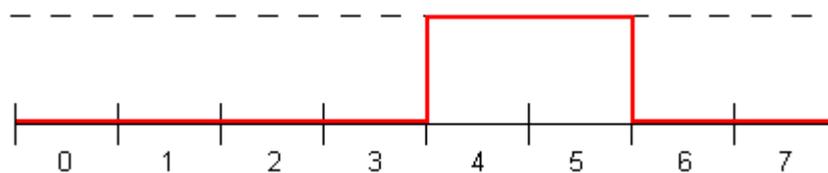


Figura 4.8: Trama do evento Botão Esquerdo Pressionado

2. Botão Esquerdo Largado

Este evento é relativo ao acto de largar o botão esquerdo sendo que ele estava anteriormente pressionado e que o estado do mesmo não é mais alterado nos 360ms seguintes. A respectiva trama enviada é apresentada na Figura 4.9.

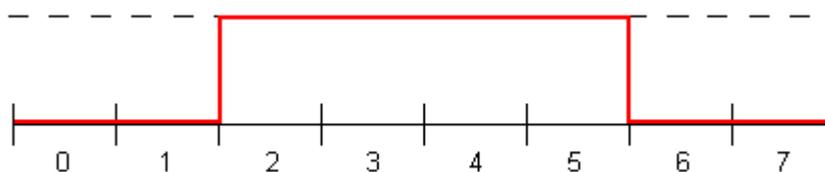


Figura 4.9: Trama do evento Botão Esquerdo Largado

3. Clique do Botão Esquerdo

Este evento é relativo a um clique do botão esquerdo do dispositivo de controlo efectuado no máximo num intervalo de 360ms. A trama enviada para este evento é ilustrada na Figura 4.10.



Figura 4.10: Trama do evento Clique do Botão Esquerdo

4. Duplo Clique do Botão Esquerdo

Este evento é relativo a um duplo clique do botão esquerdo do dispositivo de controlo efectuado no máximo num intervalo de 360ms. A respectiva trama enviada é apresentada na Figura 4.11.

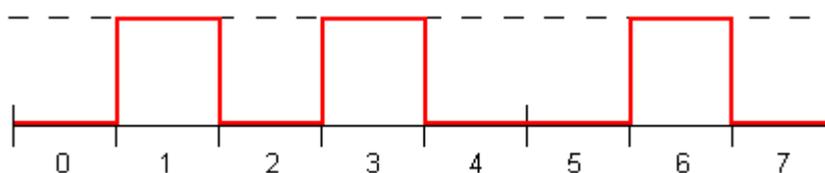


Figura 4.11: Trama do evento Duplo Clique do Botão Esquerdo

5. Clique do Botão Direito

Este evento é relativo a um clique do botão direito do dispositivo de controlo. A trama enviada para este evento é ilustrada na Figura 4.12.

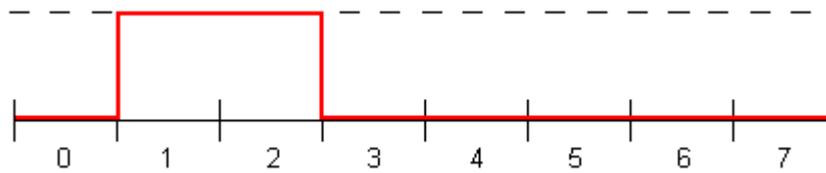


Figura 4.12: Trama do evento Clique do Botão Direito

Como se pode verificar, as tramas são todas bastantes diferentes entre si, o que evita a execução de eventos inadequados por causa de leituras erradas. Por outro lado, o envio de um número significativo de bits num espaço de tempo relativamente curto evita que o ofuscamento do led seja interpretado erradamente como sendo um evento.

4.5 Esquema eléctrico do dispositivo de controlo

A alimentação do dispositivo de controlo é ligada e desligada com um interruptor que fecha e abre o circuito de alimentação da placa de circuito impresso. As entradas do AtTiny85V foram configuradas com o *pull-up* interno activo, de modo a ter os botões activos a zero, sendo que o interruptor para a escolha do modo de operação do dispositivo de controlo funciona de um modo similar aos botões de pressão, sendo activo a zero, correspondendo esse estado ao modo de funcionamento contínuo. O led verde de *feedback* em relação ao estado dos leds de infravermelhos é alimentado por um pino do micro, sendo que o led acende quando o pino assume o nível lógico um. Para a alimentação dos leds infravermelhos, não se podia alimentá-los directamente com um pino do micro, pois a corrente pedida pelos leds supera a corrente máxima de saída admitida por pino. A solução passa então por controlar a alimentação dos leds com um transistor Darlington, sendo que um pino do micro controla a base do transistor e os leds infravermelhos são ligados em série no colector, ligando o emissor à massa. Quando o pino do micro está a nível lógico zero, não passa corrente na base fazendo com que os leds não sejam alimentados. Quando o nível lógico do pino passa a um, a corrente na base é de sensivelmente 5mA, o suficiente para o transistor saturar pois tem um ganho em corrente muito elevado, característica principal dos transistores Darlington. Os leds infravermelhos são então alimentados, sendo que a corrente no colector é definida então pela tensão de alimentação, queda de tensão nos leds e do colector para o emissor, e pela resistência devidamente dimensionada. O esquema dessas ligações é focado na Figura 4.13.

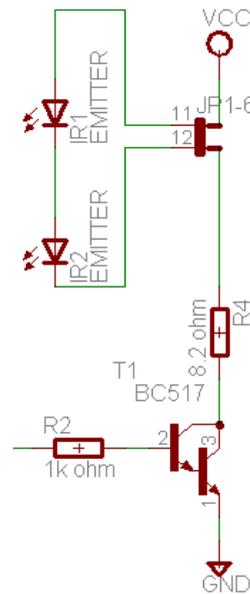


Figura 4.13: Controlo dos leds infravermelhos por um pino do micro

Para a visualização do nível actual da tensão da alimentação, implementou-se uma sequência de diodos e leds de modo a visionar três estados possíveis, como na Figura 4.14, sendo eles o de pilhas boas, pilhas utilizáveis e pilhas gastas. O circuito é alimentado quando um botão de pressão é premido, de modo a diminuir o consumo provocado por esta secção do dispositivo de controlo. Os leds são de cor vermelha, amarela e verde. O led verde deixa de acender para tensões abaixo de 4V e o mesmo sucede com o led amarelo para tensões abaixo dos 3.3V, para as quais só o led vermelho acende, sugerindo então a troca de pilhas.

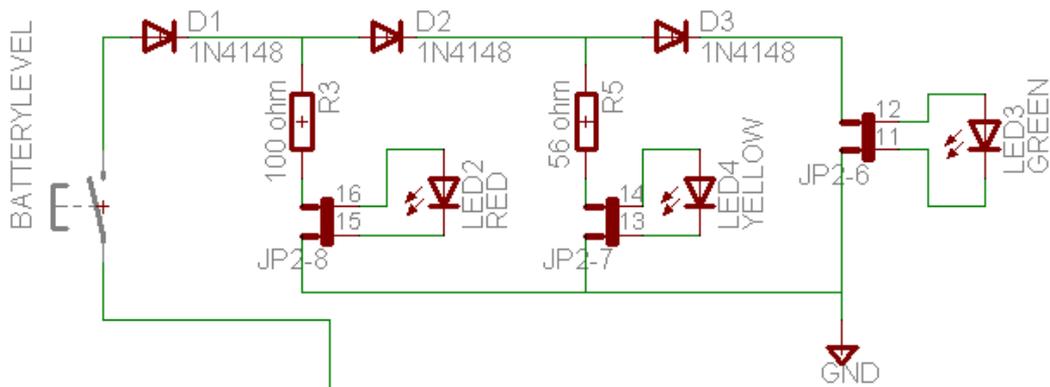


Figura 4.14: Circuito de visualização do estado das pilhas

Por motivos de protecção do microcontrolador, foi também activado o modo de *brownout* interno do mesmo para tensões inferiores a 2.7V. Na Figura 4.15 é apresentado o esquema eléctrico na sua totalidade.

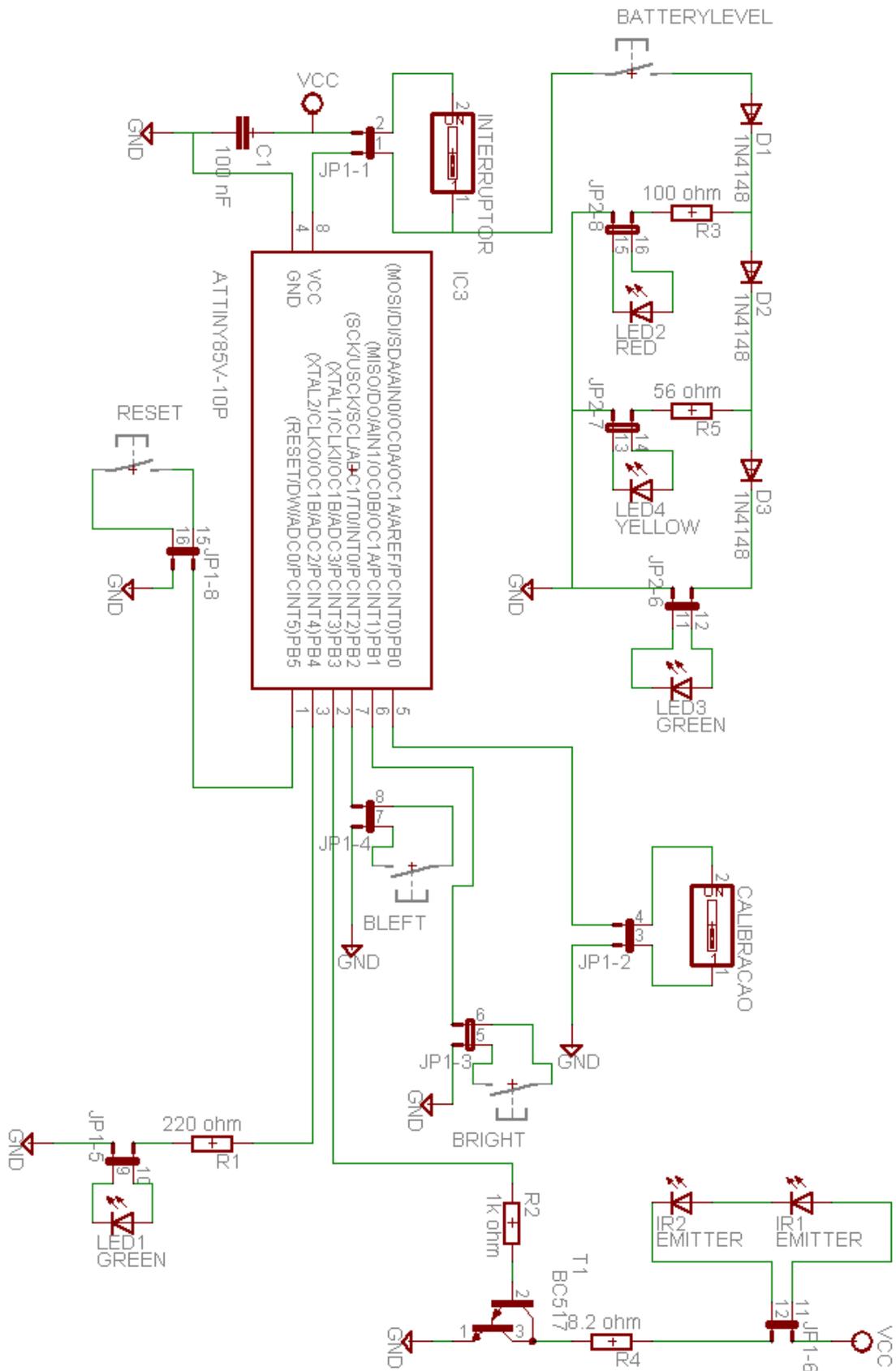


Figura 4.15: Esquema eléctrico do dispositivo de controllo

4.6 Software do microcontrolador

O microcontrolador ao ser programado é configurado para ter uma frequência de relógio de 1 MHz e para entrar em modo de *brownout* para tensões abaixo de 2.7V.

O software do microcontrolador tem de implementar dois modos distintos: o modo de calibração e o modo de funcionamento contínuo. No modo de calibração a única coisa que o microcontrolador faz é ligar os leds infravermelhos e o led verde quando o botão esquerdo é pressionado e desligá-los quando tal deixa de acontecer. No modo contínuo, os leds infravermelhos estão constantemente ligados, assim como o led verde. Sempre que passarem trinta segundos sem qualquer botão de controlo ser pressionado os leds desligam-se automaticamente, voltando a ligar-se quando algum botão é pressionado. Quando o botão esquerdo é pressionado, é inicializado um temporizador de 360ms durante os quais o facto de manter pressionado o botão, largar o botão ou largar e voltar a pressionar o botão é identificado como uma pressão do botão esquerdo, um clique do botão esquerdo ou um duplo clique do botão esquerdo, respectivamente. No caso de o botão estar pressionado e ser largado, não havendo flutuações do seu estado nos 360ms seguintes, é enviada uma trama de largar o botão esquerdo. No que ao botão direito diz respeito, o acto de pressionar e largar o botão envia uma trama de clique de botão direito, independentemente da distância temporal entre os dois actos.

4.7 Implementação do dispositivo de controlo

Como já foi referido, propõe-se colocar toda a parte electrónica interna numa placa de circuito impresso que encaixe no local próprio a uma quarta pilha AA, sendo que com alguns conectores e respectivos fios se concluirá as ligações aos componentes externos, tais como botões de pressão, leds e interruptores, que estarão fixos ao invólucro do dispositivo de controlo.

O esquema da placa de circuito impresso é ilustrado na Figura 4.16. No Anexo 1 é apresentado o mesmo esquema sem o *silk screen* e com dimensões maiores para uma melhor visualização.

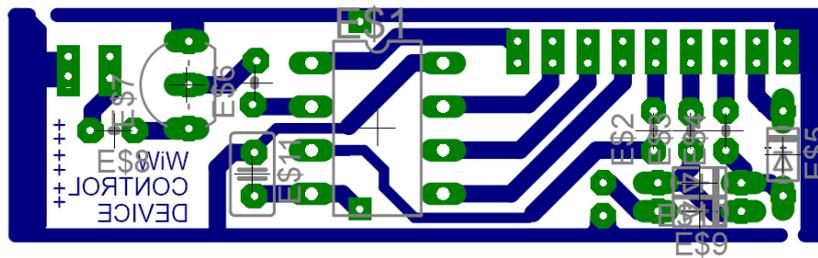


Figura 4.16: Esquema da placa de circuito impresso

O invólucro do dispositivo de controlo foi então construído com chapa em volta do suporte das pilhas, sendo que os dois leds infravermelhos saem dele fixos por dois cabos com arame, de modo a se poder fixar a orientação dos mesmos com os ângulos desejados e com total independência entre eles.

