

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Interface avançada para orientação geográfica

Diogo Miguel Raposo Soares



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Diamantino Rui da Silva Freitas

24 de Julho de 2017

Resumo

A bússola magnética é uma das ferramentas mais básicas usadas para a orientação e navegação pedonal. É usada para dar uma direção precisa do Pólo Norte magnético da terra para que os seus utilizadores tenham uma direção de referência durante as atividades de orientação e navegação.

Com o aparecimento dos *smartphones* e o constante crescimento do seu número de utilizadores, a bússola tradicional tem já muitas alternativas sob a forma de aplicações que emulam o comportamento da mesma através de sensores e uma interface visual, existindo um caso com interface vibrátil. Encontrando-se praticamente apenas aplicações com acesso a uma interface visual, o utilizador é forçado a olhar para o seu *smartphone*, distraíndo-se e perdendo atenção aos obstáculos no seu caminho. Para além disto, este tipo de interface é inútil para pessoas com problemas graves de visão ou até mesmo cegas.

A ideia que se encontra na génese do atual projeto é criar uma interface multimédia avançada que integre as funções da bússola tradicional com uma adequada disponibilização de informação áudio e háptica ou vibratória, permitindo uma interação sem o olhar (*eyes-free*). A criação desta interface tem como objetivo dar uma boa perceção de direção, durante atividades de navegação, sendo a menos intrusiva possível para os sentidos do utilizador, uma vez que os mesmos são essenciais para evitar os mencionados obstáculos, para estar alerta a situações de perigo e para ter percepção do que acontece no ambiente.

Para conseguir desenvolver uma interface que cumpra estes requisitos, foram estudadas e avaliadas as diferentes formas de interagir e dar *feedback* aos utilizadores e foram seleccionadas aquelas que são úteis e mais viáveis para uma solução final. A utilização de dispositivos de vibração que podem ser vestidos (*wearable*) e de áudio por condução óssea, contribui para criar esta interface “*eyes-free*”, utilizável pela maioria das pessoas. Por outro lado, as bússolas electrónicas têm o problema de ser afetadas por alterações do campo magnético em redor, tendo este problema de ser atenuado dentro do possível, para que a informação dada aos utilizadores seja a mais fiável possível e idêntica, se não melhor, que a da bússola tradicional.

A utilidade desta interface inovadora, por um lado torna inclusivo o uso da bússola para pessoas com diversos tipos de deficiências e, por outro, vem diminuir a distração introduzida pelo uso de uma bússola de quadrante, diminuindo o risco de acidentes.

O resultado do desenvolvimento foi alvo de testes preliminares, com possíveis utilizadores da aplicação, alguns deles cegos e os resultados indicam um bom potencial para a criação de um produto.

Abstract

The magnetic compass is one of the most basic tools used for pedestrian navigation and orientation, it is used to give a precise direction to the users. With the fast development of smartphone use, the traditional compass was many times replaced by sensors and applications that emulate its behaviour and show a similar visual feedback to the users. Most of the applications found, provide only a visual interface, forcing the user to look at the smartphone, thereby losing awareness of the obstacles in his path. Also, this type of interface is useless for blind or visually impaired people.

The idea is to create an advanced multimedia interface which integrates the functions of a traditional compass with audio, haptic and vibrational feedback, that may provide a highly usable "eyes-free" interaction. This advanced multimedia interface will give a good perception of direction, while doing pedestrian navigation activities, and it will be as barely intrusive as possible to the user's senses, since they are essential to avoid obstacles and to be aware of danger in general.

Innovative user feedback interfaces like wearable vibration devices and bone conduction audio were used, as they give the ability to have an "eyes-free" interface that is usable by almost everyone and interacts with the users without disturbing all of the other senses. The preservation of the senses is important to avoid dangerous situations and even more for people who have to rely mostly on one of the senses to compensate the lack of another.

To provide an interface that meets all the specifications described above, different ways to interact and give feedback to the users were studied and evaluated and then a selection of them were implemented to build the final application. Also, it is known that the calculation of heading can be affected by changes in the magnetic field around the magnetometer in our smartphones and this was addressed to give trustworthy information to the users.

This innovative device, in the author's opinion, will diminish the number of accidents of people who get distracted from the rest of the world while using their smartphone. On the other hand, it will help disabled people, who otherwise were discriminated when a device is invented to fulfill everyone else's needs without thinking about their own needs in particular. Therefore, this is mainly what makes this application stand out from what already exists.

The prototype application was object of preliminar tests, with the help of potential users, some of them blind and the results show that the app has a good potential to evolve to a specific product.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à minha família em especial os meus pais, que tornaram possível a concretização de um sonho, me incentivaram a dar sempre o meu melhor e a seguir aquilo que gosto. E à minha irmã por me animar e fazer rir sempre que preciso.

À minha avó Elvira e ao senhor Evaristo pelo apoio que me deram durante estes cinco anos de curso.

À Maria Dulce, minha namorada, obrigado por toda a ajuda, paciência e por estares sempre presente mesmo estando separados por muitos quilómetros.

Aos meus amigos, que me apoiaram e tornaram melhor a minha passagem por esta etapa tão importante na minha vida. Que venham muitos mais anos de palhaçada e passeios aleatórios pela cidade do Porto.

Aos João Morgado, Mariana Fernandes, Paulo Costa, João Fernandes, Francisco Figueiredo e Domingos Ferreira, pela disponibilidade e atenção na realização dos testes da aplicação criada.

Por fim, ao Professor Doutor Diamantino Freitas, pela orientação na minha dissertação, por toda a ajuda e contribuição na realização deste trabalho.

“We are changing the world with technology”
Bill Gates

Conteúdo

Introdução.....	1
1.1 Contexto e Enquadramento	1
1.2 Motivação e Objetivos	1
1.3 Principais Resultados Alcançados.....	2
1.4 Estrutura do Documento.....	2
Revisão Bibliográfica	4
2.1 Bússola	4
2.1.1 Campo Magnético Terrestre	5
2.1.2 Princípio de funcionamento da bússola clássica	6
2.1.3 Problemas e Interferências	6
2.2 Utilização	7
2.2.1 A Rosa dos Ventos	7
2.2.2 Tipos de bússolas	7
2.2.3 Comunicação das indicações geográficas	8
2.3 <i>Smartphones</i>	10
2.3.1 Magnetómetros.....	11
2.3.2 Aplicações informáticas existentes	12
2.4 Condições de utilização da bússola.....	15
2.5 Conclusão	15
Interface avançada para orientação geográfica	17
3.1 Introdução	17
3.2 Utilização dos sensores para a função de bússola	18
3.2.1 Métodos de correção	19
Calibração da posição do suporte	21
3.3 Métodos de entrega da informação de orientação	22
3.3.1 Indicações visuais.....	22
3.3.2 Indicações auditivas	23
3.3.3 Indicações Hápticas ou Vibráteis	23
3.3.4 Periodicidade da Entrega de Informação.....	24

3.4	Dispositivos Externos.....	24
3.4.1	Magnetómetros externos	24
3.4.2	Áudio através de <i>Bone Conduction</i>	24
3.4.3	Vibração <i>Wearable</i>	26
3.5	Metodologia de desenvolvimento da aplicação.....	27
3.5.1	Testes de Desenvolvimento.....	28
Implementação		29
4.1	Arquitetura	29
4.1.1	Requisitos.....	29
4.1.2	Casos de uso.....	31
4.1.3	Classes Criadas.....	32
4.1.3.1	<i>Data</i>	36
4.1.3.2	<i>CompassEngine</i>	36
4.1.3.3	<i>VibratorEngine, SoundEngine e ScreenEngine</i>	36
4.1.3.4	<i>Bluetooth</i>	36
4.1.4	Ciclo de vida da aplicação.....	37
4.2	Controlo de Sensores e Indicação de direção.....	37
4.2.1	Filtragem	38
4.2.2	Calculo da direção	38
4.3	Interface Visual	39
4.3.1	Indicação textual	40
4.3.2	Simulação de quadrante	40
4.3.3	Visualização em perspectiva	41
4.3.4	Menu de Definições	42
4.3.5	Interface Visual Final	43
4.4	Interface Áudio.....	43
4.4.1	Áudio Monaural Simples	44
4.4.2	Áudio estéreo bilateral	45
4.4.3	<i>Feedback</i> Falado	46
4.4.4	Áudio Espacial Binaural.....	46
4.5	Interface Vibrátil	47
4.5.1	Vibração Simples do Dispositivo	48
4.5.2	Vibração de pulseiras <i>Wearable</i>	49
4.6	Seleção da Direção Pretendida	50
4.7	Calibração da posição do telemóvel.....	51
4.8	Correção da declinação magnética	52
Testes		53
5.1	Tipos de Testes.....	53
5.1.1	Testes de precisão em relação a uma bússola magnética clássica. 53	

5.1.2	Testes com utilizadores	54
5.2	Local.....	55
5.3	Procedimentos	55
5.3.1.1	Teste estáticos	56
5.3.1.2	Teste em movimento	56
5.4	Resultados	57
5.4.1	Resultados dos Testes Estáticos	57
5.4.1.1	Com visão	57
5.4.1.2	Sem visão	58
5.4.2	Resultados dos Testes em movimento	58
5.4.2.1	Com visão	58
5.4.2.2	Sem visão	61
5.4.3	Testes de Opinião e Sugestões	66
5.5	Conclusões	67
Conclusão e Trabalho Futuro		69
6.1	Perspetivas de Desenvolvimento	70
Referências e Bibliografia.....		72

Lista de Figuras

Figura 1 - Si Nan - A primeira bússola chinesa (séc. I a.C.)	4
Figura 2 – Vista do campo magnético de um íman cilíndrico	5
Figura 3 – Ilustração do desvio entre os polos magnéticos e geográficos	5
Figura 4 - A bússola segue a direção das linhas de campo	6
Figura 5 - Rosa dos Ventos	7
Figura 6 - Pace Notes	8
Figura 7 - Aplicação Google Maps	9
Figura 8 - Indicações horárias	10
Figura 9 - Componentes x, y e z do magnetómetro de um smartphone	11
Figura 10 - Efeito de hall	12
Figura 11 – Bússola clássica e aplicação móvel de bússola	12
Figura 12 - Aplicação Compass 360 Pro	13
Figura 13 - Aplicação Digital Compass	13
Figura 14 - Aplicação 3D Compass Plus	14
Figura 15 - Aplicação Magnetic Sense	14
Figura 16 - Cota de mercado dos diferentes sistemas operativos móveis	18
Figura 17 - vector da gravidade em relação aos eixos do acelerómetro	19
Figura 18 – Wiimote e os seus eixos	20
Figura 19 - eixos de rotação do giroscópio de um smartphone	20
Figura 20 – Planos e eixos de movimento do ser humano	21
Figura 21 - Condução do som através do crânio	25
Figura 22 - Auscultadores Bone Conduction via bluetooth (Amazon, Bone Conduction headphones 2016)	25
Figura 23 - Auscultadores Bone Conduction via cabo (Amazon, Aftershokz Bone Conduction 2016)	26
Figura 24 - Smart Bracelet (Amazon, Smart Wristband 2016)	27
Figura 25 - Diagrama de casos de uso	31
Figura 26 - Diagrama de classes 1/3	33
Figura 27 - Diagrama de classes 2/3	34
Figura 28 - Diagrama de classes 3/3	35

Figura 29 - Ciclo de vida da aplicação	37
Figura 30 - eixos do dispositivo móvel e do planeta	39
Figura 31 - Esquema do ecrã inicial	40
Figura 32 - Quadrante bússola	41
Figura 33 - eixos de rotação	41
Figura 34 – Seta 3D e plano de terra	42
Figura 35 - Menu de Definições	42
Figura 36 - Interface Visual	43
Figura 37 - Divisão dos 360° em quadrantes para o feedback mono	44
Figura 38 - Divisão dos 360° no feedback estéreo	45
Figura 39 - Áudio Binaural+	47
Figura 40 - Divisão dos 360° no feedback vibratório simples	48
Figura 41 - Divisão dos 360° para o feedback vibratório com pulseiras	49
Figura 42 - Seleção de direção	51
Figura 43 - World Magnetic Model	52
Figura 44 - Declinação Magnética	52
Figura 45 - Smartphone colocado num arnês	54
Figura 46 - Local de testes FADEUP	55
Figura 47 - Teste com bússola clássica	59
Figura 48 - Teste com bússola electrónica	60
Figura 49 - Teste 1 com feedback estéreo bilateral	61
Figura 50 - Teste 2 com feedback estéreo bilateral	62
Figura 51 - Teste 1 com feedback binaural	63
Figura 52 - Teste 2 com feedback binaural	64
Figura 53 - Teste 1 com feedback vibratório bilateral	65
Figura 54 - Teste 2 com feedback vibratório bilateral	66

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Indicações sonoras entre navios	9
Tabela 2 – Requisitos da aplicação	30
Tabela 3 - Informações sobre os utilizadores testados	57

Abreviaturas e Símbolos

API – Application Programming Interface

ATTS – Android Text To Speech

BLE – Bluetooth Low Energy

FIR – Finite Impulse Response

Gatt – Generic Attribute Profile

Google VR – Google Virtual Reality Api

HRTF – Head Related Transfer Functions

IIR – Infinite Impulse Response

MEMS – Micro Electromagnetic Systems

MIPS – Million Instructions Per Second

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo será introduzido o tema da dissertação, dando-lhe o respetivo contexto e uma visão geral sobre aquilo que vai ser abordado ao longo da mesma, bem como a estrutura deste documento.

1.1 Contexto e Enquadramento

A utilização da bússola durante a navegação pedonal ou simples orientação é essencial, pois a mesma permite que o seu utilizador tenha uma indicação fiável da direção para onde se desloca ou que lhe interessa. A tradicional bússola magnética indica-nos a direção do Pólo Norte magnético, através do campo magnético terrestre. Essa direção, em conjunto com um mapa, permite aos seus utilizadores percorrer e identificar rotas, em situações em que não existam marcos ou pontos de referência.

O aparecimento dos *smartphones* e a evolução dos seus sensores, tornou possível a simulação da bússola magnética, contudo, as interfaces mais conhecidas baseiam-se no *meio* visual, tal como a tradicional bússola de quadrante, ocupando a visão do utilizador, desviando a sua atenção para possíveis obstáculos e impossibilitando o seu uso por parte dos cegos.

1.2 Motivação e Objetivos

A motivação deste trabalho surge da necessidade de encontrar uma solução capaz de integrar a funcionalidade de uma bússola magnética, com uma interface que permita não só que um grupo mais alargado de pessoas a possam utilizar, como também facilite a utilização das bússolas em

geral nas mais diversas situações, nas quais se incluem também algumas situações sem mãos (*hands-free*).

O objetivo é utilizar os *smartphones* e os sensores que neles se encontram integrados, tais como o magnetómetro, acelerómetro e o giroscópio, para criar uma interface avançada, com componentes vibrátil, háptica e de áudio, em conjunto com uma interface visual agradável, rigorosa e de fácil utilização.

Esta interface vem então permitir um funcionamento “eyes-free” e um nível elevado de usabilidade, que permite que a perceção da direção desejada durante atividades de navegação pedonal seja direta e intuitiva.

1.3 Principais Resultados Alcançados

Com a realização do presente trabalho foi realizada uma revisão ao estado da arte, estudado o funcionamento dos diferentes componentes presentes nos *smartphones* que permitam a criação de uma aplicação deste tipo, estudados os diferentes tipos de *feedback* a transmitir ao utilizador, analisando qual a melhor maneira de transmitir cada um deles e analisados as soluções já existentes no mercado para problemas semelhantes.

Deste estudo foram lançadas as atividades necessárias para a produção de uma aplicação capaz de assegurar as funcionalidades esperadas e a comunicação de toda a interface, nomeadamente, o levantamento de requisitos, o desenho da arquitetura e interface da aplicação, a aquisição de componentes de interface com o utilizador, o desenvolvimento e teste do código e finalmente os testes realizados com utilizadores num contexto real de uso da aplicação.

1.4 Estrutura do Documento

Para além desta introdução, esta dissertação contém mais 5 capítulos.

No capítulo 2, é descrito o estado da arte, são apresentados trabalhos relacionados e tecnologias relacionadas.

No capítulo 3, é apresentada uma visão sobre o problema com maior detalhe e são apresentadas possíveis soluções para o mesmo, discutindo cada uma delas.

No capítulo 4, é descrita a implementação da aplicação desenvolvida, a arquitetura adotada e o modo como foram resolvidos os problemas enfrentados.

No capítulo 5, são descritos os testes realizados, assim como os resultados obtidos e a sua avaliação.

Por fim, no capítulo 6, são tiradas conclusões sobre o trabalho realizado até à data da elaboração deste documento, e são apresentadas possíveis melhorias e trabalho a realizar posteriormente.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta uma visão geral sobre os tópicos relevantes para o estudo do tema desta dissertação e em que estado se encontra o desenvolvimento deste tipo de aplicação. Estes tópicos dão uma base teórica sólida e um melhor conhecimento sobre os conceitos e tecnologias que suportam o tema. O capítulo começa pela introdução do conceito de bússola e mostra abreviadamente a ciência por detrás do seu funcionamento, seguido do seu modo de utilização, da tecnologia móvel já existente e, por fim, é feita uma revisão crítica à utilização tradicional da bússola e os problemas que daí advêm, justificando a razão para o desenvolvimento desta dissertação.

2.1 Bússola

A bússola surgiu na China no século I a.C. sendo a população chinesa a primeira a saber utilizar a magnetite para encontrar os pontos cardeais. A primeira bússola chinesa conhecida como Si Nan, era composta por um prato quadrangular representativo da terra e onde uma colher de magnetite pousada no centro indicava o Sul. (A-origem-das-coisas 2017)



Figura 1 - Si Nan - A primeira bússola chinesa (séc. I a.C.)

A bússola magnética é um instrumento de navegação e orientação que tira proveito do campo magnético existente na terra, indicando em qualquer momento a direção local da linha de força do campo existente entre os pólos magnético do Sul e do Norte da Terra. A localização geográfica do Pólo Norte magnético é aproximadamente simétrica da do pólo sul magnético e, por esta razão, a bússola é utilizada para indicar a direção do Pólo Norte.

2.1.1 Campo Magnético Terrestre

De uma maneira simples, o campo magnético da Terra pode ser definido como o campo magnético de um íman de barra cilíndrico. Pode imaginar-se que no interior da terra existe um íman cilíndrico, com a mesma orientação que o seu eixo de rotação, com os Pólos Norte e Sul nas mesmas posições ocupadas pelos respectivos pólos terrestres, sendo o campo magnético semelhante ao ilustrado na figura 2.

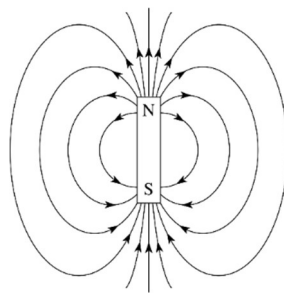


Figura 2 – Vista do campo magnético de um íman cilíndrico

Fonte: http://www.met.reading.ac.uk/pplato2/h-flap/phys4_2.html

Este modelo não representa completamente a realidade, porque que os pólos magnéticos da Terra não são pontos fixos, sofrem ligeiras alterações de posição geográfica devido às alterações do campo magnético da Terra e a forma das linhas de força não é exatamente a real. Para além disso, se for traçado um eixo entre os pólos sul e norte magnéticos, esse eixo não coincide com o eixo de rotação da terra, havendo um desvio de aproximadamente 11 graus entre os 2.

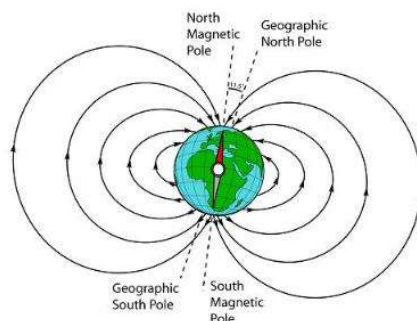


Figura 3 – Ilustração do desvio entre os polos magnéticos e geográficos

Fonte: <http://www.brad.ac.uk/archaeomagnetism/archaeomagnetic-dating/introduction-to-archaeomagnetism/magnetic-field/>

Por consequência, é necessário ter em conta este desvio no momento da utilização da bússola.

2.1.2 Princípio de funcionamento da bússola clássica

A bússola tradicional é constituída por uma agulha magnetizada suspensa pelo seu centro de gravidade, com um ponto de rotação com atrito nulo ou muito baixo, para que a mesma se possa orientar livremente, consoante a direção das linhas de campo magnético a que estiver sujeita. A aproximação de pólos opostos de dois ímanes, provoca uma força atrativa entre eles, contudo, aproximando os pólos semelhantes é provocada uma força repulsiva (Jaime E. Villate 2013).

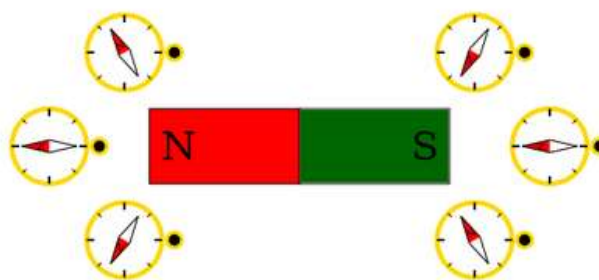


Figura 4 - A bússola segue a direção das linhas de campo

Fonte : [Eletricidade, Magnetismo e Circuitos](#), Jaime Villate

Uma vez que a própria agulha é um íman, o pólo norte da agulha aponta para o pólo sul magnético da Terra, como se pode observar na Figura 4.

2.1.3 Problemas e Interferências

Tal como foi acima referido, a direção para onde a bússola aponta não corresponde ao verdadeiro Pólo Norte geográfico, o que leva a que a direção dada pela bússola nunca seja o verdadeiro Norte. Para além disto, o campo magnético da Terra não é uniforme, variando consoante a localização geográfica, mostrando outras causas para a diferença observada entre a direção dada pela bússola e a verdadeira direção do Pólo Norte. A diferença total é denominada de declinação magnética e, a fim de contornar este problema, os utilizadores da bússola têm de utilizar meios que lhes forneçam um valor aproximado da declinação no ponto geográfico. A agulha da bússola pode também ser influenciada por interferências externas, tais como as provocadas pela presença de objetos metálicos ou magnéticos, equipamentos eletrónicos, edifícios e fontes de energia elétrica, todas causando a leitura errada da orientação do campo magnético.

O cancelamento ou atenuação dos efeitos destas interferências externas é muito complexo, não sendo objetivo deste estudo.

2.2 Utilização

A bússola é utilizada pelo ser humano em conjunto com mapas cartográficos e outros instrumentos de navegação e orientação, para encontrar e determinar direções para o cálculo de rotas. A sua invenção teve como referência a rosa dos ventos, que é composta pelos pontos cardeais, colaterais e subcolaterais.

2.2.1 A Rosa dos Ventos

A rosa dos ventos é uma ilustração dos pontos cardeais e os seus intermediários, que serve de instrumento para a navegação geográfica, utilizada para auxiliar na localização de um destino em relação a um ponto de partida (Bianchini 2015). Foi criada no século XIV para ilustrar mapas cartográficos, com base na direção dos ventos sentidos pelos marinheiros no mar Mediterrâneo, tendo cada um dos pontos cardeais o mesmo nome que cada um desses ventos.

Os seus pontos cardeais eram então chamados de: Tramontana ou Norte (N), Ostro ou Sul (S), Levante ou Este (E), Ponente ou Oeste (W), ilustrados na figura 5.

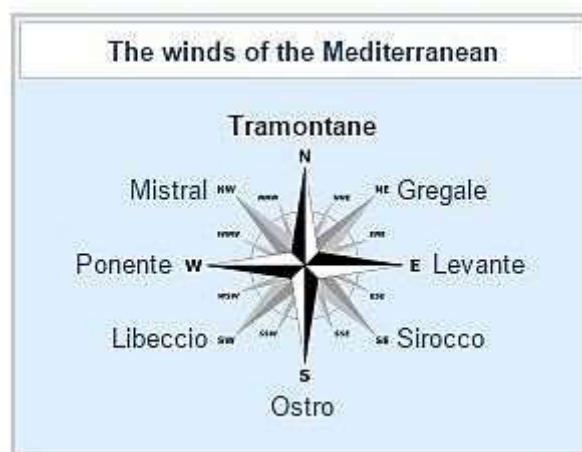


Figura 5 - Rosa dos Ventos

Fonte: Wikipedia

Estes pontos tornaram a leitura de mapas mais intuitiva, dando uma percepção de orientação e direção entre as diferentes regiões existentes nos mesmos.

2.2.2 Tipos de bússolas

Ao longo dos tempos, com a evolução da tecnologia e o surgimento de novos meios de transporte a bússola foi sendo aperfeiçoada, para que a sua utilização seja possível nas mais diversas áreas da navegação. Para além da navegação naval, a principal razão para o seu

surgimento, a bússola é utilizada pelo ser humano para um grande numero de propósitos, o que levou ao surgimento de diferentes tipos de bússolas, cada um deles com o objetivo de melhorar a leitura da mesma num determinado tipo de situação.

Os principais tipos de bússola magnéticas são:

- Bússola cartográfica – tem a sua base transparente de maneira a que o seu uso possa ser combinado sem que interfira com a visualização do mapa;
- Bússola Náutica – é utilizada normalmente em navios, construída com escala móvel em 3 direções incluindo a rotação azimutal, para compensar as oscilações longitudinais e transversais sentidas e para que estas não afetem a leitura;
- Bússola Eletrónica – é composta por um ecrã que indica qual a orientação atual, orientação essa que é obtida com recurso a sensores de hall no seu interior.
- Combinação da bússola magnética com o giroscópio – este tipo de bússola utiliza a componente magnética para descobrir a direção do Norte, para calibrar o giroscópio que por sua vez conservará essa direção, evitando que interferências no campo magnético interfiram com a direção dada;

Além destas existem ainda bússolas não magnéticas, tais como:

- Bússola giroscópica – é um tipo especial de bússola que aponta para o norte geográfico, utilizando as propriedades de um giroscópio para descobrir qual o a direção do eixo de rotação da terra;

2.2.3 Comunicação das indicações geográficas

As atividades de navegação muitas vezes são acompanhadas por indicações verbais, como é o caso de atividade náuticas, aéreas e terrestres dos foros civil ou militar.