Nas duas figuras seguintes ilustra-se a placa de circuito impresso com o tamanho e os terminais próprios de uma pilha AA.

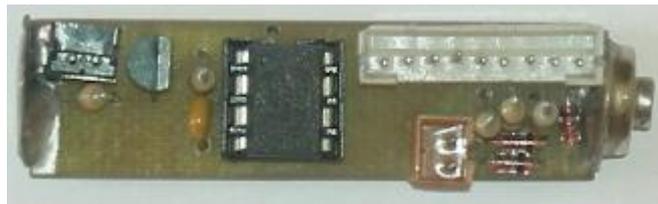


Figura 4.17: Placa de circuito impresso vista de frente



Figura 4.18: Placa de circuito impresso vista de trás

Posto isto, são ligados os conectores que efectuam a ligação entre os circuitos da placa e os terminais dos vários componentes externos que estão fixos ao invólucro, e a placa é inserida no suporte, juntamente com as restantes três pilhas, como ilustra a Figura 4.19.

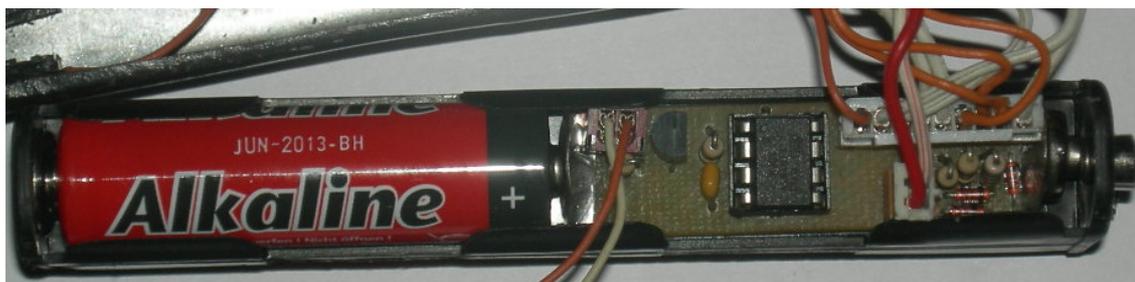


Figura 4.19: Placa de circuito impresso inserida no suporte das pilhas AA

Uma vez o suporte inserido no invólucro, temos então o dispositivo de controlo apto a funcionar, como na Figura 4.20.



Figura 4.20: Invólucro do dispositivo de controlo

Na Figura 4.21 é ilustrado o método de visualização do estado das pilhas, sendo que neste caso as pilhas estão novas, acendendo então os três leds.



Figura 4.21: Verificação do estado das pilhas

4.8 Sumário

Neste capítulo foram descritos os vários passos efectuados para a implementação do dispositivo de controlo do quadro interactivo. Conseguiu-se, acima de tudo, construir um dispositivo de controlo relativamente flexível, com os dois leds infravermelhos cuja orientação pode ser alterada individualmente, possibilitando assim o seu uso com uma ou duas Wiimotes, e sobre qualquer tipo de superfície. Isto porque o funcionamento dos mesmos pode basear-se no reflexo do sinal na superfície interactiva, e, numa situação em que a superfície em causa não seja reflectora, os leds podem então ser orientados directamente para o sensor de infravermelhos da(s) Wiimote(s), continuando o funcionamento do quadro interactivo a ser transparente para o utilizador.

Por outro lado, conseguiu-se implementar os botões esquerdo e direito no dispositivo de controlo, assim como o estabelecimento de um protocolo capaz de transmitir os respectivos eventos para o computador. A alimentação do dispositivo de controlo ficou a cargo de três pilhas AA, sendo que funciona também para os níveis de tensão inferiores que apresentam as pilhas recarregáveis. Neste âmbito de visualização do nível da tensão de alimentação, surgiu a ideia dos três leds indicadores do mesmo, o que constitui um extra agradável e original.

Por fim, optou-se que a placa de circuito impresso fosse ocupar o lugar próprio a uma quarta pilha AA, ficando assim directamente alimentada, o que constitui uma solução por um lado funcional, e, por outro, esteticamente engraçada.

Capítulo 5

5. Projecto e Implementação da Aplicação

5.1 Introdução

Uma vez definidas as características do dispositivo de controlo e, conseqüentemente, o seu modo de interacção com a aplicação a ser implementada, chega-se então à etapa de integração das rotinas de interacção numa única aplicação desenvolvida em Delphi 7.0 [19].

Pretende-se que a aplicação forneça algumas informações sobre o estado das pilhas da(s) Wiimote(s), o número de pontos infravermelhos visíveis, etc. Por outro lado deverá ter um modo de calibração, através do qual será criado o modelo de relação entre os pontos no sensor de infravermelhos e os pontos no ambiente de trabalho do computador no qual a aplicação é executada. A aplicação funcionará de modo transparente quer com uma, quer com duas Wiimotes conectadas ao computador, e uma vez calibrada colocará o cursor na posição definida pelo dispositivo de controlo assim como a geração dos eventos próprios ao rato.

Por fim, de forma a melhorar o desempenho da aplicação em termos de acessibilidade, pretende-se fornecer algum software extra juntamente com a mesma, sendo que isso pode passar por simplesmente chamar as aplicações base do Windows como o *Paint* ou *Notepad*, e implementar na própria aplicação uma espécie de *Notebook*, que permita desenhar e apagar no ambiente de trabalho no qual a aplicação está a ser executada.

5.2 Calibração

De modo a colocar o cursor do rato na posição correcta, é necessário transformar as coordenadas fornecidas pela Wiimote em coordenadas do ambiente de trabalho do computador. A fotogrametria, palavra derivada do grego luz, descrição e medidas, é definida como a ciência aplicada, a técnica e a arte de extrair de fotografias métricas a forma, as dimensões e a posição dos objectos nela contidos. Nesse âmbito, podem ser usadas para essa operação as seguintes fórmulas [20]:

$$x_s = \frac{a_1 \times x + b_1 \times y + c_1}{a_3 \times x + b_3 \times y + 1} \quad (5.1)$$

$$y_s = \frac{a_2 \times x + b_2 \times y + c_2}{a_3 \times x + b_3 \times y + 1} \quad (5.2)$$

Nas fórmulas supracitadas, a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , c_1 e c_2 são as incógnitas. Essas fórmulas podem então servir como modelo para a calibração do quadro interactivo. Para obter os seus valores são necessárias as coordenadas dos quatro pontos de calibração, que são os pontos seleccionados nos quatro vértices da futura área interactiva, como na Figura 5.1.



Figura 5.1: Os quatro pontos de calibração

Com as coordenadas X e Y dos quatro pontos dadas pela Wiimote e sabendo a sua localização X_s e Y_s no ecrã, obtemos então oito equações com oito incógnitas.

$$(x_n, y_n) \leftrightarrow (x_{s_n}, y_{s_n}), n \in [1, 2, 3, 4]$$

Figura 5.2: Relação entre as coordenadas do sensor IR e as do ecrã

$$\begin{bmatrix} x1, & 0, & x1*xs1, & y1, & 0, & y1*xs1, & 1, & 0, & xs1 \\ 0, & x1, & x1*ys1, & 0, & y1, & y1*ys1, & 0, & 1, & ys1 \\ x2, & 0, & x2*xs2, & y2, & 0, & y2*xs2, & 1, & 0, & xs2 \\ 0, & x2, & x2*ys2, & 0, & y2, & y2*ys2, & 0, & 1, & ys2 \\ x3, & 0, & x3*xs3, & y3, & 0, & y3*xs3, & 1, & 0, & xs3 \\ 0, & x3, & x3*ys3, & 0, & y3, & y3*ys3, & 0, & 1, & ys3 \\ x4, & 0, & x4*xs4, & y4, & 0, & y4*xs4, & 1, & 0, & xs4 \\ 0, & x4, & x4*ys4, & 0, & y4, & y4*ys4, & 0, & 1, & ys4 \end{bmatrix}$$

Figura 5.3: Matriz a preencher para calcular o valor das incógnitas

Uma vez a matriz construída com os pontos obtidos na calibração, aplicando-lhe um algoritmo algébrico de modo a obter o seu rref (*reduced row echelon form*) [21], sendo que o código do algoritmo para Delphi consta do Anexo 2, obtemos facilmente o valor das incógnitas acima referidas. A matriz resultante da execução do algoritmo tem a forma apresentada na Figura 5.4, pelo que é fácil obter então os valores das incógnitas a1, a2, a3, b1, b2, b3, c1 e c2.

$$\begin{bmatrix} 1, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & a1 \\ 0, & 1, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & a2 \\ 0, & 0, & 1, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & -a3 \\ 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & 0, & 0, & 0, & b1 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & 0, & 0, & b2 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & 0, & -b3 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & c1 \\ 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 0, & 1, & c2 \end{bmatrix}$$

Figura 5.4: Matriz após a execução do algoritmo rref

Usando então as fórmulas referidas (5.1) e (5.2) é agora fácil estabelecer uma relação entre as coordenadas obtidas pela Wiimote e as coordenadas do ecrã nas quais se deve colocar o cursor do rato. Na aplicação, pode-se entrar no modo de calibração premindo o botão para esse efeito na própria aplicação ou o botão A de uma Wiimote ligada à aplicação. Durante o processo de calibração, o mesmo pode ser abortado premindo o botão *Esc* do teclado ou o botão *Home* da Wiimote.

5.3 Teste à qualidade do método de calibração

De modo a testar a precisão e a exactidão do modelo de calibração do quadro interactivo, imprimiu-se um poster semelhante ao ilustrado na Figura 5.5, sendo a área

de teste de 2m de comprimento por 1m de altura e, conseqüentemente, os lados dos quadrados de 10cm.

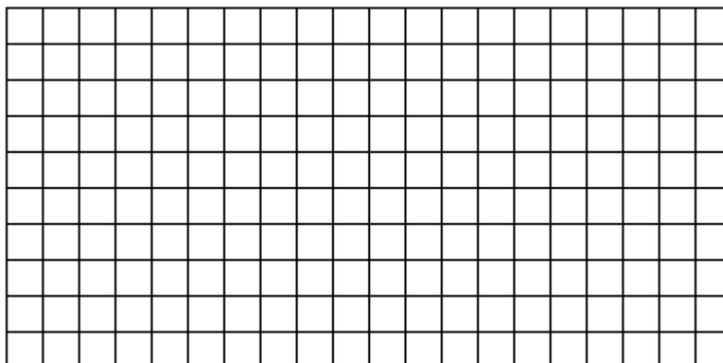


Figura 5.5: Área de teste

A aplicação do quadro interactivo foi então inicializada e executada a calibração com por pontos de referência os vértices do rectângulo da área de teste, indicando-se manualmente as coordenadas no mundo real das mesmas, sendo que neste caso foram (0,0), (200,0), (0,100) e (200,100), isto em centímetros, concluindo então o processo de elaboração de um modelo que relacione os dados lidos pela Wiimote e as coordenadas no mundo real para os pontos contidos pela área de teste.

Uma vez efectuada a calibração, pode-se então seleccionar com o emissor de infravermelhos os pontos que constam da área de testes, sendo que as coordenadas resultantes ficam registadas, podendo então ser comparadas com as do mundo real, de modo a determinar a exactidão. Se fizermos várias leituras do mesmo ponto poderemos também determinar a precisão, sendo que a exactidão consiste no grau de conformidade de um valor medido ou calculado em relação a uma referência padrão e a precisão é o grau de variação de resultados de uma medição.

De modo a tornar o teste de execução mais fácil, seleccionaram-se 15 pontos na área de testes, como na Figura 5.6, nos quais foram efectuadas as leituras.

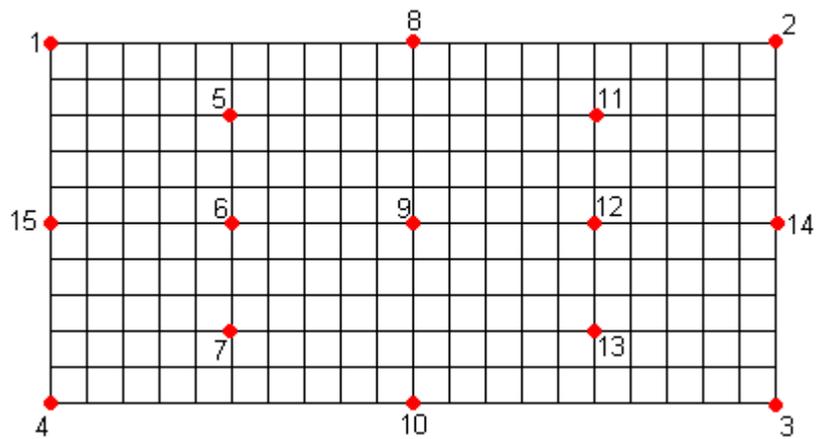


Figura 5.6: Pontos de Leitura da Área de Testes

As leituras foram efectuadas três vezes, em três posicionamentos diferentes da Wiimote, com dois emissores de infravermelhos diferentes (Led 1: HIRL5020 ; Led 2: SFH4200) no primeiro e último caso, sendo que nos dois primeiros posicionamentos a leitura foi feita por uma Wiimote (Figuras 5.7 e 5.8) colocada a 3m e 2.75m, respectivamente, e no último caso a leitura foi feita por duas Wiimotes em simultâneo, ambas colocadas a cerca de 3.5m da superfície de teste (Figura 5.7).