Por exemplo nos desportos motorizados como o *rally*, o co-piloto dá informações sobre as curvas do o percurso a percorrer através de descrições simples, as chamadas *Pace Notes*. (ver Figura 6 em inglês)



Figura 6 - Pace Notes

Fonte : <http://blog.codemasters.com/dirt/04/co-driver-calls-explained/>

Neste caso das curvas a indicação é verbalizada e dá o sentido da mesma, seguido de um número de 1 a 6, que indica o seu grau de curvatura, sendo por exemplo “*right 1*” e “*right 6*” as denominações das curvas com maior e menor angulo, respectivamente.

As aplicações de navegação como o Google Maps utilizam a síntese de voz para dar indicações aos utilizadores através de frases simples.

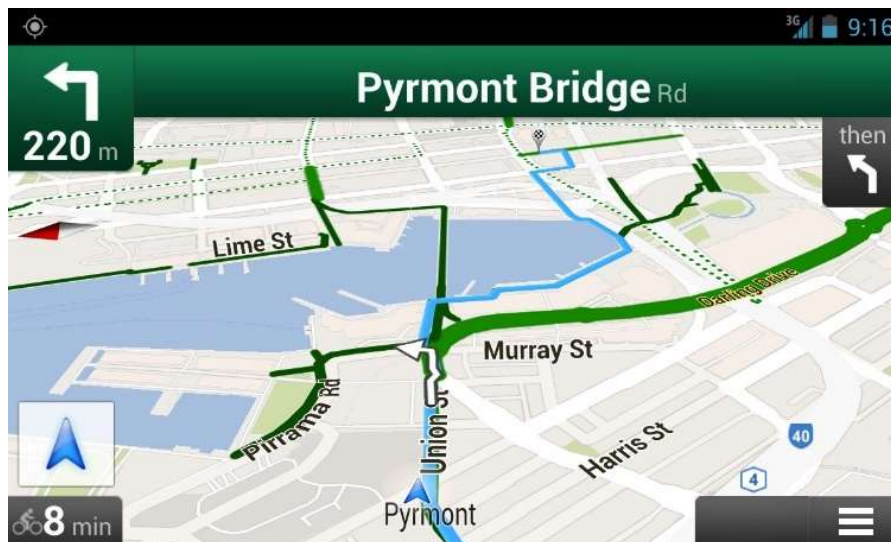


Figura 7 - Aplicação Google Maps

As indicações dadas são indicações de distancia e de direção a tomar nas saídas, intercepções e cruzamentos, como por exemplo vire na próxima à esquerda ou na rotunda saia na segunda saída.

No meio náutico são também utilizados sinais sonoros entre os diferentes navios para assinalar manobras, com o intuito de evitar abalroamentos (cruzeiros 2017).

SINAL	Significado
.	estou guinando para estibordo
..	estou guinando para bombordo
...	as minhas máquinas estão a trabalhar à ré
....	não compreendo as suas intenções
--.	tenciono passá-lo por estibordo
-. .	tenciono passá-lo por bombordo
- . .	pode passar

Tabela 1 - Indicações sonoras entre navios

É também bastante comum usar direções horárias, ou seja, indicações dadas a partir das doze horas existentes no mostrador de um relógio, sendo as doze horas a direção para a frente da pessoa.

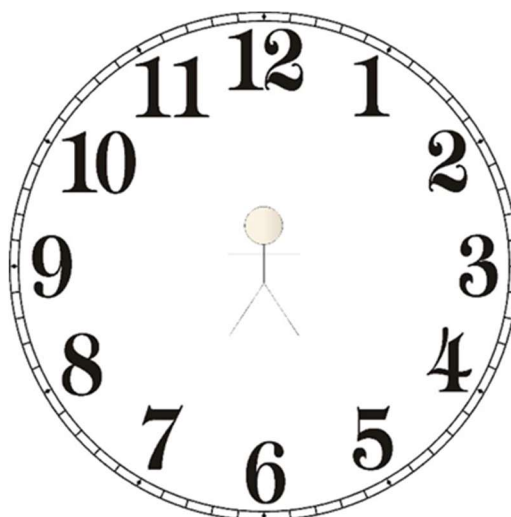


Figura 8 - Indicações horárias

O espaço em redor do utilizador é dividido como se se tratasse de um relógio, como pode ver-se na Figura 8, em que cada hora indica uma direção e a informação dada ao utilizador indica para que hora se deve virar a fim de estar orientado na direção desejada. Por exemplo, se for dada a indicação oriente-se para as suas quatro horas significa que a direção desejada está na direção das quatro horas no quadrante do relógio.

2.3 Smartphones

Como já foi informado em 1.1 nos últimos anos, as tecnologias móveis sofreram uma grande evolução, tanto em termos de hardware, como de interface com o ser humano e facilidade de utilização. Os telemóveis estão presentes na maioria das atividades desempenhadas ao longo do dia, deixaram de ser apenas um simples instrumento de comunicação e passaram a ser uma ferramenta de auxílio para as mais diversas tarefas. As aplicações móveis permitem realizar desde as tarefas mais simples, como consultar o relógio ou telefonar, até ao auxílio na navegação em tempo real, recorrendo aos sensores existentes, como acontece com as aplicações de mapas e navegação.

Estes dispositivos têm ao seu dispor uma variedade de sensores, que tornam possível a criação de aplicações que têm em conta o ambiente físico. Estas aplicações estão a tornar-se cada vez mais precisas, robustas e eficientes, oferecendo aos seus utilizadores uma fonte de informação bastante segura e fiável. Por exemplo, a temperatura ambiente, a localização GPS, a iluminação ambiente ou a caracterização da marcha, são frequentemente fornecidas pelos modernos telemóveis.

A elevada capacidade de processamento dos *smartphones*, permite também que os mesmos sejam capazes de fazer uma gestão eficaz tanto do controlo do fluxo de informação gerado pelos

seus sensores, assim como para gerir e manter uma interface bastante fluida. Esta capacidade de processamento permite que sejam criadas aplicações que integram diferentes módulos e vários processos executam em simultâneo.

2.3.1 Magnetómetros

A maioria dos *smartphones* atuais têm ao seu dispor um magnetómetro que mede a intensidade do campo magnético no espaço do telemóvel em 3 componentes, como ilustrado na figura 9. A partir destas 3 componentes é possível calcular a direção vetorial desse campo que, caso não existam fontes de interferência em redor do telemóvel, corresponde sensivelmente à direção norte-sul magnético no local.

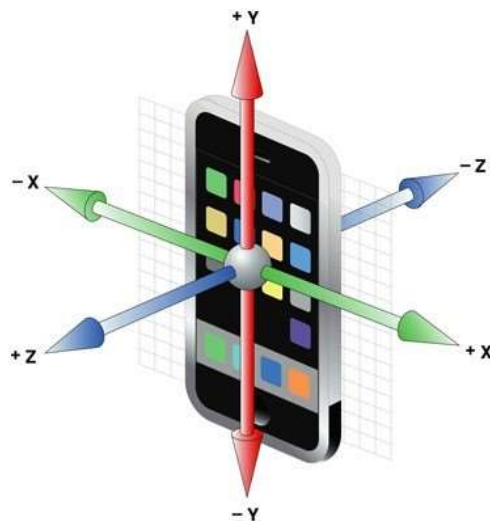


Figura 9 - Componentes x, y e z do magnetómetro de um smartphone

Fonte:

<https://www.resna.org/sites/default/files/legacy/conference/proceedings/2012/ComputersandCommunication/ASSESSINGDISABILITYCOMPLIANCEUSINGSMARTPHONE.html>

O modo de funcionamento deste tipo de sensor tem por base o denominado efeito de Hall. Edwin H. Hall descobriu que existindo um campo magnético perpendicular a um condutor que seja percorrido por uma corrente elétrica, é gerada no condutor uma diferença na tensão entre dois pontos localizados numa direção perpendicular às outras duas. Os sensores de efeito de Hall, medem esta diferença na tensão num pequeno bloco de material semicondutor, convertendo-a num valor de saída proporcional ao valor da indução magnética. Na Figura 10, pode observar-se um esquema demonstrativo do efeito de hall.

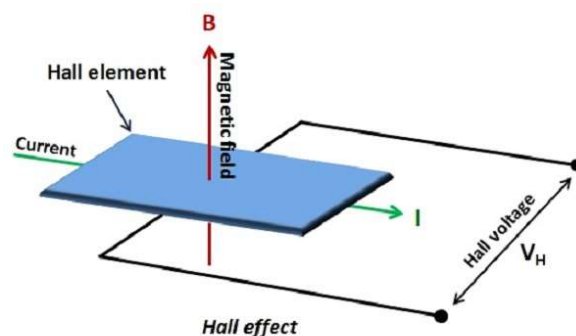


Figura 10 - Efeito de hall

É importante ter em conta a qualidade dos resultados obtidos através destes sensores, em relação a uma bússola tradicional. Durante a fase de design de qualquer dispositivo móvel é estabelecida uma relação entre a qualidade dos componentes e o preço final. Por essa razão muitas vezes os magnetómetros utilizados nos smartphones não têm precisão e sensibilidade suficientes, para proporcionar uma orientação fiável (Jeffrey R. Blum 2013), justificando-se uma apreciação das características dos sensores do *smartphone* objeto da aplicação.

2.3.2 Aplicações informáticas existentes

A interface visual é o tipo mais utilizado nas aplicações existentes para estes dispositivos, pois proporciona ao utilizador uma interação relativamente simples, intuitiva e bastante direta, contudo muito pouco inclusiva. As aplicações de bússola existentes utilizam este tipo de interface para reproduzir e simular o comportamento de uma bússola clássica, mostrando na maioria delas um disco de leitura com escala em graus de arco, que se orienta consoante a direção azimutal do telemóvel. Noutros casos é simulado o movimento da agulha de uma bússola tradicional, onde o disco de leitura é fixo e a peça móvel é a agulha que gira sobre o disco, consoante a posição em que o telemóvel se encontra.



Figura 11 – Bússola clássica e aplicação móvel de bússola

Fonte: <http://www.upaa.org/node/293>

Na loja de aplicações Android existem centenas de aplicações que simulam a bússola clássica. A maioria das aplicações existentes utiliza o feedback visual para dar indicações de orientação ao utilizador. Em seguida serão mostradas algumas dessas aplicações.

Aplicação compass 360 Pro

Esta aplicação mostra no ecrã informação azimutal e a intensidade do campo magnético em texto, bem como a simulação do quadrante da bússola clássica.



Figura 12 - Aplicação Compass 360 Pro

O quadrante roda sobre si próprio consoante a posição do Norte Magnético e a informação textual é atualizada consoante os valores dados pelo magnetómetro.

Aplicação Digital Compass

A aplicação Digital Compass é uma aplicação de bússola com um design minimalista e com uma interface de utilização simples.

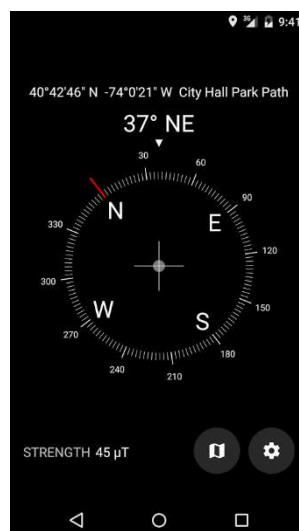


Figura 13 - Aplicação Digital Compass

É mostrado ao utilizador um ecrã com apenas as informações essenciais, a informação textual azimuthal, a simulação do quadrante de uma bússola clássica e a intensidade do campo magnético. Permite também mostrar um mapa ao utilizador com a sua localização.

Aplicação 3D Compass Plus

A aplicação 3D Compass Plus é uma aplicação de bússola com vista a realidade aumentada.



Figura 14 - Aplicação 3D Compass Plus

Esta aplicação apresenta uma representação de vários tipos de informação textual e em perspectiva, utilizando por exemplo uma rosa dos ventos com três dimensões, sobre a imagem capturada pela câmara do telemóvel, resultando numa indicação visual intuitiva. É também mostrado o mapa com a localização do dispositivo tendo em conta a sua orientação azimuthal.

Existem também aplicações que usam *feedback* sonoro e vibratório (ex. *Magnetic Sense*) para dar ao utilizador a indicação de direção do smartphone, emitindo um determinado som, quando a orientação do utilizador não é a direção pretendida. No caso da vibração vai-se alterando a intensidade da vibração em função do tamanho do desvio.