Figura 5.7: Disposição de Leitura com uma e duas Wiimotes

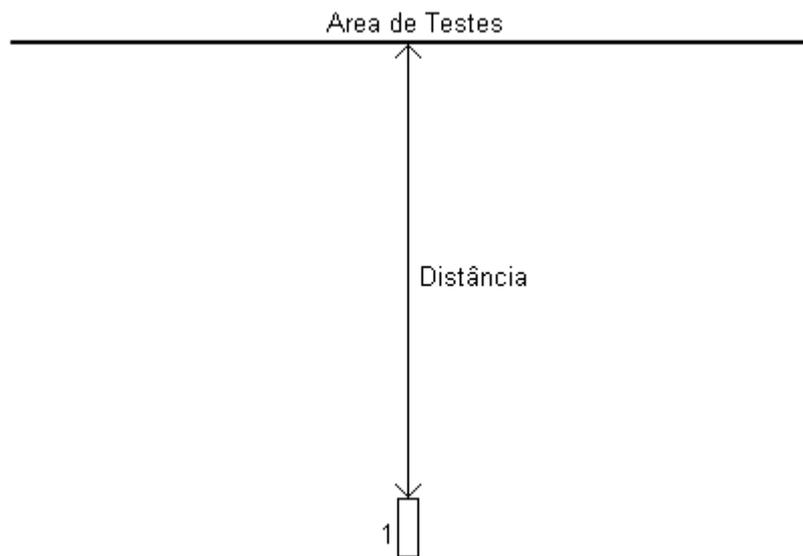


Figura 5.8: Segunda disposição de Leitura com uma Wiimote

Nas tabelas de valores lidos apresentadas mais para a frente, os valores X_n e Y_n referem-se às coordenadas obtidas através da leitura n do ponto referido em cada linha. Esses valores são relativos a leituras efectuadas a pontos dos quais se conhecem as coordenadas reais, sendo que as mesmas estão ilustradas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Valores Reais dos pontos da Área de Teste

Ponto	X	Y
1	0	0
2	200	0
3	200	100
4	0	100
5	50	20
6	50	50
7	50	80
8	100	0
9	100	50
10	100	100
11	150	20
12	150	50
13	150	80
14	200	50
15	0	50

Tendo esses valores é então possível calcular a exactidão e a precisão da leitura efectuada. As fórmulas (5.3) e (5.4) usadas para esse efeito são apresentadas de seguida.

$$\text{Exactidão} = \frac{|X_1 - X| + |X_2 - X| + |X_3 - X|}{3} \quad (5.3)$$

$$\text{Precisão} = \frac{|X_1 - X_2| + |X_1 - X_3| + |X_2 - X_3|}{3} \quad (5.4)$$

De modo a analisar os casos mais críticos, serão usadas as fórmulas (5.5) e (5.6) de modo a apurar o erro máximo, em percentagem, da exactidão e precisão em X e Y.

$$X_{erro_max} \% = \frac{X_{max}}{200} \times 100 \quad (5.5)$$

$$Y_{erro_max} \% = \frac{Y_{max}}{100} \times 100 \quad (5.6)$$

Obviamente, o erro máximo pode não ser um bom indicador da qualidade do modelo, pois pode ser referente a um erro ocasionalmente grande e não representativo da verdadeira qualidade do modelo. Logo, para apurar a mesma, é calculado o erro médio das quinze leituras, sendo que isso é feito de acordo com as fórmulas (5.7) e (5.8).

$$X_{erro} \% = \frac{\sum_{n=1}^{15} X_n}{15} \quad (5.7)$$

$$Y_{erro} \% = \frac{\sum_{n=1}^{15} Y_n}{15} \quad (5.8)$$

- **Posicionamento 1 com o led 1**

Com o posicionamento da Wiimote ilustrado na Figura 5.7, e efectuando a leitura dos pontos da área de teste ilustrada na Figura 5.6 com o led 1, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Valores Lidos no Posicionamento 1 com o led 1

Ponto	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3
1	-0.0000	-0.0000	-0.0100	-0.2237	0.2150	-0.0167
2	202.4717	0.6422	201.5510	0.7015	200.0194	0.8000
3	200.0000	100.0000	200.0000	100.0000	200.0000	100.0000
4	-0.0098	99.7818	-0.2019	100.2140	-0.2118	99.9959
5	50.2650	20.0361	50.2743	20.2695	50.0202	19.8158
6	49.5750	50.1024	49.8186	50.3276	50.0439	50.0895
7	49.6005	80.1113	50.0583	79.8814	50.0583	79.8814
8	100.7676	0.3046	100.5089	0.3229	100.5173	0.5681
9	99.6404	49.9330	99.6404	49.9330	99.9054	50.1685
10	100.1084	100.2810	99.8201	99.3185	100.1001	100.0415
11	150.6004	20.3493	150.8817	20.3351	150.6004	20.3493
12	149.7908	50.1218	149.7908	50.1218	149.7983	50.3747
13	150.6463	79.1266	150.6463	79.1266	149.8093	79.1271
14	200.5925	49.6316	201.2016	49.6166	199.9840	49.6465
15	-0.5529	49.9386	-0.3497	49.7115	-0.5430	50.1594

Aplicando-se as fórmulas (5.3) e (5.4) aos valores lidos, de modo a determinar a precisão e exactidão em X e Y, obtiveram-se os valores com os quais se elaboraram o gráfico ilustrado na Figura 5.9.

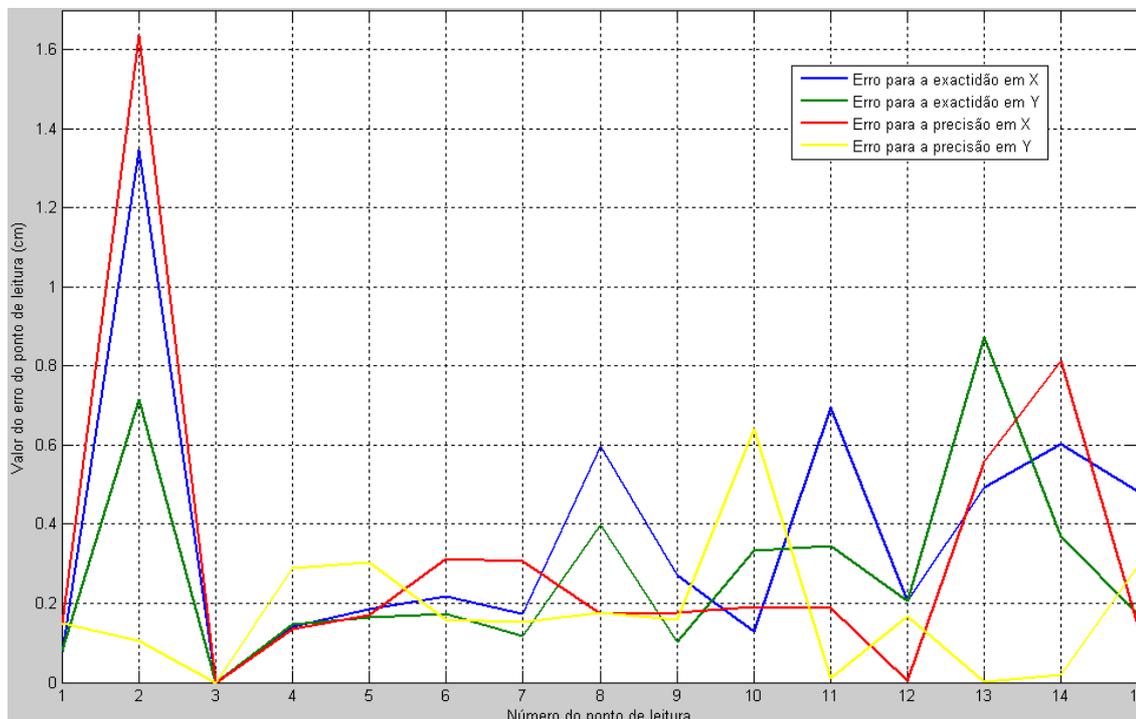


Figura 5.9: Exactidão e Precisão obtidas no Posicionamento 1 com o led 1

Como se pode ver, os erros de precisão e exactidão são quase sempre inferiores a 1cm, o que é bom sinal, sendo que não pode ser esquecido o facto de os valores em X variarem de 0 a 200cm e os valores em Y variarem de 0 a 100cm, portanto os seus erros têm significados diferentes.

Após aplicadas as fórmulas (5.5) e (5.6) de modo a apurar o erro máximo em percentagem, obtiveram-se para a exactidão em X e em Y, respectivamente, erros de 0.67% e 0.87%, e para a precisão erros de 0.82% e 0.64%. Como se pode verificar, todos os erros são inferiores a 1%, o que é perfeitamente aceitável.

Aplicando as fórmulas (5.7) e (5.8), obteve-se um erro médio para a exactidão em X e em Y, em percentagem, respectivamente, de 0.19% e 0.28%. O erro médio para a precisão em X e em Y, em percentagem, é de 0.16% e 0.18%, respectivamente.

- **Posicionamento 1 com o led 2**

Com o posicionamento da Wiimote ilustrado na Figura 5.7, e efectuando a leitura dos pontos da área de teste ilustrada na Figura 5.6 com o led 2, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Valores Lidos no Posicionamento 1 com o led 2

Ponto	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3
1	0.5982	-1.1757	-0.2160	0.0162	0.0000	-0.0000
2	200.0192	0.8001	200.0000	-0.0000	200.0000	-0.0000
3	199.3879	99.4696	199.0948	99.7257	199.0948	99.7257
4	0.2130	100.0039	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000
5	50.4294	19.5709	49.9854	20.2999	50.2120	20.0527
6	49.9985	50.2478	50.2335	50.2415	49.7544	50.0214
7	50.0116	79.9472	50.2548	80.1782	50.2456	79.9471
8	99.8836	-0.8207	100.9247	-0.6460	99.9429	0.9011
9	99.8413	50.1251	100.0975	50.1185	99.8413	50.1251
10	99.7829	99.8999	100.0290	99.6640	100.5634	100.3932
11	150.0660	20.3125	149.2277	20.3537	150.0660	20.3125
12	150.0940	49.8416	150.0940	49.8416	150.0940	49.8416
13	149.3047	79.6531	149.2972	79.4016	149.3121	79.9046
14	198.7912	50.2060	198.7784	49.6790	199.0988	50.4623
15	-0.3367	50.0420	-0.1223	50.0359	-0.1123	50.2583

Aplicando-se as fórmulas (5.3) e (5.4) aos valores lidos, de modo a determinar a precisão e exactidão em X e Y, obtiveram-se os valores com os quais se elaboraram o gráfico ilustrado na Figura 5.10.

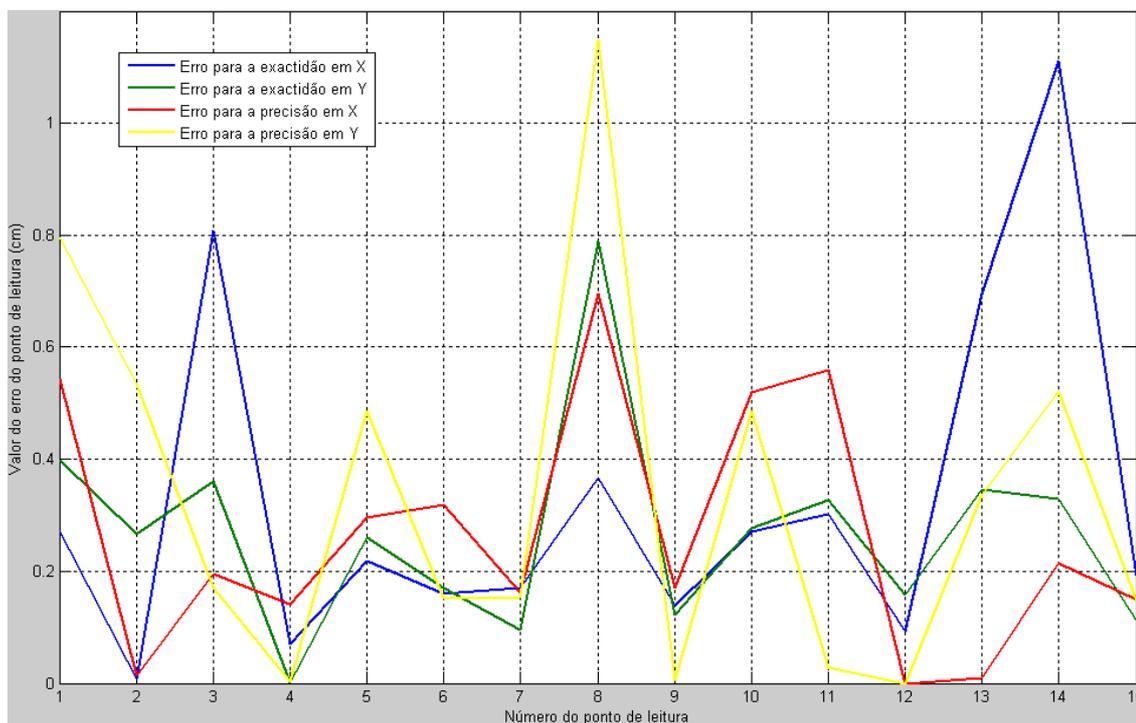


Figura 5.10: Exactidão e Precisão obtidas no Posicionamento 1 com o led 2

Como se pode ver, os erros de precisão e exactidão são quase sempre inferiores a 1cm, o que é bom sinal, sendo que não pode ser esquecido o facto de os valores em X

variarem de 0 a 200cm e os valores em Y variarem de 0 a 100cm, portanto os seus erros têm significados diferentes.

Após aplicadas as fórmulas (5.5) e (5.6) de modo a apurar o erro máximo em percentagem, obtiveram-se para a exactidão em X e em Y, respectivamente, erros de 0.56% e 0.79%, e para a precisão erros de 0.35% e 1.15%. Como se pode verificar, quase todos os erros são inferiores a 1%, o que é aceitável.

Aplicando as fórmulas (5.7) e (5.8), obteve-se um erro médio para a exactidão em X e em Y, em percentagem, respectivamente, de 0.16% e 0.27%. O erro médio para a precisão em X e em Y, em percentagem, é de 0.13% e 0.33%, respectivamente.

- **Posicionamento 2 com o led 1**

Com o posicionamento da Wiimote ilustrado na Figura 5.8, e efectuando a leitura dos pontos da área de teste ilustrada na Figura 5.6 com o led 1, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Valores Lidos no Posicionamento 2 com o led 1

Ponto	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3
1	-0.0000	0.0000	-0.1982	0.4094	0.2066	0.5940
2	200.6454	0.1807	200.4216	-0.0165	200.4087	-0.2220
3	200.0000	100.0000	200.0000	100.0000	200.0000	100.0000
4	0.2070	99.9939	-0.2070	100.0061	-0.0017	99.7883
5	49.9138	19.9243	49.9138	19.9243	49.9138	19.9243
6	49.9532	50.1861	50.3574	49.7571	50.1553	49.9716
7	49.5541	79.9043	49.5676	80.5365	49.9660	79.6806
8	100.1593	-0.1546	100.1593	-0.1546	99.7543	0.0647
9	100.0686	50.1293	100.2775	50.1222	100.2701	49.9136
10	100.1128	99.6420	100.1277	100.0703	100.3170	99.4217
11	150.3478	19.8557	150.5573	19.8478	150.3478	19.8557
12	149.9173	49.8909	150.3500	50.0863	149.9071	49.6811
13	150.0878	79.7475	150.0878	79.7475	150.6957	79.0884
14	199.9259	49.8752	200.3269	49.4388	200.3531	49.8607
15	-0.4026	50.0644	-0.1984	50.0573	-0.1984	50.0573

Aplicando-se as fórmulas (5.3) e (5.4) aos valores lidos, de modo a determinar a precisão e exactidão em X e Y, obtiveram-se os valores com os quais se elaboraram o gráfico ilustrado na Figura 5.11.