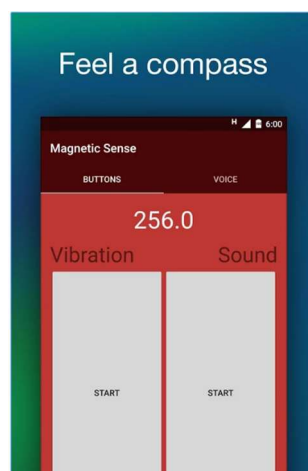


Figura 15 - Aplicação Magnetic Sense

No entanto, este tipo de solução tem o problema de não conseguir indicar bem em que sentido o utilizador se deve desviar para voltar a ter a orientação correta. O facto de não ser facultado qualquer *feedback* quando nos estamos a movimentar na direção correta, leva a que não se possa saber se por alguma razão a aplicação parou ou se estamos a ir na direção correta. Seria por isso necessário proporcionar algum tipo de *feedback*.

2.4 Condições de utilização da bússola

A utilização da bússola de mão pressupõe que determinadas condições sejam reunidas, para o seu correto manuseio e leitura. Por um lado, é necessário garantir condições do ponto de vista do utilizador e por outro as condições do meio envolvente.

Quanto ao utilizador é preciso garantir que o mesmo tem acuidade visual suficiente para ler a escala e que é capaz de interpretar e correlacionar os valores que lhe são transmitidos com coordenadas geográficas. A ausência de iluminação e a existência de movimento tornam esta tarefa ainda mais difícil, obrigando a um esforço visual e cognitivo bastante superior, interferindo com a atenção do utilizador.

A própria forma de segurar a bússola tem influência na direção indicada pela mesma, o que obriga a que tenha de ser empunhada de uma determinada forma (deitada horizontalmente), para obter resultados satisfatórios.

É também importante garantir que não existem fontes externas a interferir com a bússola, sendo para isso necessário evitar a sua leitura quando ao seu redor existam objetos ou campos eletromagnéticos que sobre ela tenham influência, devendo ser mantida alguma distância dos mesmos ou de suas fontes.

2.5 Conclusão

Além do problema que reside no facto de uma bússola magnética sofrer interferências geradas por alterações no campo magnético envolvente, impossibilitando que a direção indicada ao utilizador tenha uma precisão aceitável, existem dois grandes problemas adicionais inerentes ao desenvolvimento de uma solução que consiga facilitar a utilização da bússola.

O primeiro surge da atenção e esforço visual e cognitivo que são necessários para consultar e interpretar os valores dados pela bússola, e se a interação com o utilizador for puramente visual, como é o caso geralmente existente, com grandes exigências de atenção, a sua utilização fica limitada, pois pessoas com problemas de visão ou cegas não podem tirar proveito da mesma e qualquer utilizador poderá não dispor no momento da atenção necessária.

O segundo reside na necessária compensação da atitude geográfica do *smartphone* quando é empunhado pelo utilizador.

No panorama atual das bússolas electrónicas, pode concluir-se que não apresentam acessibilidade suficiente para serem utilizadas por pessoas com deficiências visuais ou deficiências motoras a nível dos membros superiores. Mesmo utilizando a interface visual as bússolas electrónicas não exigem salvo raras exceções menor atenção visual e cognitiva que as bússolas clássicas.

Adicionalmente, quanto ao problema da atitude geográfica do *smartphone*, as aplicações existentes em geral, salvo uma aplicação com quadrante esférico que, contudo, funciona com limitações, não permitem compensar os efeitos de uma atitude não horizontal do *smartphone*.

Existe, portanto, o espaço necessário para o desenvolvimento de uma aplicação que resolva este problema.

Capítulo 3

Interface avançada para orientação geográfica

Neste capítulo, será feita uma apresentação do problema proposto com maior detalhe. Serão apresentadas propostas de solução para os diversos problemas apresentados, as características a ser desenvolvidas e por fim o sistema operativo e ambiente de desenvolvimento, os passos a seguir e a metodologia de trabalho adotada.

O desenvolvimento de uma aplicação que integre uma interface “eyes-free”, que tira proveito das tecnologias disponíveis, isto é, utiliza os sensores disponíveis nos dispositivos móveis para criar uma solução que atenuar os problemas da bússola tradicional, facilite a navegação e permita a sua utilização por parte dos cegos, vem dar um novo impulso à utilização de um dispositivo como a bússola na navegação, sobretudo em modo pedestre.

3.1 Introdução

Tal como foi referido nos capítulos anteriores a utilização da bússola tem dois grandes problemas, primeiro por ser muito influenciada pela presença de objetos metálicos e de outros campos magnéticos à sua volta e segundo pelo esforço visual e cognitivo exigidos aos seus utilizadores. Para além destes problemas a bússola clássica não pode ser utilizada por qualquer pessoa, uma vez que a visão é um requisito obrigatório para a sua utilização, sendo por isso não utilizável por pessoas cegas. Sendo estes 2 problemas bastantes distintos, a abordagem a seguir será em primeiro lugar garantir uma imunidade aumentada às perturbações da bússola tradicional, seguido do desenvolvimento de uma interface avançada com componentes auditiva e vibratória que proporcione uma interação “eyes-free” e em alguns casos “hands-free”.

A solução para estes problemas é então a aplicação móvel proposta, desenvolvida para o sistema operativo móvel Android, um sistema operativo de código aberto baseado em Linux e desenvolvido pela Google. As razões que levaram à escolha do sistema operativo Android foram: em primeiro lugar por se tratar do sistema mais utilizado em dispositivos móveis de todo o mundo (NetMarketShare.com 2017), como se pode observar na figura 16, em segundo porque o desenvolvimento de aplicações para este sistema está acessível a todos por se tratar de uma

plataforma *open-source* e por último por existir uma grande comunidade em redor do mesmo, facilitando o desenvolvimento de aplicações para esta plataforma, possibilitando o desenvolvimento de uma aplicação com uma qualidade final superior.

Para resolver o primeiro problema serão explorados métodos de filtragem dos dados

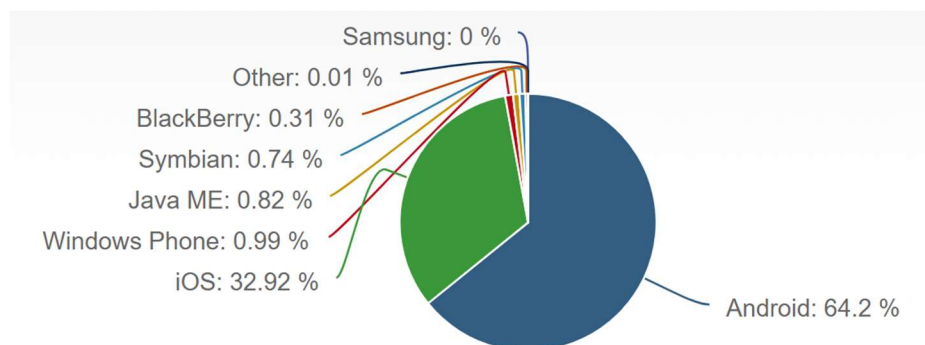


Figura 16 - Cota de mercado dos diferentes sistemas operativos móveis

fornecidos pelos sensores do dispositivo móvel, de forma a minimizar as interferências externas induzidas nos mesmos. Contudo isto não é suficiente para garantir que a informação dada pelos sensores é fidedigna, pois existem alterações no campo magnético que não podem ser contornadas por meio de filtragem, sendo por isso necessário combinar a informação dada pelos diversos sensores, para criar uma base de informação redundante.

O segundo será resolvido tirando partido das mais recentes tecnologias de interação humano-computador, será explorada a interação com o utilizador por meio da audição e vibração, estudando os diversos métodos possíveis de entrega de informação, tendo em conta que nos casos de pessoas que dependem mais de um dos sentidos para compensar a falta ou deficiência de outro, estes mesmos sentidos devem ser preservados ao máximo em termos de ocupação.

Por fim, serão integradas as soluções para os dois problemas, para fornecer uma aplicação avançada, capaz de melhorar a fiabilidade da direção dada aos utilizadores em relação à bússola tradicional, que ao mesmo tempo facilita a utilização em situações em que a atenção e sentidos do utilizador têm de ser preservados.

3.2 Utilização dos sensores para a função de bússola

No caso deste projeto, dada a considerável capacidade de processamento do *hardware* dos *smartphones* actuais (MIPS), permite que se possa criar uma aplicação de bússola cujo resultado, em termos de orientação é baseada em vários sensores. Por outro lado, é possível criar também uma interface que utiliza os mais variados tipos de *feedback*.

O magnetómetro, quando utilizado em condições ideais permite calcular o valor do azimute atual do eixo longitudinal do dispositivo móvel, no entanto, esse valor é naturalmente influenciado pela posição em que o telemóvel é empunhado, pelo que é necessário recorrer à contribuição das restantes componentes do campo magnético fornecidas pelo magnetómetro, de modo a compensar o referido efeito da posição.

3.2.1 Métodos de correção

A presença de objectos metálicos ao redor do dispositivo, bem como a influencia de campos electromagnéticos alteram a informação fornecida pelo magnetómetro. Uma filtragem do tipo Passa-Baixo (*low-pass*) permite atenuar os desvios de certos valores, aproximando-os dos valores esperados, contudo esta alteração será considerada apenas no respeitante à atenuação dos efeitos de perturbações cíclicas, como as interferências electromagnéticas, através da filtragem dos dados do magnetómetro.

A implementação pode seguir a linha de filtros IIR, mais eficientes, ou em alternativa, filtros FIR (de média movente), porém, a filtragem dos valores dados pelo magnetómetro, por si só, não corrige os erros gerados pelo posicionamento não horizontal do dispositivo. Durante o cálculo da orientação azimutal apenas devem ser tidas em conta as componentes horizontais do campo magnético (campo magnético terrestre).

A fim de obter estas componentes, é necessário dispor de informação sobre a posição e atitude geográfica do *smartphone*. Esta informação pode ser obtida através do acelerómetro e ou do giroscópio.

Acelerómetro

O acelerómetro é um dispositivo que permite medir a aceleração de um objeto em relação aos seus eixos, eixos longitudinal, transversal e normal. O acelerómetro é muitas vezes utilizado para calcular o vector vertical que representa a aceleração da gravidade, dividido nas suas três componentes x, y e z, como ilustrado na Figura 17.

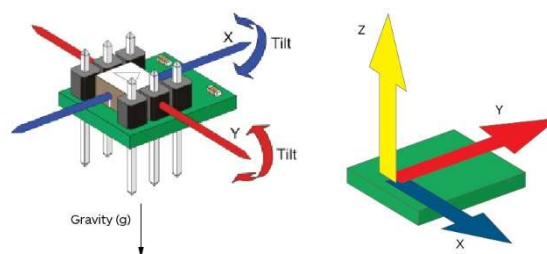


Figura 17 - vector da gravidade em relação aos eixos do acelerómetro

Fonte: <http://insights.globalspec.com/article/1263/specifying-an-accelerometer-function-and-applications>

Este vector permite então calcular a inclinação do dispositivo em relação ao planeta, para por exemplo orientar os ecrãs dos dispositivos consoante a forma como o mesmo é empunhado (*landscape, portrait*) ou para desenvolver aplicações reativas a gestos do utilizador, como é o caso dos comandos da consola Wii.

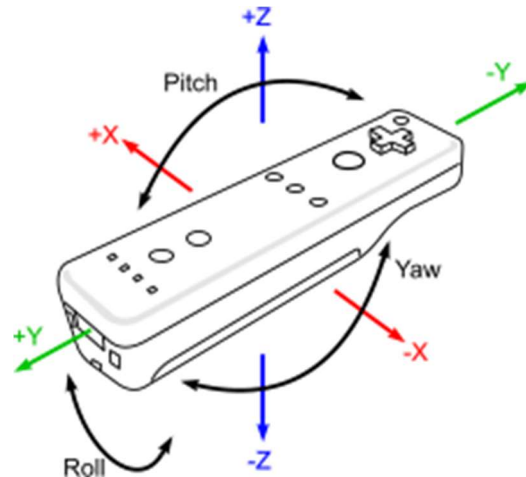


Figura 18 – Wiimote e os seus eixos

Giroscópio

O giroscópio é um dispositivo capaz de medir a rotação de um objeto em relação a um eixo próprio. Convenciona-se denominar por inclinação longitudinal (*pitch*), inclinação lateral (*roll*) e guinada (*yaw*) os valores da rotação angular do *smartphone* em torno aos seus eixos transversal, longitudinal e normal, respetivamente, como pode ver-se na figura 19.

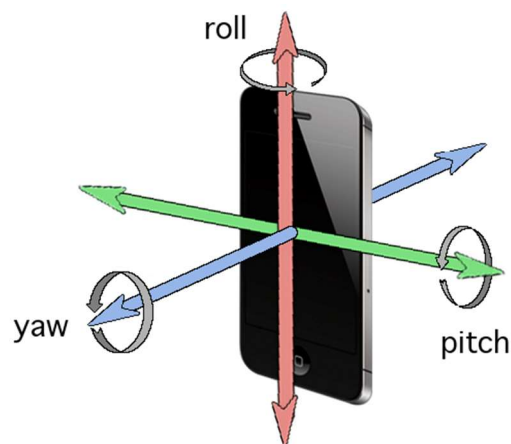


Figura 19 - eixos de rotação do giroscópio de um *smartphone*

Fonte : <https://www.nomtek.com/scanning-rooms-with-an-iphone/>

A maioria dos giroscópios clássicos utiliza um volante em rotação suspenso por um suporte com 3 graus de liberdade do rotor. Mas, por existirem peças móveis o desgaste e a fricção provocados nas mesmas levam a que ao longo do tempo o giroscópio tenda a parar. Os giroscópios vibratórios vieram corrigir esses problemas, removendo todos os problemas mecânicos.