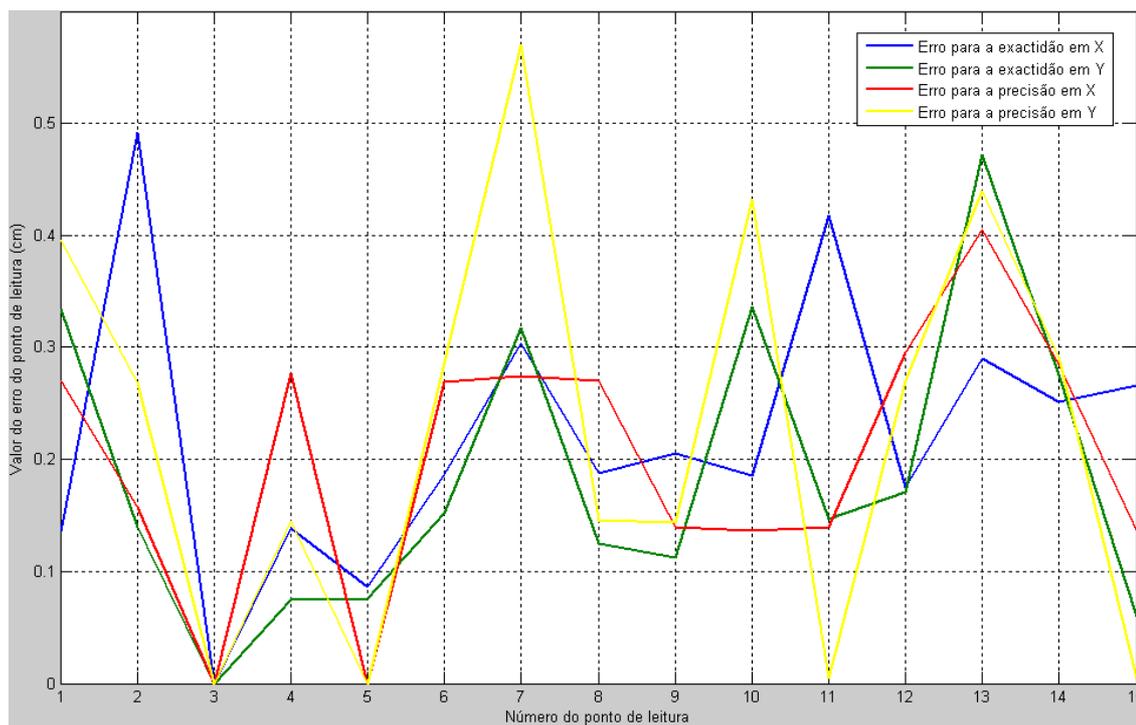


Figura 5.11: Exactidão e Precisão obtidas no Posicionamento 2 com o led 1

Como se pode ver, os erros de precisão e exactidão são sempre inferiores a 1cm, o que é bom sinal, sendo que não pode ser esquecido o facto de os valores em X variarem de 0 a 200cm e os valores em Y variarem de 0 a 100cm, portanto os seus erros têm significados diferentes.

Após aplicadas as fórmulas (5.5) e (5.6) de modo a apurar o erro máximo em percentagem, obtiveram-se para a exactidão em X e em Y, respectivamente, erros de 0.25% e 0.47%, e para a precisão erros de 0.20% e 0.57%. Como se pode verificar, quase todos os erros são inferiores a 0.5%, o que é muito bom.

Aplicando as fórmulas (5.7) e (5.8), obteve-se um erro médio para a exactidão em X e em Y, em percentagem, respectivamente, de 0.11% e 0.19%. O erro médio para a precisão em X e em Y, em percentagem, é de 0.10% e 0.23%, respectivamente.

- **Posicionamento 3 com o led 1**

Com o posicionamento de duas Wiimotes ilustrado na Figura 5.7, e efectuando a leitura dos pontos da área de teste ilustrada na Figura 5.6 com o led 1, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Valores Lidos no Posicionamento 3 com o led 1

Ponto	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3
1	-1.1276	0.5746	-0.5555	-0.0061	-1.1276	0.5746
2	199.2212	0.4427	200.0000	-0.0000	200.4850	-0.5990
3	201.1046	100.7832	199.7143	99.7211	200.9419	100.2932
4	0.0041	100.2765	0.0000	100.0000	0.0037	99.8666
5	50.2509	19.9343	50.7063	19.6541	50.4005	20.2202
6	49.9371	49.8649	49.8069	50.2786	49.9447	50.2846
7	49.9522	79.4488	49.6456	80.1636	50.2425	80.1437
8	99.7029	0.0972	99.7071	0.2418	99.9909	-0.0382
9	100.0240	49.4986	99.3113	49.4899	99.8752	49.7960
10	100.2084	100.3257	99.4731	100.1409	99.9217	99.3103
11	150.1877	19.7706	150.1360	18.2751	149.9464	19.3160
12	150.2554	49.5337	149.9159	50.5106	150.5438	49.4081
13	150.2516	79.2012	149.6607	79.7797	150.5976	80.2533
14	199.8486	49.6615	200.6476	49.1475	200.7613	49.0221
15	0.1557	50.1624	0.1689	49.8860	0.0668	50.3193

Aplicando-se as fórmulas (5.3) e (5.4) aos valores lidos, de modo a determinar a precisão e exactidão em X e Y, obtiveram-se os valores com os quais se elaboraram o gráfico ilustrado na Figura 5.12.

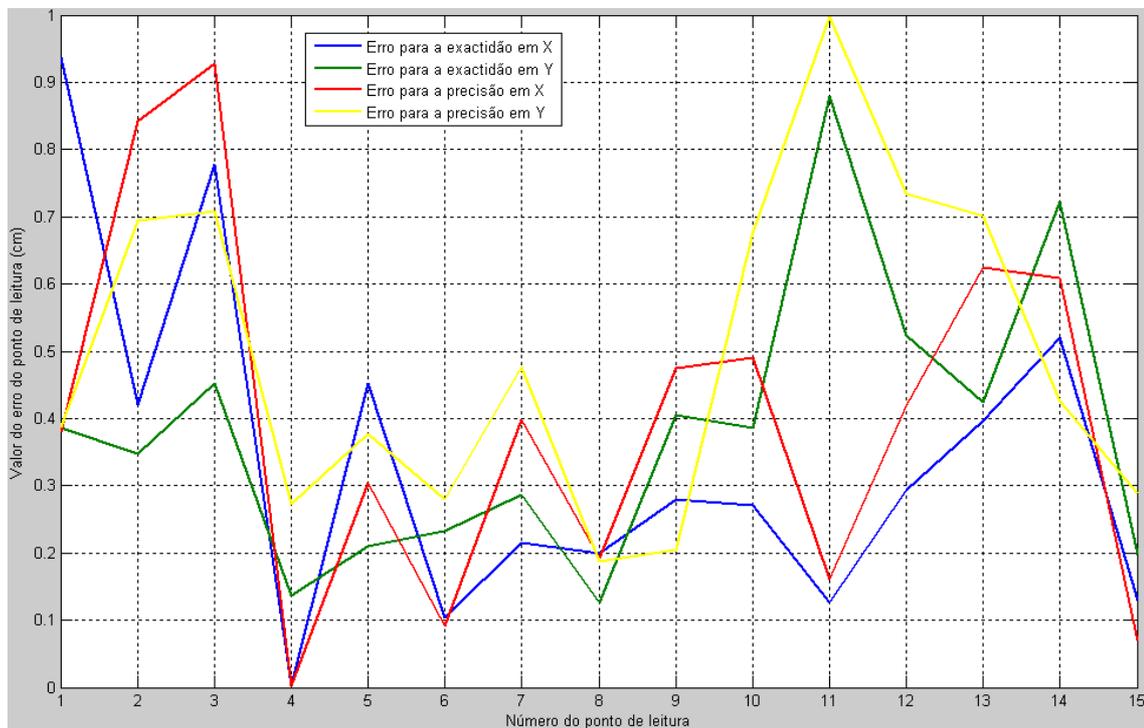


Figura 5.12: Exactidão e Precisão obtidas no Posicionamento 3 com o led 1

Como se pode ver, os erros de precisão e exactidão são sempre inferiores a 1cm, o que é bom sinal, sendo que não pode ser esquecido o facto de os valores em X

variarem de 0 a 200cm e os valores em Y variarem de 0 a 100cm, portanto os seus erros têm significados diferentes.

Após aplicadas as fórmulas (5.5) e (5.6) de modo a apurar o erro máximo em percentagem, obtiveram-se para a exactidão em X e em Y, respectivamente, erros de 0.47% e 0.88%, e para a precisão erros de 0.46% e 1.00%. Como se pode verificar, quase todos os erros são inferiores a 1%, o que é aceitável.

Aplicando as fórmulas (5.7) e (5.8), obteve-se um erro médio para a exactidão em X e em Y, em percentagem, respectivamente, de 0.17% e 0.38%. O erro médio para a precisão em X e em Y, em percentagem, é de 0.20% e 0.49%, respectivamente.

- **Posicionamento 3 com o led 2**

Com o posicionamento de duas Wiimotes ilustrado na Figura 5.7, e efectuando a leitura dos pontos da área de teste ilustrada na Figura 5.6 com o led 2, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Valores Lidos no Posicionamento 3 com o led 2

Ponto	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3
1	0.2266	-0.3103	0.0000	0.0000	-0.1772	-0.1496
2	199.8253	0.0000	199.8253	0.0000	199.8305	-0.2805
3	199.4842	99.8054	199.9463	99.8201	199.8258	99.9872
4	-0.4561	100.2912	-0.4520	100.1580	-0.2817	100.4210
5	49.3294	19.7522	49.4887	19.6106	49.6118	19.8976
6	49.2287	49.7410	49.3970	50.4437	49.2529	50.2986
7	49.3647	80.0829	49.2082	80.5089	49.2068	80.2319
8	99.3879	-0.3337	99.7142	-1.0644	99.6870	-0.0521
9	99.4682	49.6193	99.7573	49.8982	99.3172	49.9153
10	99.4480	99.1165	99.1772	99.9894	99.7231	100.2312
11	149.4947	19.1517	150.0779	19.6904	149.8243	19.8215
12	149.5777	49.7043	149.5777	49.7043	149.7367	49.5837
13	149.8333	79.9730	149.5831	79.7148	149.7039	79.8567
14	199.8415	49.6106	199.8415	49.6106	200.0159	49.6169
15	-0.3824	50.0889	-0.5050	49.9497	-0.2891	50.6645

Aplicando-se as fórmulas (5.3) e (5.4) aos valores lidos, de modo a determinar a precisão e exactidão em X e Y, obtiveram-se os valores com os quais se elaboraram o gráfico ilustrado na Figura 5.13.

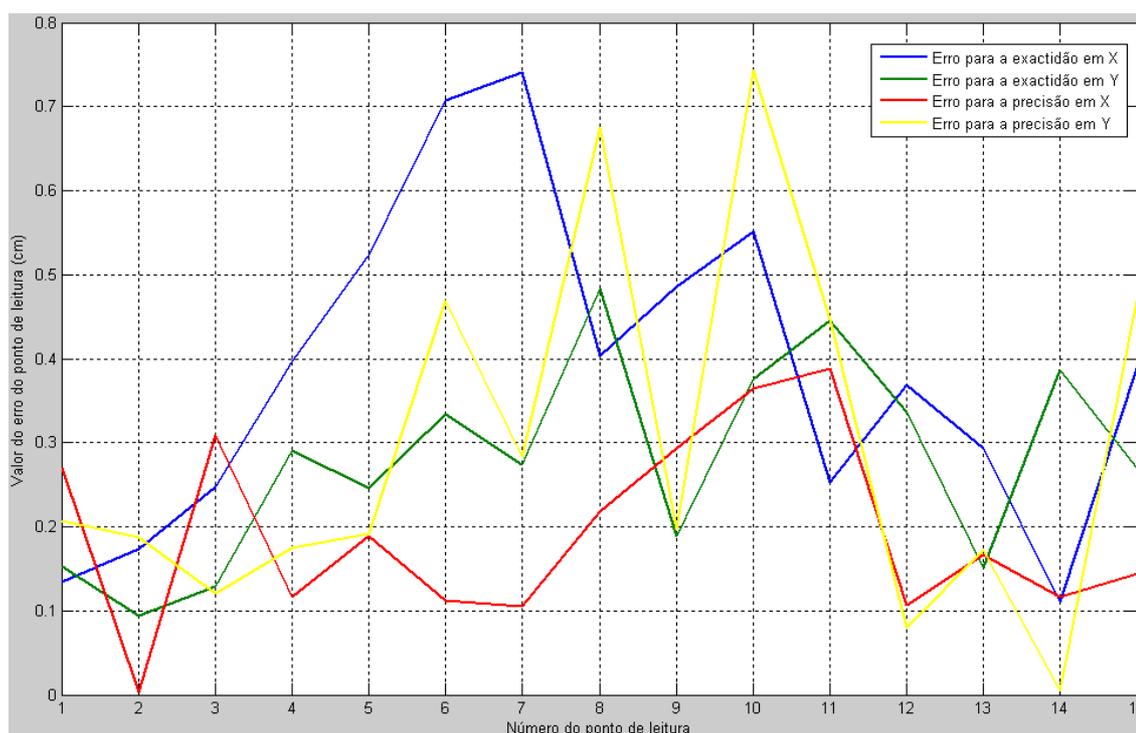


Figura 5.13: Exactidão e Precisão obtidas no Posicionamento 3 com o led 2

Como se pode ver, os erros de precisão e exactidão são sempre inferiores a 1cm, o que é bom sinal, sendo que não pode ser esquecido o facto de os valores em X variarem de 0 a 200cm e os valores em Y variarem de 0 a 100cm, portanto os seus erros têm significados diferentes.

Após aplicadas as fórmulas (5.5) e (5.6) de modo a apurar o erro máximo em percentagem, obtiveram-se para a exactidão em X e em Y, respectivamente, erros de 0.37% e 0.48%, e para a precisão erros de 0.19% e 0.74%. Como se pode verificar, todos os erros são inferiores a 1%, o que é perfeitamente aceitável.

Aplicando as fórmulas (5.7) e (5.8), obteve-se um erro médio para a exactidão em X e em Y, em percentagem, respectivamente, de 0.19% e 0.28%. O erro médio para a precisão em X e em Y, em percentagem, é de 0.10% e 0.30%, respectivamente.

Resumindo, os valores que realmente interessam para a avaliação da qualidade da calibração são os erros médios da exactidão e precisão segundo X e Y. Os mesmo são lembrados na Tabela 5.7 e na Figura 5.14, isto para cada posicionamento efectuado e em função do emissor de infravermelhos utilizado.