Os giroscópios dos *smartphones* utilizam a tecnologia *MEMS* (*MicroElectroMechanic System*). Esta tecnologia combina sistemas eletrônicos e mecânicos a uma escala microscópica, permitindo criar dispositivos eletromecânicos bastante complexos, tais como, os giroscópios e inclusivamente os acelerómetros (Cenk Acar 2009).

A combinação das informações dadas pelo magnetómetro, pelo acelerómetro e pelo giroscópio, permite criar uma base redundante de informação, permitindo corrigir eventuais erros gerados por qualquer um dos três.

Calibração da posição do suporte

A combinação do acelerómetro, do magnetómetro e do giroscópio permite também ter em conta a posição em que o dispositivo é colocado em relação ao corpo do utilizador. As aplicações em geral não fornecem informação segundo a orientação normal do andamento humano, no eixo ântero-posterior, ou seja, os eixos dos sensores poderão não coincidir com os de movimento do ser humano, o que acarreta óbvia dificuldade na utilização da bússola electrónica.

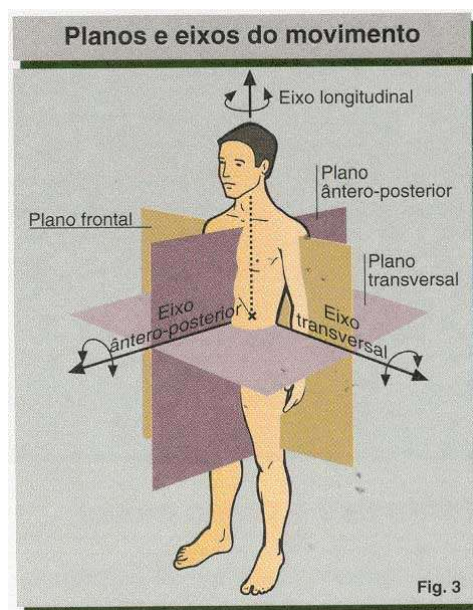


Figura 20 – Planos e eixos de movimento do ser humano

Fonte : <http://biomecanicaeoserhumano.blogspot.pt/2012/10/planos-e-eixos.html>

Propõe-se por isso tornar o processo independente da orientação do telemóvel em relação ao corpo humano mediante um processo de calibração. Este tipo de calibração, é inovador pois permite que

o utilizador tenha uma grande liberdade, pois não é obrigatório colocar o dispositivo num determinado local ou posição do corpo, bastando que mantenha uma qualquer posição escolhida.

3.3 Métodos de entrega da informação de orientação

De maneira a garantir que a informação da aplicação chega ao seu destino independentemente do ambiente em que o utilizador se encontra e para que a aplicação possa ser utilizada sem a necessidade da visão, foram estudados diferentes métodos de interação com o ser humano. A entrega de informação será feita por via da audição e do sentido háptico para além da visão, existindo para cada um deles diferentes tipos de interface.

3.3.1 Indicações visuais

As indicações visuais são as indicações mais utilizadas para a orientação geográfica, começam com o uso da bússola clássica que é feito com recurso à visão. Atualmente o mesmo acontece com a generalidade das bússolas electrónicas.

As informações visuais de orientação geralmente são dadas de duas formas: por informações textuais da orientação (pontos cardeais e colaterais e a indicação da orientação angular) ou através da simulação do quadrante de uma bússola clássica. Contudo, dado que, ao contrário da bússola clássica, o telemóvel pode ser empunhado com uma atitude geográfica não horizontal, sendo até essa a mais comum para permitir a visualização correta do ecrã, a informação angular deve, antes de mais, considerar todas as três componentes da informação do magnetómetro, sobretudo a componente normal ao telemóvel, segundo o eixo dos zz . Como a formulação do quadrante da bússola clássica depende daquela, só fará sentido com esta correção, mas como é coincidente com o plano do ecrã, falha a apontar horizontalmente a direção geográfica.

Por esta razão, parece mais intuitivo utilizar um novo processo de indicar a direção, que seja geometricamente e geograficamente correto. A representação em perspectiva de um indicador de direção que responde a alterações na posição do telemóvel permite resolver este problema. Este indicador de direção pode com toda a naturalidade ser realizado por meio de uma seta com configuração em perspectiva (3D) que permita ao utilizador, intuir sobre a direção e sentido que a seta indica.

Para reforçar o carácter intuitivo e proporcionar uma informação visual sobre a posição do telemóvel foi criado uma representação em grelha de um plano de terra, perpendicular à aceleração da gravidade. Esta grelha terá em geral uma malha com aspecto trapezoidal, que se tornará quadrado quando o telemóvel estiver colocado na horizontal.

3.3.2 Indicações auditivas

As indicações auditivas podem ser dadas utilizando diferentes métodos, desde frases ou palavras simples, padrões ou sinais sonoros monaurais ou bilaterais, até à utilização do áudio binaural que permite a percepção psicológica direta de orientação.

As indicações verbais devem ser curtas e de fácil entendimento, como acontece com as *pace notes* dadas pelo co-piloto de rali ao seu piloto, apenas a indicação da direção seguida do ângulo da curva com sentido, neste caso o ângulo de desvio entre a orientação atual e a orientação pretendida.

Tal como referido na revisão bibliográfica, existem dois tipos de sinais auditivos simples, que se aplicam a este problema, padrões sonoros simples monaurais ou padrões sonoros divididos nos dois canais, esquerdo e direito (vulgarmente chamado estéreo), sendo estes padrões definidos com base no desvio entre a orientação pretendida e a orientação atual do utilizador. Contudo devem poder praticamente ser excluídos os sinais monaurais por não removerem a ambiguidade do sentido de rotação dando informação apenas do módulo do desvio.

O áudio binaural espacial permite melhorar a percepção de orientação do ser humano, pois através da criação de fontes sonoras virtuais permite dar uma percepção mental intuitiva de direção, causando no utilizador a sensação de os sons reproduzidos estarem a ser emitidos de uma determinada posição à sua volta.

Para que estas informações sejam entregues de forma clara e sem mascarar a audição do ambiente, podem ser utilizados dispositivos de áudio por *bone conduction*, permitindo que o som ambiente continue a ser ouvido livremente através dos timpanos e que o utilizador mantenha a atenção ao que se passa em seu redor.

3.3.3 Indicações Hápticas ou Vibráteis

Uma hipótese de utilização da vibração para este tipo de aplicação é utilizar padrões para indicar quando o utilizador está no caminho certo ou não consoante a orientação pretendida, aumentando a cadência de vibração quanto maior for o desvio entre a orientação atual e a direção pretendida. No entanto este tipo de indicação não consegue orientar o utilizador em termos de sentido de rotação, isto é, não consegue indicar o lado o mesmo se deve virar.

Além da cadência, as indicações por via da vibração do telemóvel, para cada uma das indicações, podem também utilizar da intensidade da mesma, mantendo-se o problema da ambiguidade já mencionado. A indicação dada por este meio, é ainda muitas vezes de difícil percepção, por ser muito variável em função da atividade do utilizador. É, por isso necessário recorrer a outros dispositivos de vibração para além do *smartphone*, como por exemplo, dispositivos *wearable*, tais como as pulseiras de vibração.

A utilização de um par de pulseiras com motores de vibração torna possível o tipo de indicação anterior, com sentido do desvio, pois a indicação de direção poderá ser dividida entre duas 2 pulseiras, esquerda e direita, indicando cada uma delas a direção para qual o _utilizador se deve virar para se orientar para a direção pretendida, _mantendo a ideia do aumento da cadência de vibração quanto maior for o desvio em valor absoluto.

3.3.4 Periodicidade da Entrega de Informação

A periodicidade da entrega de informação é outro aspeto importante para o bom funcionamento deste tipo de comunicação, pois o utilizador deve ter uma perceção permanente da sua orientação. Todavia, se a quantidade de informação for superior à capacidade de processamento que o utilizador dispõe no momento, acaba por ser prejudicial e até maçador.

Para contornar este problema, a entrega de informação poderá ser limitada, aumentando o intervalo entre sucessivas entregas de informação, ou apenas dando a informação quando solicitada.

3.4 Dispositivos Externos

Para aumentar a fiabilidade da informação e melhorar a qualidade do *feedback* dado aos utilizadores, podem ser utilizados dispositivos externos que acrescentam funcionalidade aos *smartphones*.

3.4.1 Magnetómetros externos

O preço e miniaturização dos componentes constituintes de um *smartphone* leva a que por regra a qualidade destes componentes seja inferior à dos componentes existentes em dispositivos cujo objetivo é apenas realizar exclusivamente uma função. Os magnetómetros externos permitem ter acesso a informação magnética de maior qualidade, possibilitando uma maior precisão no cálculo da orientação azimutal. A sua utilização permite também, que o magnetómetro exterior seja colocado em posições do corpo onde é menos influenciado pelos movimentos.

3.4.2 Áudio através de *Bone Conduction*

A utilização de áudio, permite que o utilizador receba indicações sem necessitar de ocupar a visão, no entanto situações em que o ruído ambiente é intenso, obrigam ao uso de auscultadores. Porém, a utilização de auscultadores comuns, limita a audição do ambiente em redor, perdendo-se alguma perceção do mesmo e de eventuais perigos. No caso dos cegos, este problema é ainda

mais evidente, pois os mesmos dependem muito da audição para se conseguirem deslocar e realizar tarefas.

Por estas razões, surge a hipótese do uso de auscultadores *Bone Conduction* para ultrapassar estes problemas. Este tipo de auscultadores permite criar outro canal de áudio, ou seja, permite que seja transmitido som sem mascarar a restante audição (Mariano Belinky 2001). São utilizados transdutores vibratórios que fazem vibrar o nosso crânio que por sua vez faz vibrar as cócleas, sendo estas vibrações interpretadas pelo cérebro como som.

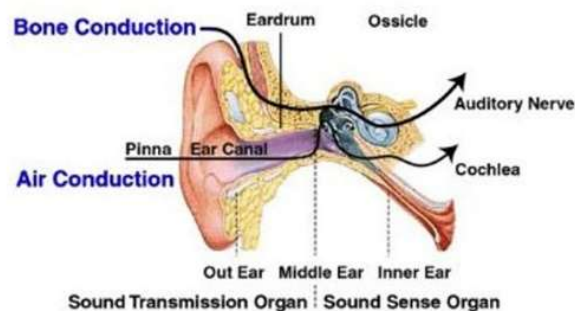


Figura 21 - Condução do som através do crânio

Fonte: <http://www.powerseedus.com/us/bone-conduction-technology/>

A evolução da tecnologia fez que estes aparelhos se tornassem mais *user-friendly*, tanto pelo seu tamanho ter reduzido significativamente, como pela sua conectividade estar cada vez mais facilitada, existindo por exemplo conectividade *bluetooth*. A redução do preço destes aparelhos, tornou a sua compra mais acessível, sendo por isso um factor positivo adicional para a sua adoção.

Exemplos:

[AfterShokz Bone Conduction Bluetooth Audio trekz Titanium bone conduction Headphones for Sports Activities with Microphone](#)



Figura 22 - Auscultadores *Bone Conduction* via *bluetooth* (Amazon, Bone Conduction headphones 2016)

Aftershokz AS400 Sportz 3 Headphones

Estes são apenas dois exemplos de uma imensa lista de opções existentes para este tipo de dispositivos, sendo os de conectividade via cabo em geral mais baratos.

3.4.3 Vibração *Wearable*

A interface de vibração comum nos smartphones, como atrás mencionado, muitas vezes é impercetível para o utilizador durante a realização de atividades que obriguem que o mesmo se desloque, pois muitas vezes durante estas atividades estes dispositivos não estão em contacto



Figura 23 - Auscultadores *Bone Conduction* via cabo (Amazon, Aftershokz Bone Conduction 2016)

direto com a pele, por estarem guardados em bolsas e pelo movimento da pessoa mascarar a vibração. Em atividades com intensidade elevada é também difícil sentir as pequenas vibrações criadas pelos smartphones, pois mais uma vez tratando-se de dispositivos cada vez mais pequenos, a miniaturização dos seus componentes, leva a que o poder dos motores de vibração não seja o adequado para estas atividades.

Para contornar este problema podem ser utilizados motores de vibração colocados em pontos sensíveis do ser humano, em que a vibração seja sentida mais fortemente durante qualquer tipo de atividade, para além disso, no caso desta aplicação, esta abordagem permite aplicar estes motores em lados diferentes do corpo, possibilitando a indicação de sentido de desvio (esquerda ou direita).

O surgimento das *Smart-Bracelets* facilita este tipo de interação com o utilizador, pois no seu interior existem também motores de vibração utilizados para notificar e alertar os utilizadores que algo de novo existe no seu *smartphone*. É possível utilizar os mesmos para o tipo de alertas, no caso da atual aplicação de bússola utilizando um par de pulseiras, permite indicar o sentido para qual o utilizador se deve virar para corrigir a sua orientação.



Figura 24 - Smart Bracelet (Amazon, Smart Wristband 2016)

Fonte : <https://www.amazon.co.uk/Tonbux-Pedometer-Smart-Wristband-Bracelet/dp/B01MDQ72BM/>

O recente *boom* deste tipo de dispositivos, levou à constante concorrência entre as diferentes marcas, pelo que existem no mercado uma vasta gama de opções, muitas delas bastante acessíveis. As capacidades de processamento e a conectividade dos exemplares avaliados revelam-se contudo ainda limitadas.

3.5 Metodologia de desenvolvimento da aplicação

A aplicação foi desenvolvida para dispositivos Android, utilizando o ambiente de desenvolvimento *Android Studio* (Google, Android Studio 2017), fornecido pela Google. A linguagem de programação *Android* nativa é *Java* e o *SDK* Android fornece uma vasta gama de bibliotecas com documentação bastante detalhada, que facilitam o desenvolvimento para esta plataforma.

Durante o desenvolvimento da aplicação, a abordagem seguiu os seguintes passos:

1. Pesquisa relativa às possíveis implementações necessárias para criar uma funcionalidade;
2. Implementação de funcionalidade;
3. Teste e aperfeiçoamento iterativo;
4. Integração com as funcionalidades existentes;

5. Avaliação da funcionalidade e da qualidade da integração.
6. Conclusões e reiteração a partir de 1 até à satisfação dos requisitos

3.5.1 Testes de Desenvolvimento

Durante o desenvolvimento da interface os testes foram feitos em ambiente virtual, recorrendo às *Android Virtual Devices*, de forma a minimizar o tempo gasto com a transferência e instalação das aplicações, sendo feitos os testes em dispositivos reais após a satisfação dos objetivos em ambiente virtual. Isto apenas foi possível quando o ambiente virtual permitiu fazer todos os testes desejados. No entanto quando a utilização da aplicação exigiu o acesso a sensores, tais como, o magnetómetro e o acelerómetro, os testes foram realizados em dispositivos físicos.

Na primeira fase de desenvolvimento, cada uma das funcionalidades implementadas foram testadas pelo autor, para garantir que cada uma delas cumprisse os requisitos necessários, funcionasse sem falhas e estavam aptas a ser testadas por outras pessoas alheias ao projeto. Sempre que uma funcionalidade foi aprovada, foram feitos testes em outros dispositivos para além do que estava a ser utilizado para o desenvolvimento, de forma a garantir que as funcionalidades estivessem operacionais em diferentes dispositivos.

Por fim foram feitos testes reais com utilizadores, não participantes no desenvolvimento do código da aplicação, para avaliar a qualidade final da aplicação desenvolvida e a real utilidade da mesma. Os testes foram então feitos recorrendo a utilizadores convidados, alguns deles com problemas ou falta de visão e os outros sem qualquer deficiência conhecida. Deste modo foi possível avaliar a aplicação num contexto real, obter sugestões e a opinião de possíveis utilizadores da aplicação.

Capítulo 4

Implementação

O capítulo quatro tem como objetivo descrever a arquitetura e os detalhes principais da implementação da aplicação, a estrutura do projeto, assim como os métodos utilizados, bibliotecas e as classes criadas assim como a hierarquia entre as mesmas.

A implementação da aplicação foi dividida em várias partes, que permitiram tornar cada uma das funcionalidades implementadas independentes, ou seja, foi possível separar a implementação da aplicação por fases.

Em primeiro lugar foi implementada a atividade principal da aplicação, para criar o esqueleto base de toda a aplicação e a interface primária com o utilizador de tipo visual. Depois foi criado o módulo para o calculo da orientação e o controlo dos sensores, para que os restantes módulos pudessem utilizar os valores calculados para apresentar e dar a informação ao utilizador. Por fim foram implementadas as interfaces auditiva e vibratória, para transmissão orientação calculada fosse transmitida ao utilizador por outros meios para além da visão.

Depois de garantidas todas as funcionalidades propostas foram implementados alguns métodos de correção e melhoramentos, que serão apresentados na parte final deste capítulo.

4.1 Arquitetura

Esta secção trata dos detalhes da arquitetura adotada no desenvolvimento da solução apresentada no capítulo anterior, serão apresentados os requisitos, as principais classes desenvolvidas, o ciclo de vida da aplicação e os seus casos de uso.

4.1.1 Requisitos

Os requisitos da aplicação desenvolvida estão descritos sobre a forma de *user stories* com descrições auto-explicativas e cada uma delas descreve uma funcionalidade a ser proporcionada ao utilizador final, ordenadas pela sua importância, por ordem decrescente, em primeiro lugar as funcionalidades principais e por ultimo as funcionalidades adicionais.

US01	Como utilizador quero ver a minha orientação azimutal de um modo textual para me orientar segundo o mesmo
US02	Como utilizador quero ver a minha orientação azimutal num quadrante 2D para me orientar segundo o mesmo
US03	Como utilizador quero ver numa representação a três dimensões a direção de uma determinada orientação azimutal para me orientar para uma direção
US04	Como utilizador quero aceder ao menu de definições para alterar os parâmetros utilizados pela aplicação e ativar funções
US05	Como utilizador quero ativar o feedback auditivo para me orientar segundo as indicações dadas pelo mesmo
US06	Como utilizador quero seleccionar o tipo de feedback auditivo (mono, estéreo, fala ou binaural) para alterar o feedback dado pela aplicação
US07	Como utilizador quero ativar o feedback vibratório do smartphone para me orientar segundo as indicações dadas pelo mesmo
US08	Como utilizador quero conectar-me a pulseiras vibratórias para utilizar o feedback vibratório Estéreo
US09	Como utilizador quero ativar o feedback vibratório com as pulseiras para me orientar segundo as indicações dadas pelo mesmo
US10	Como utilizador quero desligar as pulseiras vibratórias para desativar o feedback vibratório Estéreo
US11	Como utilizador quero definir a direção predefinida dada pelos diversos tipos de feedback para conseguir ter indicações para direções diferentes do Norte
US12	Como utilizador quero utilizar a funcionalidade de calibração para poder posicionar o dispositivo móvel numa posição qualquer do meu corpo
US13	Como utilizador quero ativar a correção da declinação magnética para que o norte indicado pela aplicação seja o norte geográfico e não o norte magnético local

Tabela 2 – Requisitos da aplicação

4.1.2 Casos de uso

Os casos de uso desta aplicação têm apenas um ator, o utilizador da aplicação, o utilizador tem acesso a dois ecrãs distintos, o ecrã principal onde são mostrados os vários tipos de feedback visual, onde se pode seleccionar a direção indicada pela bússola e ainda calibrar a posição do dispositivo no corpo. O ecrã inicial dá também acesso ao Menu de definições onde podem ser ativadas e desativadas as diversas opções e correções existentes na aplicação.

Será apresentado o diagrama de casos de uso, na Figura 25.

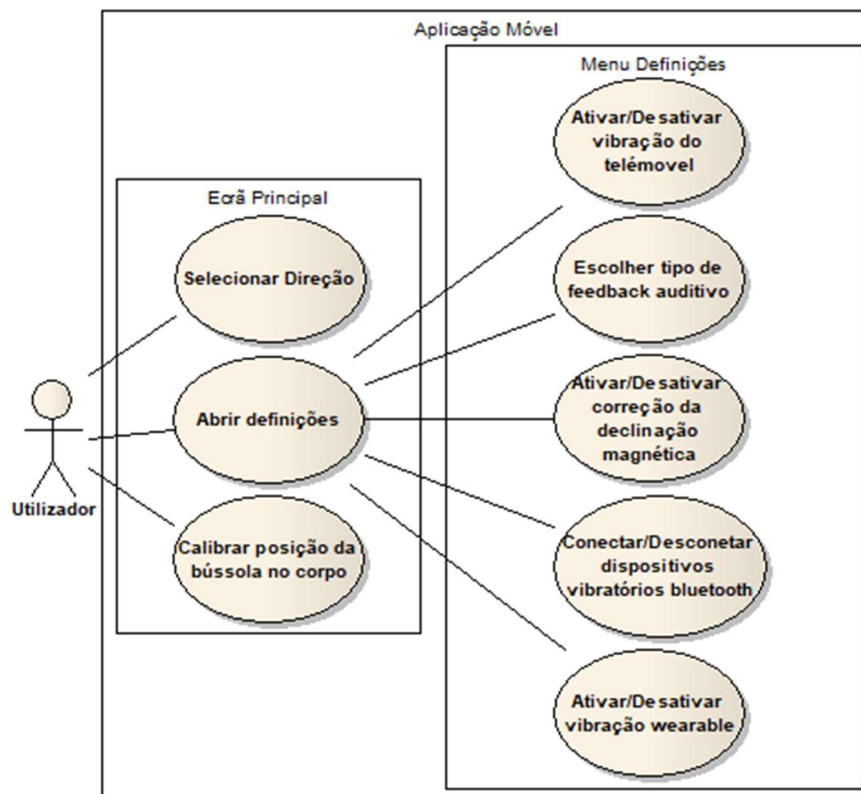


Figura 25 - Diagrama de casos de uso

4.1.3 Classes Criadas

O projeto foi dividido em cinco *packages*¹, tendo cada o seu âmbito específico. Os *packages* criados foram:

- *Package views* constituído pelas classes *MainActivity* e *Settings Dialog*, classes que implementam o layout da parte visual da aplicação e o menu de definições.
- *Package opengl* constituído pelas classes *MyGlSurfaceView*, *MyGlRenderer*, *Arrow* e *Floor*, classes que implementam a representação 3D da aplicação.
- *Package compass* constituído pelas classes *CompassEngine*, *SoundEngine*, *VibrationEngine* e *Screen Engine*, classes que contêm ciclos que são executados em segundo plano para obter a direção atual do dispositivo no caso da classe *CompassEngine* e nas restantes para atualizar e dar as indicações ao utilizador sejam elas auditivas, visuais ou vibratórias.
- *Package Bluetooth* onde é implementada toda a comunicação Bluetooth utilizada para os dispositivos de vibração externos.
- *Package data* onde são guardadas todas as variáveis que são utilizadas pelos outros pacotes.

O diagrama das figuras 26, 27 e 28 mostra as classes existentes e as ligações entre as mesmas.

¹ Packages: são utilizados para agrupar unidades de código relacionadas. Contêm classes java organizadas de forma a identificar as relações que existem nas suas funcionalidades.