Tabela 5.7: Erros médios da exactidão e precisão segundo X e Y

Posicionamento	Exactidão		Precisão	
	Erro em X	Erro em Y	Erro em X	Erro em Y
1 com led 1	0.19%	0.28%	0.16%	0.18%
1 com led 2	0.16%	0.27%	0.13%	0.33%
2 com led 1	0.11%	0.19%	0.10%	0.23%
3 com led 1	0.17%	0.38%	0.20%	0.49%
3 com led 2	0.19%	0.28%	0.10%	0.30%

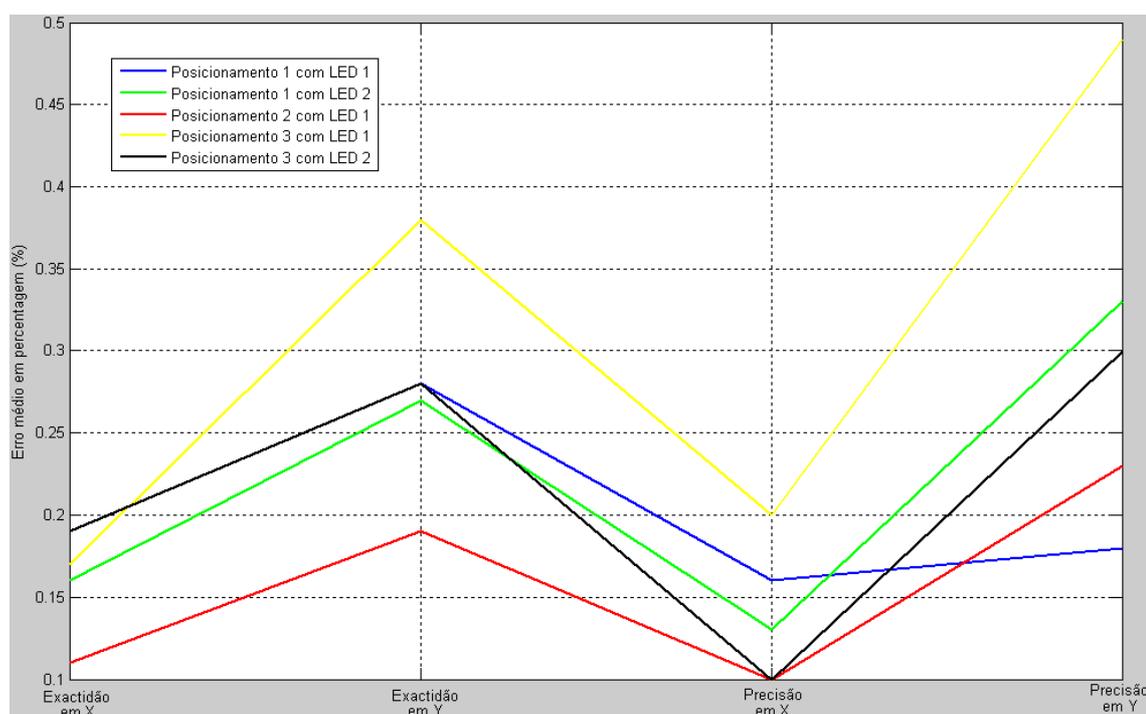


Figura 5.14: Erros médios da exactidão e precisão segundo X e Y

Como se pode concluir, em nenhuma das situações se obteve um erro médio superior a 0.5%, sendo que inicialmente se tinha estabelecido que um erro de 1% ainda poderia ser considerado aceitável, pelo que a calibração implementada cumpre os requisitos da aplicação em quaisquer dos posicionamentos testados. O uso de leds de características muito diferentes também não incutiu grandes diferenças nas leituras efectuadas.

Novamente fica provado o facto de qualquer um dos leds testados poder ser implementado no dispositivo de controlo, remetendo a sua escolha para características eléctricas e estéticas. A aplicação para computador vai ter então uma grande flexibilidade, podendo ser usada com uma ou duas Wiimotes, sendo que a escolha da colocação da(s) mesma(s) ficará então ao encargo do utilizador, uma vez que a mesma não interfere significativamente no desempenho da aplicação. O único requisito que o utilizador tem de ter em conta é que a Wiimote tem obrigatoriamente de ver a área interactiva seleccionada na sua íntegra, ou seja, os quatro pontos de calibração.

5.4 Recepção dos eventos do dispositivo de controlo

Como referido na Secção 4.4, foi implementado no dispositivo de controlo um protocolo para a transmissão dos eventos próprios ao rato. Por outro lado, é necessário conseguir interpretar essas tramas na aplicação que está a correr no computador. O algoritmo implementado consiste em que sempre que o ponto infravermelho desaparece, é inicializado um *timer* com intervalo de 15ms. Na primeira interrupção do mesmo, muda-se o intervalo para 30ms e faz-se a leitura do valor do led, posicionando então as leituras a meio da transmissão dos bits para melhorar as condições as mesmas, sendo que neste primeiro caso é lido um zero, estando o processo de leitura da trama ilustrado na Figura 5.15.

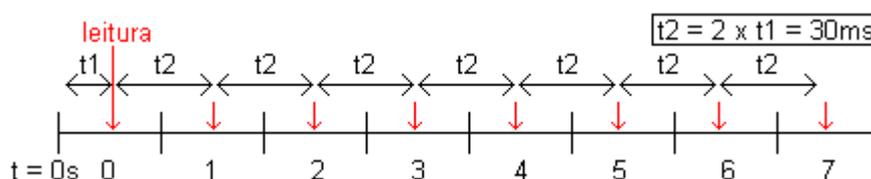


Figura 5.15: Leitura dos oito bits de uma trama de um evento

Nas sete interrupções seguintes do *timer* volta-se a efectuar a leitura do valor do led naquele instante, preenchendo assim um vector de oito posições, que uma vez preenchido é comparado com as tramas conhecidas e havendo correspondência com alguma delas, é executado o evento respectivo. Para a contagem do tempo, não é possível utilizar o *timer* proposto por defeito pelo *Delphi*, pois o mesmo não é fiável e funciona muito mal para tempos inferiores a um segundo. Surgiu então a necessidade de criar um *timer* quase de tempo real, sendo que para tal foi utilizado o *multimédia timer* do Windows, que apresentou características inteiramente adequadas a esta aplicação. Com esse *timer* consegue-se temporizações muito precisas até um milissegundo.

5.5 Posicionamento e emulação dos eventos do rato

Uma vez devidamente interpretada uma trama relativa a um evento do rato, torna-se então necessário emular esse evento. Por outro lado, uma vez a calibração efectuada e o dispositivo de controlo em modo de funcionamento contínuo, o ponto infravermelho constantemente visível actualiza em permanência o posicionamento do cursor. Sendo que a aplicação foi desenvolvida em *Delphi*, os comandos usados para obter as coordenadas X e Y do rato e para colocar este último nas coordenadas X e Y foram os seguintes:

1. Obter as coordenadas do rato

```
GetCursorPos(Coordenadas);
```

Ficando então a variável “Coordenadas” com o posicionamento do cursor, sendo que *Coordenadas.X* devolve a coordenada segundo o eixo dos XX e *Coordenadas.Y* devolve a coordenada segundo o eixo dos YY.

2. Definir as coordenadas do rato

```
SetCursorPos(X, Y);
```

Sendo que este comando coloca o cursor do rato na posição X e Y do ambiente de trabalho do computador no qual está a ser executada a aplicação desenvolvida.

Por outro lado, os eventos do rato são executados com os comandos apresentados a seguir.

1. Botão Esquerdo do Rato Pressionado

```
mouse_event(MOUSEEVENTF_LEFTDOWN , 0, 0, 0, 0);
```

Este comando emula o evento do Windows relativo a uma pressão do botão esquerdo de um rato convencional.

2. Botão Esquerdo do Rato Largado

```
mouse_event(MOUSEEVENTF_LEFTUP, 0,0, 0, 0);
```

Este comando emula o evento do Windows relativo ao acto de largar o botão esquerdo do rato.

3. Botão Direito do Rato Pressionado

```
mouse_event(MOUSEEVENTF_RIGHTDOWN , 0, 0, 0, 0);
```

Este comando emula o evento do Windows relativo a uma pressão do botão direito de um rato convencional.

4. Botão Direito do Rato Largado

```
mouse_event(MOUSEEVENTF_RIGHTUP, 0,0, 0, 0);
```

Este comando emula o evento do Windows relativo ao acto de largar o botão direito do rato.

É então fácil de entender que para além dos eventos já descritos, podem ser emulados eventos como um clique do botão esquerdo, executando o comando 1 seguido do comando 2, o mesmo sucedendo para o clique do botão direito, com os comandos 3 e 4, respectivamente. O duplo clique do botão esquerdo, que também foi implementado no dispositivo de controlo, é emulado executando duas sequências dos comandos 1 e 2.

5.6 Apresentação Gráfica e Notebook

Uma vez a Wiimote conectada ao computador por *Bluetooth*, a aplicação pode ser executada, sendo que se a mesma não detectar qualquer Wiimote dá o respectivo erro e fecha-se automaticamente. No caso de estar uma única Wiimote conectada ao computador aquando o arranque da aplicação, o aspecto gráfico da mesma é o ilustrado na Figura 5.16.

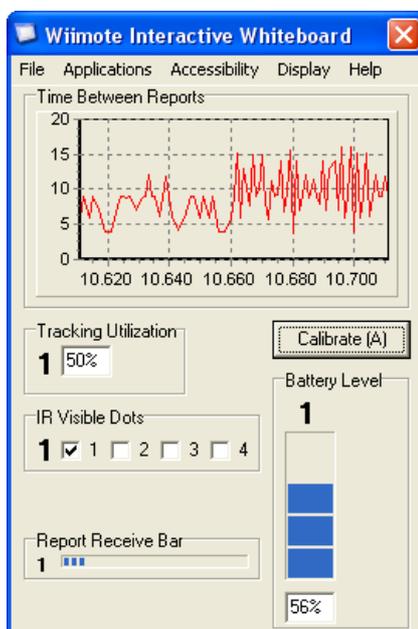


Figura 5.16: Aplicação com uma Wiimote conectada

Como se pode verificar na figura anterior, são fornecidas várias informações ao utilizador, sendo elas o estado das pilhas da Wiimote em percentagem e numa barra de estado, os pontos infravermelhos que são visíveis no momento e o tempo que decorre entre a chegada de dois relatórios sobre o aspecto gráfico, isto para os últimos cem relatórios recebidos. Também consta da aplicação um botão que permite lançar a calibração, sendo que uma vez efectuada é indicada ao utilizador a percentagem da resolução total do sensor de infravermelhos da Wiimote que é utilizada com aqueles pontos de calibração. Obviamente, esse valor tem de se aproximar o máximo possível dos 100%, sendo que isso é quase impossível de conseguir, pelo que um *tracking utilization* a partir de 50% é aceitável. O *Report Receive Bar* consiste numa barra de estado que é incrementada sempre que chega um novo relatório da Wiimote, dando um efeito agradável na aplicação.

No caso de estarem duas Wiimotes conectadas ao computador aquando o arranque da aplicação, a mesma apresenta já informação relativa às duas Wiimotes, como na Figura 5.17.

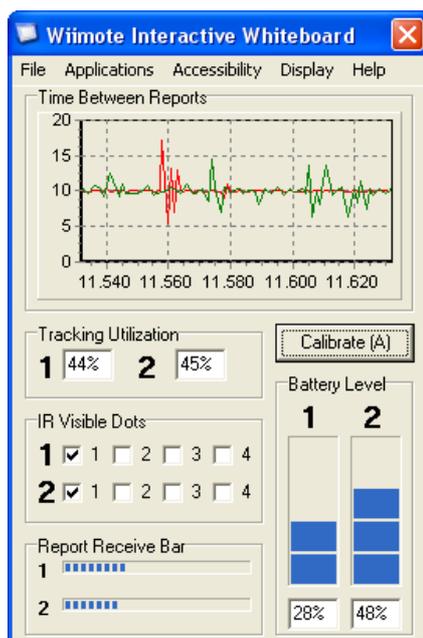


Figura 5.17: Aplicação com duas Wiimotes conectadas

Como se pode verificar, as Wiimotes são numeradas, sendo que a número 1 terá o primeiro led aceso e a número 2 terá o segundo led aceso, de modo a permitir ao utilizador diferencia-las fisicamente.

No menu da aplicação, existem atalhos para chamar directamente algumas pequenas aplicações genéricas do Windows, tais como o *Paint*, o *Notepad*, a Calculadora, o Controlador do Volume e, o mais útil, o Teclado Virtual. Existe também um atalho para lançar a janela de alterações da visualização, que está acessível através

do Painel de Controlo. Oferece-se também a possibilidade de efectuar um *print screen*, escondendo ou não a aplicação, e de guardar a respectiva imagem no local escolhido na altura pelo utilizador.

Por fim, foi desenvolvida uma pequena aplicação *Notebook*, que tem algumas ferramentas que permitem desenhar no ambiente de trabalho. As ferramentas são uma caneta normal, desenhar um rectângulo ou uma elipse, assim como usar um apagador. Por outro lado podem ser escolhidas seis cores, sendo elas o preto, azul, vermelho, verde, amarelo e branco. Como última opção, também pode ser alterada a grossura dos traços, numa escala de um a vinte pixels.

Uma vez escolhida a caneta, a respectiva cor e grossura, basta uma pressão do botão esquerdo e um arrastar para desenhar com essa ferramenta. O desenho acaba quando o botão esquerdo é largado.

Para desenhar um rectângulo ou uma elipse, basta seleccionar a respectiva opção, assim como a cor e grossura, e ao premir o botão esquerdo selecciona-se o ponto de partida do desenho, sendo que ao arrastar define-se o tamanho da figura. Uma vez desenhada esta última, ela pode ser movida com o botão esquerdo, e serem alteradas as suas características de forma, cor e grossura se estas forem escolhidas previamente e se se der um clique de botão direito na figura a ser alterada.

Por último, quando escolhido o apagador, e a respectiva grossura, com o botão esquerdo pode-se apagar os desenhos feitos com a caneta, sendo que para apagar figuras tem de se carregar nelas com o botão direito, tendo previamente escolhido o apagador.

Estão três botões presentes no *Notebook*, um para o fechar, outro para o reinicializar, apagando assim todas as alterações feitas em termos de caneta e de figuras, e um terceiro para guardar um *print screen*, sendo que aquando a execução deste ultimo todos os botões do *Notebook* são escondidos, de modo a a imagem final conter somente o ambiente de trabalho. Na Figura 5.18 é ilustrado o ambiente de trabalho do *Notebook*, com alguns exemplos para cada caso de utilização.



Figura 5.18: Exemplo de utilização do Notebook implementado

5.7 Avaliação do Sistema – Inquérito Realizado

Uma vez o sistema devidamente implementado, foi sujeito a testes por pessoas isentas e qualificadas, sendo que foi pedido o preenchimento de um questionário. O objectivo principal desse inquérito é o de apurar o nível de aceitação do quadro interactivo desenvolvido.

A metodologia praticada seguiu as etapas gerais da investigação baseada em inquérito [22], começando pela definição dos objectivos do inquérito, construindo o planeamento e desenho geral do mesmo [23].