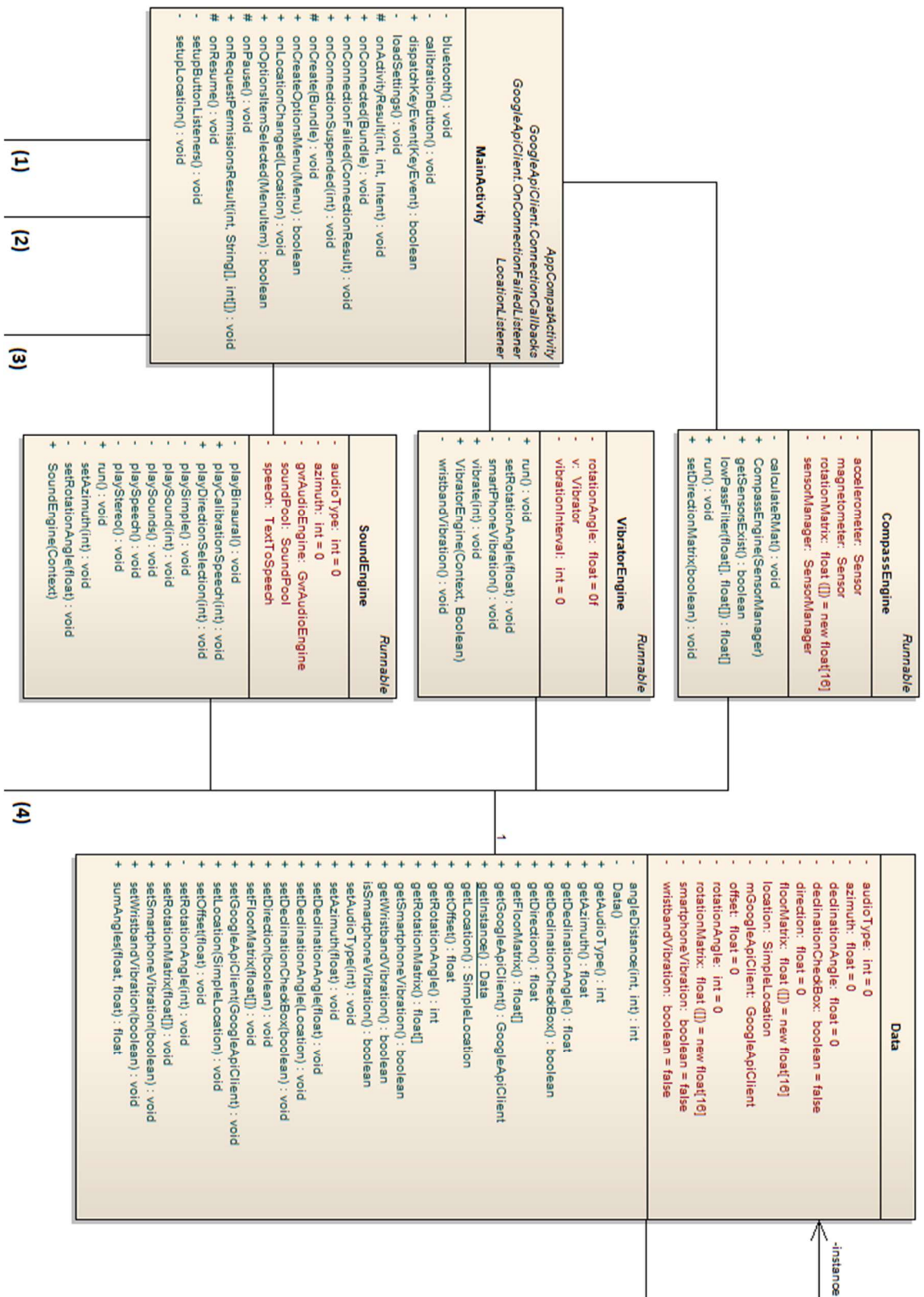


Figura 26 - Diagrama de classes 1/3

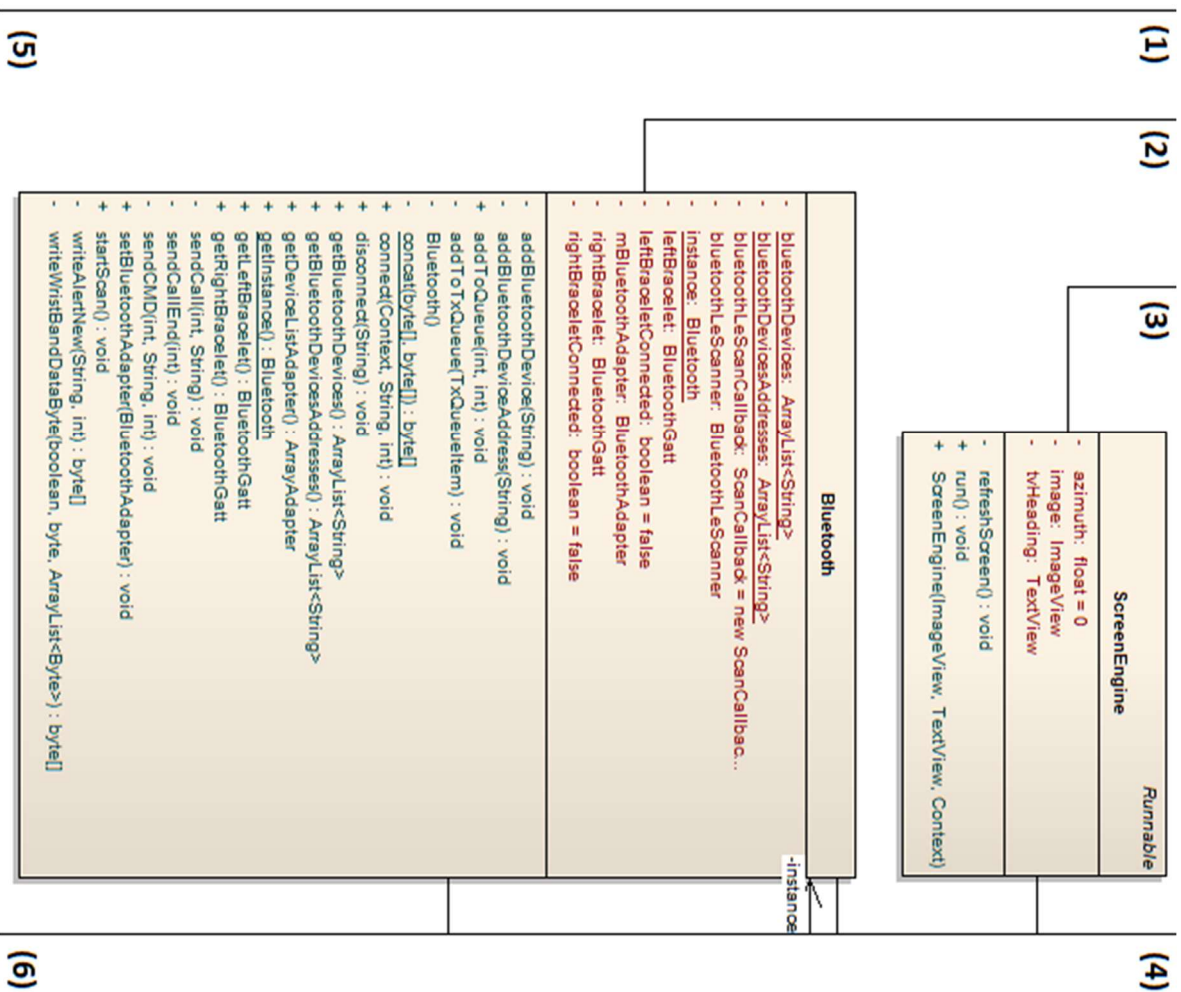


Figura 27 - Diagrama de classes 2/3

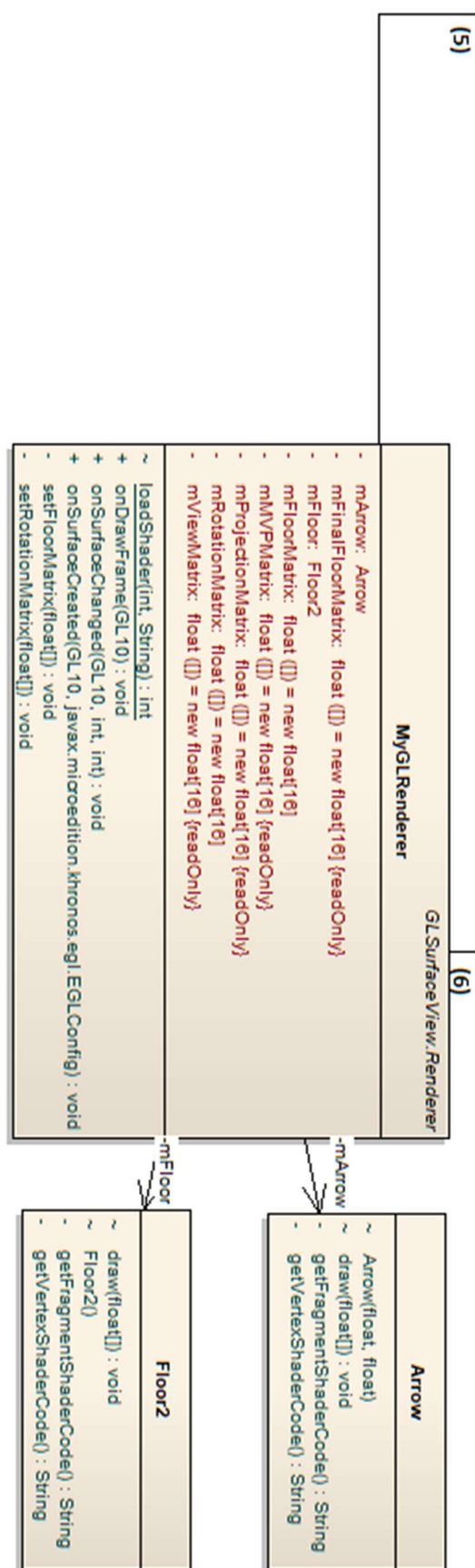


Figura 28 - Diagrama de classes 3/3

De seguida será feita a descrição das classes com maior importância para a execução da aplicação.

4.1.3.1 Data

A classe *Data* é uma classe estática ou seja, sempre que uma variável existente nesta classe é alterada, qualquer outra classe que aceda a essa variável vai obter o valor atualizado.

Exemplo: o valor da orientação azimutal é obtido através dos sensores do dispositivo na classe *CompassEngine* e é guardado na classe *Data* para que depois as classes *SoundEngine*, *VibratorEngine* ou até a *ScreenEngine* utilizem o valor atualizado para dar o *feedback* ao utilizador.

4.1.3.2 CompassEngine

A classe *CompassEngine* é a classe responsável pelo cálculo da orientação do dispositivo móvel, acedendo aos seus sensores e calculando tanto a matriz de rotação do dispositivo em relação ao planeta como o valor azimutal em graus. Depois de obtidos os valores das componentes x,y,z dos sensores acelerómetro e magnetómetro é calculada a matriz de rotação conjugando os valores dados pelos dois sensores, que posteriormente é utilizada para calcular o valor do azimute em graus, tendo em conta a posição do dispositivo. Depois de efetuados os cálculos os resultados são guardados na classe *Data* para depois serem utilizados nas classes que tratam da entrega de informação.

4.1.3.3 VibratorEngine, SoundEngine e ScreenEngine

Estas três classes tratam da atualização e a transmissão dos vários tipos de *feedback* existentes na aplicação, todas elas são classes *Runnable*, ou seja, são classes que implementam método *run()* que é executado depois de instanciada a classe, no caso da aplicação desenvolvida o método é executado numa *thread* criada apenas para a sua execução. O método *run* é constituído por um ciclo que executa os métodos de transmissão e atualização respetivos ao tipo de *feedback*, vibratório, auditivo ou visual.

4.1.3.4 Bluetooth

A classe *Bluetooth* trata de tudo o que é necessário para criar a comunicação entre o *smartphone* e as pulseiras de vibração.

É a classe onde são implementados os métodos para iniciar a conexão com os dispositivos, confirmação da ligação, a transmissão de informação e a sua confirmação e para implementar o fecho das conexões *Bluetooth*.

Uma vez que a comunicação do *Bluetooth Low Energy* no sistema Android é feita de forma síncrona foi também implementado um sistema de fila *first in first out*, para garantir que os pedidos e transmissões de informação são executados pela ordem pretendida.

4.1.4 Ciclo de vida da aplicação

A execução da aplicação foi dividida em várias *threads* para além da *thread* principal, desta forma tanto o calculo da orientação como cada um dos tipos de *feedback* funcionam concorrentemente, permitindo a atualização em tempo real das informações que são dadas ao utilizador. Deste modo, para além da *thread* principal existem mais quatro *threads*, a *thread* onde são efetuados todos os cálculos relacionados com os sensores do dispositivo, a que trata da atualização do ecrã, a responsável pelo *feedback* sonoro e por fim a que trata da interface vibratória.

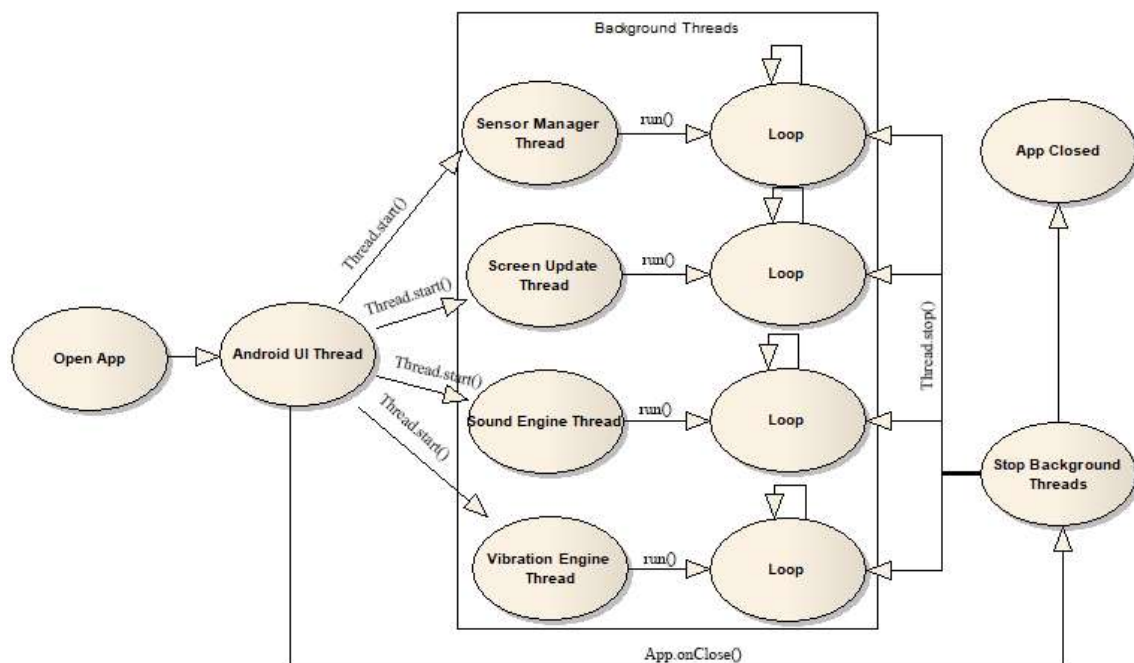


Figura 29 - Ciclo de vida da aplicação

Como ilustrado na figura 29, quando a aplicação é aberta são iniciadas as diversas threads, ficando em segundo plano a executar os métodos respectivos. Ao terminar a execução todas elas são fechadas e a aplicação termina a execução.