A investigação realizada foi baseada num estudo:

- Observacional: uma vez que não há, à partida, o conhecimento e controlo sobre o tipo e indivíduos que responde e analisa as variáveis;
- Analítico: já que pretende estudar a relação entre as variáveis e colocar à prova uma hipótese de investigação;
- Transversal: porque se analisam as respostas num dado momento do tempo, sem haver preocupação de por quanto tempo manterão estas características, nem de como foram adquiridas, sendo que a interpretação dos dados obtidos foi avaliada posteriormente com testes estatísticos.

A avaliação é sobretudo qualitativa, o que motiva a minimização de erros, sendo possível estabelecer métricas que traduzam a precisão e a tendência no sentido de melhorar a eficácia e a eficiência.



Quadro Interactivo de baixo custo

O objectivo deste inquérito é apurar, junto de pessoas isentas e qualificadas o nível de aceitação do quadro interactivo proposto, em função do custo e do desempenho do mesmo.

Não pensem que se pretende obter algumas informações sobre o inquérito e os seus conteúdos nas áreas em causa.

No ponto 3 a pergunta é orientada às impressões do inquirido após a realização de um pequeno teste do quadro interactivo proposto.

Para a utilização do quadro interactivo, o primeiro passo consiste em ligar a Wiimote ao computador, sendo que para tal deve-se pressionar o botão 1 e 2 da mesma. Escudo sendo disponível para ligar ao computador via Bluetooth durante os 40 segundos seguintes.

Uma vez a Wiimote conectada, a aplicação é lançada através do executável "WiVProject.exe". Se a aplicação ainda não tiver sido calibrada para o actual posicionamento da Wiimote, tal pode ser feito pressionando o botão para esse efeito na aplicação ou o botão da Wiimote. Após isso basta seleccionar, como dispositivo de controlo em modo calibração, os quatro pontos de calibração. Com a aplicação devidamente calibrada e o dispositivo de controlo em modo de funcionamento correcto, estamos então aptos a utilizar o iBoard!

Os quadros interactivos são, genericamente, um pouco maiores e rondam os 2000, 3000 euros. Esta aplicação, Wiimote incluída, tem um custo de aproximadamente 20 euros.

iBoard, foi o nome escolhido para a aplicação. "i" para interactivo, sendo que o "b" digitado é para fazer referência ao uso da Wiimote cujo nome apresenta dois "i", e "board" da palavra inglesa para "quadro", assumindo então um único nome o uso da Wiimote para implementação de um quadro interactivo.

1. Identificação do inquirido

1.1 Idade _____

1.2 Sexo M F

1.3 Habilitações Literárias

Curso técnico-profissional

Bacharelato

Licenciatura

Mestrado

Doutoramento

1.4 Profissão _____

FEUP Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

-3-



2. Informações Gerais sobre o Inquirido

2.1 Experiência Informática	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.2 Experiência Docente	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.3 Experiência de utilização de quadros interactivos	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.4 Experiência de utilização de quadros interactivos de tecnologias variadas diferentes	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.5 Área de uso de quadros interactivos	Escolar <input type="checkbox"/>	Profissional <input type="checkbox"/>	Pessoal <input type="checkbox"/>	Outra <input type="checkbox"/>	Nenhuma <input type="checkbox"/>
2.6 O preço actual dos quadros interactivos é	Muito Baixo <input type="checkbox"/>	Baixo <input type="checkbox"/>	Correcto <input type="checkbox"/>	Excessivo <input type="checkbox"/>	Proibitivo <input type="checkbox"/>
2.7 Que importância dá às funcionalidades entre dois quadros interactivos	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.8 Conhecimento sobre o funcionamento da Wiimote	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouco <input type="checkbox"/>	Algum <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muito <input type="checkbox"/>
2.9 Tem alguma Wiimote Wii, mais concretamente uma Wiimote	Não <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>			

FEUP Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

-3-



3. O Quadro Interactivo testado (iBoard)

3.1 Como classifica a dificuldade de ligação da Wiimote ao computador	Muito Difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Fácil <input type="checkbox"/>	Muito Fácil <input type="checkbox"/>	
3.2 Como classifica a dificuldade de execução da calibração	Muito Difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Fácil <input type="checkbox"/>	Muito Fácil <input type="checkbox"/>	
3.3 Como classifica a qualidade da calibração	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Bom <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.4 Como classifica a manuseabilidade do dispositivo de controlo	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Bom <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.5 Como classifica a performance da simulação do jogo pelo conjunto dispositivo de controlo / aplicação	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Bom <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.6 Como classifica o aspecto gráfico da aplicação	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Bom <input type="checkbox"/>	Muito Bom <input type="checkbox"/>
3.7 Como classifica a aplicação Notebook implementada	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Bom <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.8 Como classifica a relação qualidade/preço da solução proposta	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Bom <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.9 Considera o nome iBoard atractivo e adequado ao produto	Muito Pouco <input type="checkbox"/>	Pouco <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Muito <input type="checkbox"/>
3.10 De forma geral, como classifica a solução apresentada	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Bom <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.11 Em caso de compra, daria preferência a esta aplicação em relação a um quadro interactivo clássico	Não <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>			

Obrigado pela colaboração!

FEUP Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

-3-

Figura 5.19: Aspecto geral do inquérito efectuado

Perante estes objectivos gerais e realizado o estudo dos fundamentos e métodos similares foi delineado um questionário (Figura 5.19) que obedeceu à seguinte estrutura:

- A introdução do questionário inclui um pedido de cooperação para o preenchimento, indicando informações relevantes para um conhecimento mínimo da solução de quadro interactivo proposta assim como a natureza académica da investigação.
- O primeiro bloco de questões refere-se à caracterização sócio-profissional do inquirido: sexo, idade, habilitações literárias e profissão.
- O segundo bloco diz respeito ao fornecimento de algumas informações por parte do inquirido sobre o seu conhecimento acerca de quadros interactivos, de modo a apurar o impacto de um eventual conhecimento prévio sobre os mesmos no nível de aceitação do sistema proposto. O facto de o utilizador não possuir uma Wiimote e não estar familiarizado com a mesma pode também ser um factor de desmotivação do qual se pretende apurar a sua eventual existência.
- O terceiro bloco refere-se ao nível de dificuldade com o qual o utilizador encara o processo de ligação da Wiimote ao computador e o processo de calibração do quadro interactivo, sendo que níveis de dificuldade elevados serão fortemente prejudiciais à aceitação do sistema apresentado. No que à ligação da Wiimote diz respeito, espera-se alguma familiarização da maioria dos utilizadores, uma vez que é similar à ligação de um vulgar telemóvel ao computador pela tecnologia *Bluetooth*, estando este tipo de aparelhos muito presentes na sociedade. No que à dificuldade da calibração diz respeito, também não se prevêem grandes reservas, uma vez que é muito parecida com a dos quadros interactivos tradicionais, tendo a vantagem de só pedir quatro pontos de calibração contra os nove comumente exigidos.
- Neste bloco, a qualidade da calibração, do aspecto gráfico da aplicação, a maneabilidade do dispositivo de controlo, a transmissão dos eventos implementados no mesmo e a qualidade da aplicação *Notebook* criada são também analisados qualitativamente pelo inquirido. A importância da avaliação realizada ao *Notebook* será proporcional à importância dada pelo utilizador às funcionalidades extra dos quadros interactivos em geral, uma vez que foi para tentar colmata essa lacuna que a aplicação citada foi criada.
- Por fim, pede-se uma avaliação geral da qualidade da avaliação proposta, sendo que quanto à relação qualidade / preço espera-se bons níveis, pois não se pode esquecer que aí reside a grande força desta solução. O inquirido indicará também se a sua preferência, em caso de compra, iria para esta solução ou para um quadro interactivo tradicional, sendo que as respostas obtidas podem ser um indicador razoável de um eventual sucesso na comercialização deste tipo de produto.

Quanto ao tipo de questões introduzidas procurou-se que fossem concisas, de fácil compreensão e de resposta fechada, isto é, com as diferentes possibilidades já definidas, o que trouxe vantagens evidentes para a análise posterior. No Anexo 3, pode ser encontrado o questionário completo.

A experiência efectuada foi presencial, com um grupo de voluntários nas instalações da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. De um modo geral, os inquiridos desta fase entenderam o que lhes estava a ser proposto, efectuaram livremente testes ao funcionamento do quadro interactivo e à sua robustez, responderam ao questionário, colocaram dúvidas e deram opiniões perante o que estava a ser analisado.

Posteriormente, foi realizado um estudo simples dos dados para se obter a análise descritiva e inferência dos mesmos utilizando uma ferramenta SPSS 15.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*) para Windows [24]. Assim sendo, foram definidas as variáveis e introduzidos os dados. Os tipos de escalas para as variáveis apresentadas foram:

- Nominais: este tipo de escala consiste num conjunto de categorias de resposta qualitativamente diferentes e mutuamente exclusivas, como por exemplo, sexo e profissão.
- Ordinais: este tipo de escala admite uma ordenação numérica das duas categorias, ou seja, das respostas alternativas, estabelecendo uma relação de ordem entre elas, como por exemplo as variáveis que definiram as áreas de utilização de quadros interactivos nas quais se baseia a experiência do utilizador.
- De Rácio: este tipo de escala tem a característica da escala ordinal, em que o valor numérico mais elevado na escala indica uma quantidade maior da variável medida. Outra característica adicional indica que as diferenças entre valores numéricos adjacentes na escala, permanecem iguais na quantidade da variável medida e o valor “zero” não é arbitrário, como por exemplo a variável idade.

5.8 Resultados do Inquérito Realizado

5.8.1 Amostra

Nesta secção é apresentado o tipo de utilizadores que fizeram parte do estudo estatístico e que contribuíram para a avaliação e balanço da utilização do quadro interactivo de baixo custo proposto.

A população deste estudo foi constituída por utilizadores com bons conhecimentos em informática. A amostra recolhida envolveu 21 indivíduos que estudam ou trabalham em território português, sendo que a amostra pode ser classificada como não-probabilística e de conveniência, já que os indivíduos se encontravam acessíveis ao investigador.

Tabela 5.8: Frequência relativa da idade dos indivíduos da amostra

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	22	3	14,3	14,3
	23	1	4,8	19,0
	24	4	19,0	38,1
	25	4	19,0	57,1
	26	2	9,5	66,7
	27	2	9,5	76,2
	32	1	4,8	81,0
	35	2	9,5	90,5
	36	1	4,8	95,2
	37	1	4,8	100,0
	Total	21	100,0	

Como se pode analisar na Tabela 5.8, a amostra é caracterizada por ser do sexo masculino e jovem, uma vez que as idades estão compreendidas entre os 22 e os 37 anos.

Relativamente ao nível de escolaridade e pela análise da Tabela 5.9 conclui-se que a maior percentagem de inquiridos só tem o 12º, com uma percentagem de 33.3%. Esse facto é no entanto enganador, pois a maioria desses inquiridos são finalistas do curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, somente em termos práticos ainda não têm esse nível de habilitações. É também de realçar que o nível de habilitações literárias se encontra entre o 12º ano e Ensino Superior e que o mais alto grau académico, ou seja, Doutoramento correspondia a uma percentagem de 9.5%.

Tabela 5.9: Percentagens das habilitações literárias da amostra

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Até ao 12º ano	7	33,3	33,3
	Curso Técnico-Profissional	1	4,8	38,1
	Bacharelato	4	19,0	57,1
	Licenciatura	4	19,0	76,2
	Mestrado	3	14,3	90,5
	Doutoramento	2	9,5	100,0
	Total	21	100,0	

Relativamente ao tipo de utilizador, pode ser observado na Tabela 5.10 que 42.9% da amostra tem experiência com quadros interactivos, contra os 57.1% que nunca tiveram oportunidade de utilizar nenhum desses dispositivos.

Tabela 5.10: Percentagens de utilizadores com experiência com quadros interactivos

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Não	12	57,1	57,1
	Sim	9	42,9	100,0
	Total	21	100,0	

Nas Tabelas 5.11 e 5.12 são apresentados os resultados relativamente às perguntas sobre a Wiimote.

Tabela 5.11: Percentagem de utilizadores possuidores de Wiimote

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Não	15	71,4	71,4
	Sim	6	28,6	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.12: Percentagens relativas ao nível de conhecimento sobre a Wiimote

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Nenhuma	3	14,3	14,3
	Pouca	6	28,6	42,9
	Alguma	3	14,3	57,1
	Bastante	5	23,8	81,0
	Muita	4	19,0	100,0
	Total	21	100,0	

Como se pode verificar, os níveis de conhecimento prévio sobre a Wiimote variam muito e uniformemente na amostra, apesar de 71.4% dos inquiridos declarar não possuir uma Wiimote. No entanto mais de metade dos inquiridos declara possuir algum, bastante ou muito conhecimento sobre a Wiimote.

5.8.2 Procedimentos

Para realizar testes e inferências em que os parâmetros são proporções (percentagens ou probabilidades) e não médias, o teste a aplicar será baseado em contagens e são adequados para variáveis numa escala nominal ou ordinal. Neste trabalho surgiram tipos distintos de situações, com comparação de proporções em duas amostras independentes, como por exemplo utilizadores com e sem experiência com quadros interactivos e as opiniões manifestadas após utilização do quadro interactivo de baixo custo, utilizando o Teste Mann-Whitney.

As hipóteses em estudo são verificar se há evidências estatísticas para afirmar que o tipo de resposta difere com o tipo de utilizador. Para perceber como diferia o nível de resposta entre os inquiridos com e sem experiência foi aplicado o teste de comparação de proporções de amostras independentes, uma vez que há a possível separação em dois grupos distintos. Foi interessante observar e analisar a variação no nível de resposta nos dois grupos. Outra hipótese de estudo refere-se à análise sobre a independência das variáveis do tipo de utilizador com experiência com quadros interactivos e a preferência pela compra da *iiBoard*.

No subcapítulo seguinte estão descritos os resultados obtidos decorrentes destas experiências.

5.8.3 Resultados obtidos

Numa primeira fase e dentro do campo da Estatística Descritiva podem ser analisadas as tabelas de frequências que nos permitem tirar algumas conclusões, sendo que de seguida se apresentam as tabelas citadas.

Tabela 5.13: Preço actual dos quadros interactivos

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Correcto	2	9,5	9,5
	Excessivo	17	81,0	90,5
	Proibitivo	2	9,5	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.14: Grau de dificuldade de ligação da Wiimote ao computador

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Razoável	5	23,8	23,8
	Fácil	13	61,9	85,7
	Muito Fácil	3	14,3	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.15: Grau de dificuldade de execução da calibração

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Difícil	2	9,5	9,5
	Razoável	3	14,3	23,8
	Fácil	8	38,1	61,9
	Muito Fácil	8	38,1	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.16: Classificação da qualidade da calibração

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Fraca	1	4,8	4,8
	Razoável	6	28,6	33,3
	Boa	11	52,4	85,7
	Muito Boa	3	14,3	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.17: Classificação da maneabilidade do dispositivo de controlo

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Fraca	1	4,8	4,8
	Razoável	10	47,6	52,4
	Boa	8	38,1	90,5
	Muito Boa	2	9,5	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.18: Classificação do desempenho da emulação dos eventos do rato

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Razoável	8	38,1	38,1
	Boa	13	61,9	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.19: Classificação da aplicação Notebook implementada

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Razoável	10	47,6	47,6
	Boa	10	47,6	95,2
	Muito Boa	1	4,8	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.20: Classificação da relação qualidade / preço da solução proposta

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Razoável	1	4,8	4,8
	Boa	5	23,8	28,6
	Muito Boa	15	71,4	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.21: Atractividade e Adequação do nome iiBoard

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Fraca	1	4,8	4,8
	Razoável	1	4,8	9,5
	Boa	15	71,4	81,0
	Muito Boa	4	19,0	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.22: Classificação da solução apresentada

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Razoável	3	14,3	14,3
	Boa	14	66,7	81,0
	Muito Boa	4	19,0	100,0
	Total	21	100,0	

Tabela 5.23: Preferência pela iiBoard numa eventual compra

		Freq. Absoluta	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada
Valid	Não	2	9,5	9,5
	Sim	19	90,5	100,0
	Total	21	100,0	

Analisando as tabelas preenchidas com os resultados do questionário, podem-se tirar conclusões interessantes. A maioria dos inquiridos, 81%, considera excessivo o preço actual dos quadros interactivos, o que deixa antever uma certa insatisfação e uma necessidade de ter uma solução alternativa mais acessível. Tanto a dificuldade de ligação da Wiimote ao computador como a dificuldade de execução da calibração foram minimizadas pela maioria dos utilizadores, pelo que esses aspectos não representam uma preocupação de uma eventual necessidade de melhoria.

No que à qualidade da calibração diz respeito, somente 4.8% dos inquiridos a consideraram fraca, sendo que os restantes a avaliaram com níveis perfeitamente aceitáveis. A maneabilidade do dispositivo de controlo e a sua capacidade em gerar os eventos de controlo foram avaliadas com níveis de razoável e bom, o que pode deixar antever uma necessidade de tentar melhorar o desempenho do dispositivo de controlo, de modo a garantir uma boa satisfação de uma maior parte dos utilizadores.

A aplicação *Notebook* também obteve avaliações parecidas, o que também deixa uma boa margem para melhorias, mas não deixa de ser positivo haver uma avaliação já de si boa de uma funcionalidade extra que se implementou para aumentar a satisfação do utilizador. 95.2% dos inquiridos classificaram a relação qualidade / preço da solução proposta de boa para cima, resultado que não poderia ser mais esclarecedor do sucesso quanto ao objectivo principal desta dissertação: a criação de um quadro interactivo com um bom desempenho e baixo custo.

O nome *iiBoard* com o qual se baptizou a aplicação também teve uma boa aceitação por parte de 90.4% dos inquiridos. A solução proposta foi classificada como boa por 66.7% dos inquiridos e como muito boa por 19%. No que à preferência de compra diz respeito, 90.5% dos inquiridos anunciaram dar preferência a esta solução, o que abriria boas expectativas no âmbito de um processo de comercialização do quadro interactivo.

Em seguida, apresenta-se o apuramento de evidências estatísticas relativas às hipóteses de estudo:

Tabela 5.24: Evidências estatísticas relativas às hipóteses de estudo

Variável	Hipóteses		P_Value	Evidências Estatísticas (nível de significância de 0,05)
	Hip. Nula	Hip. Alter.		
3.1	A distribuição das variáveis é idêntica nos dois grupos.	A distribuição das variáveis não é idêntica nos dois grupos.	0,978	Não há evidências estatísticas para afirmar que a distribuição das variáveis não é idêntica nos dois grupos.
3.2			0,439	
3.3			0,496	
3.4			0,213	
3.5			0,673	
3.6			0,317	
3.7			0,269	
3.8			0,258	
3.9			0,453	
3.10			0,685	
3.11			1,000	

Em relação aos dados obtidos relativamente aos valores prova e através do quadro resumo apresentado na Tabela 5.24, pode inferir-se que não há evidências estatísticas, a um nível de significância de 0.05, para afirmar que a distribuição das variáveis não são idênticas nos dois grupos, o que revela que ambos os grupos partilham da mesma opinião.

Outro tipo de análise foi sobre a independência das variáveis entre o tipo de grupo com experiência ou não na utilização de quadros interactivos e a preferência na compra da aplicação em relação a um quadro interactivo clássico. Para tal foram verificados os pressupostos de aplicação do teste de Qui-Quadrado para a independência de variáveis, em tabelas 2x2. Neste caso como mais de 20% das células vinham de valores esperados superiores a 5 não poderia ser lido o valor p do teste de Qui-Quadrado de *Pearson*, mas alternativamente o valor referente ao *Teste Exacto de Fisher*.

As hipóteses de estudo são, na hipótese nula (H0): a variável experiência com os quadros interactivos clássicos e a preferência pelo quadro interactivo *iiBoard* são independentes; enquanto que a hipótese alternativa (H1): a variável experiência com os

quadros interactivos clássicos e a preferência pelo quadro interactivo *iiBoard* estão associadas.

Tabela 5.25: Contingência (2x2) sobre experiência em quadros interactivos e opção de compra

		Opção de compra (preferência do iiBoard em relação a 1 quadro interactivo clássico)		Total
		Não	Sim	Não
Experiencia com quadros interactivos	Não	1	11	12
	Sim	1	8	9
Total		2	19	21

Como seria de esperar, utilizando o *Teste Exacto de Fisher* obtém-se o valor p ($\approx 1,000$) que é largamente superior ao nível de significância, portanto não se rejeita a hipótese nula. Assim sendo não existem evidências estatísticas, com $\alpha=0.05$, para afirmar que as variáveis estejam associadas. É comum a ambos os grupos a escolha pela aplicação do quadro interactivo de baixo custo. É de salientar que a maior parte dos indivíduos (mais de 90%) responderam sim à preferência deste quadro e que este facto não se deve ao desconhecimento do funcionamento e capacidades dos quadros interactivos dado que foi comum a ambos os grupos.

A seguir serão apresentadas a discussão e a análise dos resultados para melhor entender as razões e consequências deste estudo.

5.8.4 Discussão e Análise dos Resultados

Neste inquérito foram estudadas as repercussões que um quadro interactivo de baixo custo com bom desempenho pode ter nos utilizadores, principalmente as diferenças do nível de resposta, perante as diferenças de preços apresentadas relativamente às soluções presentes no mercado.

Os resultados obtidos esclarecem que a solução proposta teve uma boa aceitação, mas é ponto assente na opinião dos utilizadores que há sempre um ou dois pontos em que pode haver melhorias significativas.

É também de realçar que neste estudo, há alguns constrangimentos e limitações a focar, nomeadamente o facto de não ter sido efectuada a experiência em paralelo com um ou vários dos quadros interactivos que estão no mercado. Contudo, neste trabalho era importante que o inquirido estivesse à vontade para realizar os testes ao quadro

interactivo e para responder ao questionário, isto tendo ele um nível mínimo de conhecimentos informáticos e sobre quadros interactivos, sem no entanto necessitar de ter experiência na sua utilização. Outra limitação é o facto de a amostra ter sido por conveniência, ficando de fora outras possíveis análises sobre o modo como outros grupos de indivíduos responderiam a este tipo de conhecimento.

Outra consideração, trata-se do tempo de experiência que o grupo teve para utilizar o quadro. Em média a experiência com o quadro e o preenchimento do questionário foi de 30 minutos, o que, na maioria dos casos, é suficiente para a análise de todos os elementos disponíveis.

5.9 Sumário

Neste capítulo foi apresentado o desenvolvimento da aplicação informática relativa ao quadro interactivo de baixo custo criado. Foi necessário adaptar o componente para dispositivos *Bluetooth* do Delphi de modo a poder ligar duas Wiimotes ao mesmo tempo. Posto isto, foi criado um componente para descodificar as tramas provenientes da Wiimote, de modo a fornecer directamente essa informação sob a forma de variáveis do componente, sendo que se adicionou um componente para cada Wiimote, neste caso duas, e que o segundo pode ou não ser inicializado. Na janela principal da aplicação, houve a preocupação de apresentar algumas informações relativas à(s) Wiimote(s) conectada(s), como o estado das pilhas, o número de pontos infravermelhos visíveis, etc.

De modo a apurar se a frequência de recepção de relatórios é a espectável, criou-se um gráfico dinâmico que indica o tempo que decorreu entre a chegada de relatórios consecutivos, isto para os cem últimos. Por sua vez, a calibração foi implementada na aplicação de modo a poder ser inicializada ou cancelada tanto pelo computador como pela Wiimote.

O método de calibração implementado é de fácil execução, tem um algoritmo simples e robusto e apresentou níveis de precisão e exactidão acima dos esperados. Numa primeira fase assumiu-se que um erro de 1% na colocação do cursor do rato seria aceitável, e após o teste realizado concluiu-se que o erro médio máximo obtido não ultrapassou sequer 0.5%, o que validou por completo o método implementado.

Uma vez calibrado o quadro interactivo, é indicado o *tracking utilization* da Wiimote, sendo que esse valor consiste na percentagem da área total do sensor de infravermelhos usada para aqueles quatro pontos de calibração juntamente com o posicionamento actual da Wiimote em relação ao quadro. Esse valor é calculado com recurso às fórmulas (5.9), (5.10) e (5.11), sendo que W é a largura em pixels do

ambiente de trabalho do computador e H a altura do mesmo, também em pixels. As variáveis X_n e Y_n correspondem às coordenadas X e Y no sensor de infravermelhos do ponto de calibração n.

$$A_{total} = \left(1 - 2 \times \frac{35}{W}\right) \times 1024 \times \left(1 - 2 \times \frac{35}{H}\right) \times 768 \quad (5.9)$$

$$A_{actual} = \frac{|(X_2 - X_3) \times (Y_1 - Y_4) - (X_1 - X_4) \times (Y_2 - Y_3)|}{2} \quad (5.10)$$

$$TrackingUtilization = \frac{A_{actual}}{A_{total}} \times 100 \quad (5.11)$$

O cálculo da área total, logo a ideal, do sensor de infravermelhos é feito tendo em conta as margens dos pontos de calibração no ambiente de trabalho, sendo que as mesmas são sempre de 35 pixels.

Os eventos do rato foram implementados com comandos próprios do Delphi, sendo que a leitura das tramas foi feita da maneira mais rigorosa possível, sobretudo em termos temporais, de modo a evitar a execução de eventos indesejados e por outro lado de conseguir executar o máximo possível de eventos transmitidos pelo dispositivo de controlo.

De modo a aumentar o leque de funcionalidades da aplicação, foi desenvolvida uma aplicação de *Notebook* descrita anteriormente, que permite fazer apontamentos no ambiente de trabalho e guardar os mesmos em formato de imagem.

Foi ainda realizado um inquérito e estudo estatístico comprovando que utilizadores com ou sem experiência prévia com quadros interactivos têm preferência pela solução *iiBoard* implementada.

Capítulo 6

6. Conclusões e Perspectivas de Desenvolvimento

6.1 Conclusões

Neste trabalho foi apresentado o projecto e implementação de um quadro interactivo que, por se querer de baixo custo, foi desenvolvido tendo como base o comando Wiimote, cujo funcionamento foi devidamente estudado e apresentado. Foram também estudados emissores de infravermelhos e integrados geradores de sinais de maneira a apurar as repercussões que as variações das suas características teriam no desempenho do dispositivo de controlo que foi construído, de modo a escolher os modelos mais indicados do ponto de vista do desempenho e do preço.

Na parte da aplicação informática foi implementado um algoritmo de calibração eficiente, que nos permite relacionar as coordenadas do sensor de infravermelhos da Wiimote com as coordenadas do ambiente de trabalho do computador no qual está a correr a dita aplicação. Para evitar ao máximo a possibilidade de haver oclusão do led de infravermelhos do dispositivo de controlo, a aplicação oferece a possibilidade de serem utilizadas duas Wiimotes em simultâneo.

Os aspectos mais relevantes relativos à aplicação prática desenvolvida são:

- Construção de um dispositivo de controlo que permite emular quase todos os eventos do rato;
- Implementação de um método de calibração do quadro interactivo simples e robusto, cuja precisão e exactidão foram devidamente testadas;
- Aplicação flexível, que pode ser executada com uma ou duas Wiimotes, de modo a diminuir situações de oclusão do emissor de infravermelhos que permite o controlo do quadro;

- Implementação de um *Notebook* de modo a aumentar a utilidade da aplicação.

O sistema *iiBoard* desenvolvido constitui um protótipo de muito baixo custo de um quadro interactivo, possuindo no entanto as funcionalidades principais deste tipo de quadros. Dada a preferência demonstrada pelos utilizadores do *iiBoard*, conclui-se que não seria difícil transformar o protótipo numa solução comercial.

6.2 Perspectivas de Desenvolvimento

São várias as melhorias que este projecto ainda poderia sofrer. A principal limitação do projecto em si é o atraso de 360ms na execução dos eventos do rato implementados. Foi implementada uma transmissão por infravermelhos para não fugir muito às características base do projecto, que se baseava na comunicação do dispositivo de controlo com a Wiimote por infravermelhos e desta ultima com o computador por *Bluetooth*. No entanto, usando uma comunicação directa do dispositivo de controlo com o computador somente para a transmissão de eventos, como por exemplo radiofrequência, conseguir-se-ia tempos de reacção muito baixos, imperceptíveis para o utilizador. Obviamente o movimento do cursor do rato continuaria a ser em função dos dados recebidos da Wiimote, sendo que o seu desempenho nesse aspecto é impecável. O facto de usar uma transmissão diferente também abriria portas a implementar todos os eventos do rato, sem excepção, como por exemplo o duplo clique do botão direito ou até mesmo o *scroll*.

Por outro lado, é de considerar o uso de um filtro de Kalman para fundir a informação proveniente das duas Wiimotes, quando tal acontece, de modo a aumentar a performance da calibração, que já por si só apresenta níveis excelentes. Noutra perspectiva, o uso de um filtro de Kalman também poderia incidir em fazer uma estimativa do local onde colocar o cursor nos casos de oclusão do emissor de infravermelhos do dispositivo de controlo.

Do ponto de vista das funcionalidades da aplicação, para além do *Notebook*, seria interessante desenvolver uma aplicação que converta a escrita de tinta digital em texto digitalizado num documento como o *Word* ou o *Notepad*. Essa aplicação teria de ser provavelmente sujeita a uma calibração da leitura da escrita diferente para cada utilizador, mas uma vez calibrada tem condições para ser muito útil e eficiente. Também poderia ser implementada uma ajuda, em que ao escrever uma palavra, iriam aparecendo sugestões que constem de um dicionário, em função dos caracteres já escritos, de modo a se poder seleccionar a palavra desejada sem ter de escrever todos os seus caracteres.

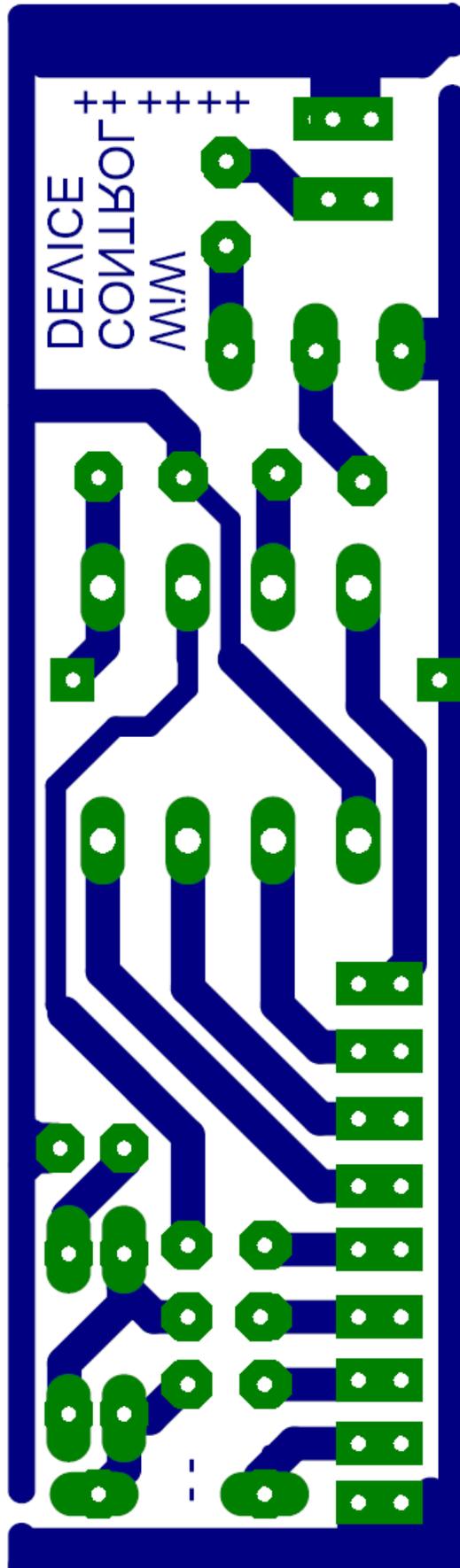
Por último, aquando a utilização de duas Wiimotes, seria de encarar a possibilidade de propor ao utilizador a possibilidade de alargar a área interactiva, sendo que ficaria cada metade da mesma à carga de uma Wiimote diferente, ou seja, perder-se-ia a redundância nas leituras, mas por outro lado aumentar-se-ia a resolução, sendo que no entanto passariam a ser necessários seis pontos de calibração, dois próprios a cada Wiimote e dois comuns, que corresponderiam à zona de separação da área interactiva.

Referências Bibliográficas

- [1] Wikipédia – Interactive Whiteboard, 2008 [Em Linha]. Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Interactive_whiteboard . [Consultado em 08/04/2008]
- [2] Ministério da Educação. – Plano Tecnológico da Educação, 2007 [Em Linha]. Disponível em http://www.escola.gov.pt/docs/me_pte_20080218.pdf . [Consultado em 25/03/2008]
- [3] Kitchen, et al. – Harnessing Technology schools survey, Coventry: Becta, 2007 [Em Linha]. Disponível em http://partners.becta.org.uk/upload-dir/downloads/page_documents/research/harnessing_technology_schools_survey07.pdf . [Consultado em 20/03/2008]
- [4] Lee, et al. – Method and system for calibrating projectors to arbitrarily shaped surfaces with discrete optical sensors mounted at the surfaces, 2006 [Em Linha]. Disponível em <http://patft1.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?patentnumber=7001023> . [Consultado em 08/04/2008]
- [5] Smart Technologies – Smart Board Interactive Whiteboards, 2008 [Em Linha]. Disponível em <http://www2.smarttech.com/st/en-US/Products/SMART+Boards/default.htm> . [Consultado em 01/04/2008]
- [6] Interwrite – Interwrite Board, 2008 [Em Linha]. Disponível em <http://www.interwritelearning.com/products/board/detail.html> . [Consultado em 01/04/2008]
- [7] Promethean – Activboard, 2008 [Em Linha]. Disponível em <http://www.prometheanworld.com/fr/server/show/nav.815> . [Consultado em 01/04/2008]
- [8] E-beam – eBeam Whiteboard, 2008 [Em Linha]. Disponível em <http://www.e-beam.com/products/whiteboard.html> . [Consultado em 01/04/2008]
- [9] Wedgwood – Interactive Whiteboards by Price, 2008 [Em Linha]. Disponível em http://www.wedgwood-group.com/whiteboards_by_price.htm . [Consultado em 15/04/2008]
- [10] Wiibrew – Wiimote, 2008 [Em Linha]. Disponível em <http://wiibrew.org/index.php?title=Wiimote> . [Consultado em 12/03/2008]
- [11] RS – HIRL5020, 2008 [Em Linha] Disponível em <http://uk.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=searchProducts&searchTerm=HIRL5020&x=0&y=0> [Consultado em 29/06/2008]
- [12] RS – SFH4200, 2008 [Em Linha] Disponível em <http://uk.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=searchProducts&searchTerm=SFH4200&x=18&y=17> [Consultado em 29/06/2008]

- [13] Fairchild – NE555 Datasheet, 2002 [Em Linha] Disponível em <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM555.pdf> [Consultado em 29/04/2008]
- [14] Farnell – NE555, 2007 [Em Linha] Disponível em <http://pt.farnell.com/1467742/semiconductors-integrated-circuits/product.us0?sku=stmicroelectronics-ne555n> [Consultado em 29/06/2008]
- [15] Microchip – PIC12F509 Datasheet, 2007 [Em Linha] Disponível em <http://ww1.microchip.com/downloads/jp/DeviceDoc/jp020170.pdf> [Consultado em 29/04/2008]
- [16] Farnell – PIC12F509, 2007 [Em Linha] Disponível em <http://pt.farnell.com/1269977/semiconductors-integrated-circuits/product.us0?sku=microchip-pic12f509-i-sm> [Consultado em 29/06/2008]
- [17] Atmel – AtTiny85V Datasheet, 2008 [Em Linha] Disponível em http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2586.pdf [Consultado em 29/04/2008]
- [18] Farnell – ATTINY85V, 2007 [Em Linha] Disponível em <http://pt.farnell.com/1455165/semiconductors-integrated-circuits/product.us0?sku=atmel-attiny85v-10pu> [Consultado em 29/06/2008]
- [19] Reisdorph, Kent – Delphi 4: Aprenda em 21 dias, Rio de Janeiro: Campus, 2000
- [20] Photogrammetrie – Gehversuche, 2005 [Em Linha] Disponível em <http://www.ottmarlabonde.de/L1/ProjTraf2.htm> . [Consultado em 11/04/2008]
- [21] The MathWorks – Reduced row echelon form, 2008 [Em Linha] Disponível em <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/techdoc/ref/rref.html> [Consultado em 13/04/2008]
- [22] Hill, Manuela M. e Hill, Andrew – Investigação por Questionário, Lisboa: Edições Sílabo, Lda, 2ª Edição, 2005
- [23] Faria, B.M. – Síntese de Imagem Baseada em Light Fields: Conceção e Desenvolvimento de uma Aplicação Didáctica, Tese de Mestrado em Tecnologia Multimédia, Faculdade de Engenharia do Porto, 2007
- [24] SPSS Inc – SPSS, Data Mining, Statistical Analysis Software, Predictive Analysis, 2008 [Em Linha] Disponível em <http://www.spss.com/> [Consultado em 27/06/2008]

Anexo 1- Esquema da placa de circuito impresso do dispositivo de controlo



Anexo 2- Algoritmo do método rref para Delphi

```

i := 0; j := 0;
while (i < m) and (j < n) do
begin
  maxv := Matrix[i,j];
  maxi := i;
  for k := i+1 to m-1 do
  begin
    if abs(Matrix[k,j]) > abs(maxv) then
    begin
      maxv := Matrix[k,j];
      maxi := k;
    end;
  end;
  for k := 0 to n-1 do
  begin
    linha[k] := Matrix[i,k];
    Matrix[i,k] := Matrix[maxi,k];
  end;
  for k := 0 to n-1 do
  begin
    Matrix[maxi,k] := linha[k];
  end;
  for k := 0 to n-1 do
  begin
    Matrix[i,k] := Matrix[i,k] / maxv;
  end;
  for u := i+1 to m-1 do
  begin
    divv := Matrix[u,j] / Matrix[i,j];
    for k := 0 to n-1 do
    begin
      Matrix[u,k] := Matrix[u,k] - divv * Matrix[i,k];
    end;
  end;
  for u := 0 to i-1 do
  begin
    divv := Matrix[u,j] / Matrix[i,j];
    for k := 0 to n-1 do
    begin
      Matrix[u,k] := Matrix[u,k] - divv * Matrix[i,k];
    end;
  end;
  i := i + 1;
  j := j + 1;
end;
end;

```

Anexo 3- Tabela Excel com os Resultados do Inquérito

Anexo 4- Questionário sobre o Quadro Interactivo de baixo custo

QUESTIONÁRIO

Quadro Interactivo de baixo custo

O objectivo deste inquérito é apurar junto de pessoas isentas e qualificadas o nível de aceitação do quadro interactivo proposto, em função do custo e do desempenho do mesmo.

Nos pontos 1 e 2 pretende-se obter algumas informações sobre o inquirido e os seus conhecimentos nas áreas em causa.

No ponto 3 as perguntas são orientadas às impressões do inquirido após a realização de um pequeno teste do quadro interactivo proposto.

Para a utilização do quadro interactivo, o primeiro passo consiste em ligar a Wiimote ao computador, sendo que para tal deve-se pressionar o botão 1 e 2 da mesma, ficando então disponível para ligação ao computador via *Bluetooth* durante os 20 segundos seguintes.

Uma vez a Wiimote conectada, a aplicação é arrancada através do executável “WiWproject.exe”.

Se a aplicação ainda não tiver sido calibrada para o actual posicionamento da Wiimote, tal pode ser feito pressionando o botão para esse efeito na aplicação ou o botão A da Wiimote. Após isso basta seleccionar, com o dispositivo de controlo em modo calibração, os quatro pontos de calibração.

Com a aplicação devidamente calibrada e o dispositivo de controlo em modo de funcionamento contínuo, estamos então aptos a utilizar a iiBoard!

Os quadros interactivos têm, generalizando, um preço sempre a rondar os 2000, 3000 euros. Esta solução, Wiimote incluída, tem um custo de aproximadamente 50 euros.

iiBoard foi o nome escolhido para a aplicação, “i” para interactivo, sendo que o “i” duplicado é para fazer referência ao uso da Wiimote cujo nome apresenta dois “i”, e “board” da palavra inglesa para “quadro”, resumindo então num único nome o uso da Wiimote para implementação de um quadro interactivo.

1. Identificação do inquirido

1.1. Idade _____

1.2. Sexo M F

1.3. Habilitações Literárias

Até ao 12º ano de escolaridade	<input type="checkbox"/>
Curso técnico-profissional	<input type="checkbox"/>
Bacharelato	<input type="checkbox"/>
Licenciatura	<input type="checkbox"/>
Mestrado	<input type="checkbox"/>
Doutoramento	<input type="checkbox"/>

1.4. Profissão _____



QUESTIONÁRIO

2. Informações Gerais sobre o Inquirido

2.1. Experiência Informática	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.2. Experiência Docente	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.3. Experiência de utilização de quadros interactivos	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.4. Experiência de utilização de quadros interactivos de tecnologias / marcas diferentes	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.5. Áreas de uso de quadros interactivos	Escolar <input type="checkbox"/>	Profissional <input type="checkbox"/>	Pessoal <input type="checkbox"/>	Outra <input type="checkbox"/>	Nenhuma <input type="checkbox"/>
2.6. O preço actual dos quadros interactivos é	Muito Baixo <input type="checkbox"/>	Baixo <input type="checkbox"/>	Correcto <input type="checkbox"/>	Excessivo <input type="checkbox"/>	Proibitivo <input type="checkbox"/>
2.7. Que importância dá às funcionalidades extra dos quadros interactivos	Nenhuma <input type="checkbox"/>	Pouca <input type="checkbox"/>	Alguma <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muita <input type="checkbox"/>
2.8. Conhecimento sobre o funcionamento da Wiimote	Nenhum <input type="checkbox"/>	Pouco <input type="checkbox"/>	Algum <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Muito <input type="checkbox"/>
2.9. Tem alguma Nintendo Wii, mais concretamente uma Wiimote	Não <input type="checkbox"/>		Sim <input type="checkbox"/>		



QUESTIONÁRIO

3. O Quadro Interactivo testado (iiBoard)

3.1. Como classifica a dificuldade de ligação da Wiimote ao computador	Muito Difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Fácil <input type="checkbox"/>	Muito Fácil <input type="checkbox"/>
3.2. Como classifica a dificuldade de execução da calibração	Muito Difícil <input type="checkbox"/>	Difícil <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Fácil <input type="checkbox"/>	Muito Fácil <input type="checkbox"/>
3.3. Como classifica a qualidade da calibração	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Boa <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.4. Como classifica a maneabilidade do dispositivo de controlo	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Boa <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.5. Como classifica a performance da emulação do rato pelo conjunto dispositivo de controlo / aplicação	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Boa <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.6. Como classifica o aspecto gráfico da aplicação	Muito Fraco <input type="checkbox"/>	Fraco <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Bom <input type="checkbox"/>	Muito Bom <input type="checkbox"/>
3.7. Como classifica a aplicação Notebook implementada	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Boa <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.8. Como classifica a relação qualidade / preço da solução proposta	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Boa <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.9. Considera o nome iiBoard atractivo e adequado ao produto	Muito Pouco <input type="checkbox"/>	Pouco <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Muito <input type="checkbox"/>
3.10. De forma geral, como classifica a solução apresentada	Muito Fraca <input type="checkbox"/>	Fraca <input type="checkbox"/>	Razoável <input type="checkbox"/>	Boa <input type="checkbox"/>	Muito Boa <input type="checkbox"/>
3.11 Em caso de compra, daria preferência a esta aplicação em relação a um quadro interactivo clássico	Não <input type="checkbox"/>		Sim <input type="checkbox"/>		

Obrigado pela colaboração!