4.2 Controlo de Sensores e Indicação de direção

Para conseguir dar ao utilizador a indicação de direção, é necessário saber para que direção essa indicação deve ser dada, tendo em conta a posição do telemóvel em relação à terra, ou seja,

no caso do *feedback* visual 3D a seta deve estar constantemente a apontar para a direção escolhida pelo utilizador, isto é, se o utilizador selecionar uma direção qualquer, a seta apresentada no ecrã estará sempre a apontar para essa direção mesmo que a posição e orientação do telemóvel se modifiquem. O mesmo acontece para os restantes tipos de *feedback*, pois a posição do dispositivo afeta o cálculo da orientação. Para calcular a orientação do dispositivo em relação ao mundo, foram utilizados o magnetómetro e o acelerómetro.

O *Sensor Manager* do Android, permite obter os valores dos vários sensores existentes nos *smartphone*. Na aplicação desenvolvida os valores são atualizados trinta vezes por segundo, o suficiente para apresentar uma imagem suave e fiável sem sobrecarregar o dispositivo com o processamento dos dados dos sensores e com o cálculo da orientação, que no caso da orientação a três dimensões é realizado sob a forma de uma matriz quatro por quatro.

Cada um dos sensores devolve um vetor dividido em três componentes (x,y e z), a intensidade em cada um dos eixos do dispositivo. O acelerómetro devolve os valores de aceleração em cada um dos eixos e o magnetómetro os valores da indução magnética em cada um deles.

A utilização do giroscópio não se revelou necessária nesta fase, sendo a atitude geográfica do telemóvel determinada com a ajuda do acelerómetro, ficando a sua utilização reservada para posteriores desenvolvimentos.

4.2.1 Filtragem

Os valores dados pelos sensores passam por um filtro passa-baixo discreto IIR, antes de serem utilizados para o cálculo da direção. A equação utilizada para calcular o valor de cada uma das componentes dos sensores é a seguinte:

$$output[i] += \textit{ALPHA} * (input[i] - output[i])$$

Para cada um dos valores x, y e z de cada um dos sensores é aplicada esta equação, tornando a variação das componentes mais suave e por consequência que a movimentação e rotação tanto da seta 3D como do quadrante sejam suaves. Evita também que interferências pontuais no campo magnético tenham efeito imediato na direção dada. Quanto menor o valor de *ALPHA* menor é a influência das interferências na direção dada pela aplicação, existindo apenas a desvantagem de a atualização do valor azimutal demorar mais tempo até estabilizar na direção para qual o utilizador está orientado.

4.2.2 Cálculo da direção

A orientação é calculada utilizando os valores de ambos os sensores, acelerómetro e magnetómetro, que são combinados pelo método *getRotationMatrix()* da Classe *SensorManager* do SDK Android e cujo resultado é devolvido sob a forma de uma matriz de rotação.

Esta matriz de rotação transforma um vetor no sistema de coordenadas do dispositivo num vetor em relação ao sistema de coordenadas do mundo. Onde o eixo dos xx' é definido como o vetor do produto vectorial de $Y.Z$, tangente ao chão na posição atual do dispositivo, o eixo dos yy é tangente ao chão e aponta para o pólo norte magnético e finalmente o eixo dos zz perpendicular ao chão, simétrico ao vector da aceleração da gravidade, como se pode observar na Figura 30.

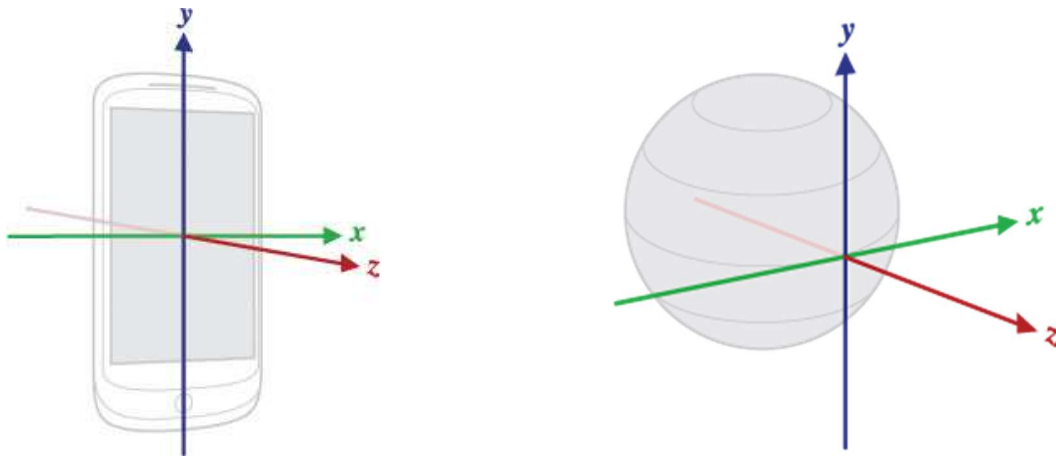


Figura 30 - eixos do dispositivo móvel e do planeta

Depois de obtida a matriz de rotação é extraída a componente de direção azimutal utilizando o método *getOrientation()*, que devolve a orientação azimutal do dispositivo em radianos, este valor é depois convertido em graus e é guardado para posterior consulta pelos outros módulos da aplicação. É importante referir que o método *getOrientation()* devolve valores corretos apenas quando a posição do dispositivo não se aproxima demasiado da vertical, sendo por isso necessário fazer um remapeamento das coordenadas da matriz de rotação quando o telemóvel inclinado de forma a que a aceleração da gravidade atinja pelo menos sete metros por segundo no eixo dos yy . Este remapeamento é feito recorrendo ao método *remapCoordinateSystem()* da Classe *SensorManager* para o qual é passada a informação que o eixo dos yy passa a ser o eixo dos zz .

A matriz de rotação e o valor da orientação azimutal são guardados para posteriormente serem utilizados para o desenho tanto da seta em perspectiva como a grelha que representa o plano de terra virtual.

4.3 Interface Visual

A interface visual da aplicação é composta por três tipos de indicação de direção, a indicação por texto, a simulação de uma bússola de quadrante e a indicação em perspectiva através de uma seta 3D que se adapta consoante a movimentação do dispositivo. Existe também um menu de definições onde se podem ativar e desativar funções da interface.

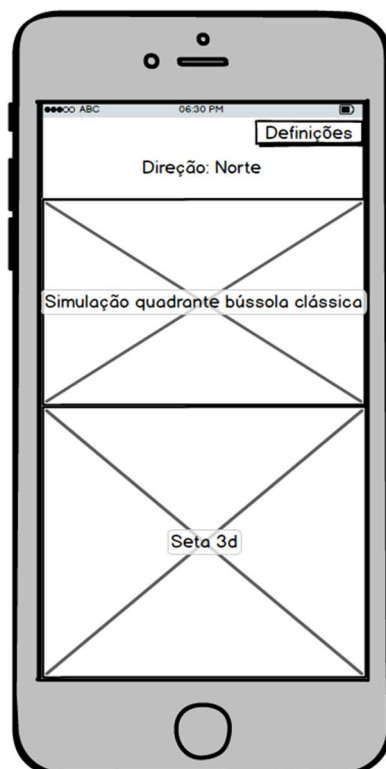


Figura 31 - Esquema do ecrã inicial

A Figura 31 mostra o *Layout* adotado no ecrã principal da aplicação. O ecrã é constituído por uma barra onde existe o botão de acesso às definições, a indicação textual de direção, a simulação a duas dimensões do quadrante de uma bússola clássica e da indicação dada pelos mencionados seta e plano de terra desenhados em perspectiva.

4.3.1 Indicação textual

No topo do ecrã é mostrado através de texto a direção do dispositivo em relação ao norte magnético terrestre em graus, este valor é atualizado trinta vezes por segundo, com a última direção calculada pelo motor de controlo de sensores. O texto atualizado é então injetado numa vista do tipo *Android Text View*, de forma a ficar visível para o utilizador.

4.3.2 Simulação de quadrante

O segundo tipo de indicação de direção é feito através de um quadrante semelhante ao de uma bússola tradicional, representado por uma imagem PNG colocada num *ImageView*, à qual é aplicada uma rotação sempre que a orientação do smartphone é alterada, ou seja, o Norte representado na imagem é mantido a apontar para o norte magnético da terra.

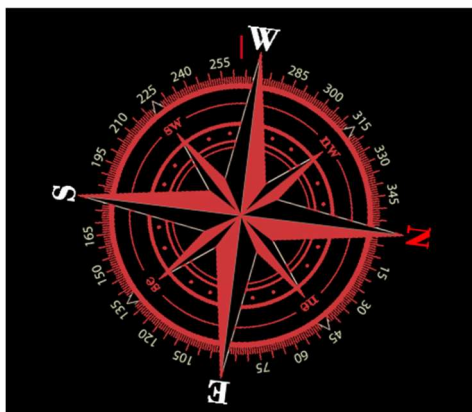


Figura 32 - Quadrante bússola

A figura 32 mostra o quadrante utilizado e tal como a informação textual este é atualizado trinta vezes por segundo, rodando sobre si próprio consoante a direção do Norte.

4.3.3 Visualização em perspetiva

A indicação de direção em perspetiva é dada por uma seta que se movimenta em relação a três eixos de rotação, *pitch*, *roll* e *yaw*, como ilustrado na Figura 33, orientada em direção ao Norte magnético terrestre ou para uma direção escolhida pelo utilizador. É também mostrado o plano de terra virtual, representado por uma grelha de malha quadrada que se mantém nivelada, isto é, perpendicular ao vetor da aceleração da gravidade. Este plano virtual serve para orientar o utilizador em situações em que o terreno não é plano e o desnível da superfície pode criar confusão, bem como quando a visibilidade ambiental é reduzida.

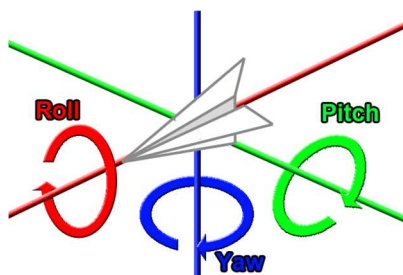


Figura 33 - eixos de rotação

Todo o desenho em perspetiva é feito utilizando o *OpenGL ES* existente nas bibliotecas nativas do *SDK Android*. Foi então criado um espaço no layout da atividade principal para colocar a superfície de desenho, *GLSurfaceView*, onde são desenhados os vários objetos 3D. Foram definidos dois tipos de objetos 3D, a seta e a grelha que representa plano de terra que converge para um horizonte virtual. A câmara é colocada num plano superior ao dos objetos 3D, apontada para o centro dos dois objetos, para enfatizar a perspetiva de visualização.

Para que fosse feita a movimentação dos objetos sempre que há alterações na orientação ou posição do dispositivo, foi implementado um processador 3D ligado à superfície de desenho.

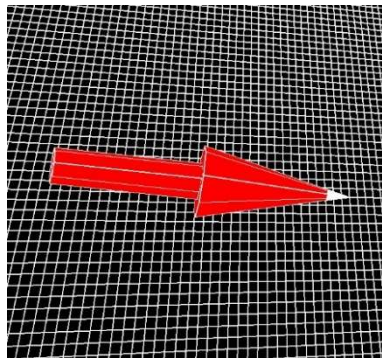


Figura 34 – Seta 3D e plano de terra

Os Objetos 3D, a seta e o plano de terra virtual, estão definidos pelos vértices que definem os seus planos e arestas, bem como as suas cores. Os vértices da seta são calculados consoante o comprimento e largura passados ao construtor da classe, sendo possível definir o tamanho desejado para a seta. A Figura 34 mostra a visualização em perspectiva dos elementos referidos.

Este processador 3D vai por sua vez, desenhar os objetos 3D utilizando como *model view matrices* as matrizes de rotação calculadas na classe *CompassEngine*, no caso do desenho da grelha que representa o chão é calculada uma nova matriz de rotação, que apenas tem em conta o movimento nos eixos x e y, ou seja, as variações de *pitch* e *roll*.

4.3.4 Menu de Definições

Sempre que um utilizador clica no botão de definições é mostrado um menu de diálogo com as diversas opções existentes na interface, tais como a seleção do tipo de áudio num menu *dropdown*, o tipo de vibração em caixa de seleção e a seleção dos dispositivos de vibração numa lista. Existe também a opção de ativar a correção da declinação magnética.



Figura 35 - Menu de Definições

Depois das opções serem confirmadas, são guardadas na memória partilhada do dispositivo para que numa próxima utilização a aplicação inicie com as definições fixadas pelo utilizador na sessão anterior.

4.3.5 Interface Visual Final

A Figura 36 mostra a interface visual final da aplicação desenvolvida:

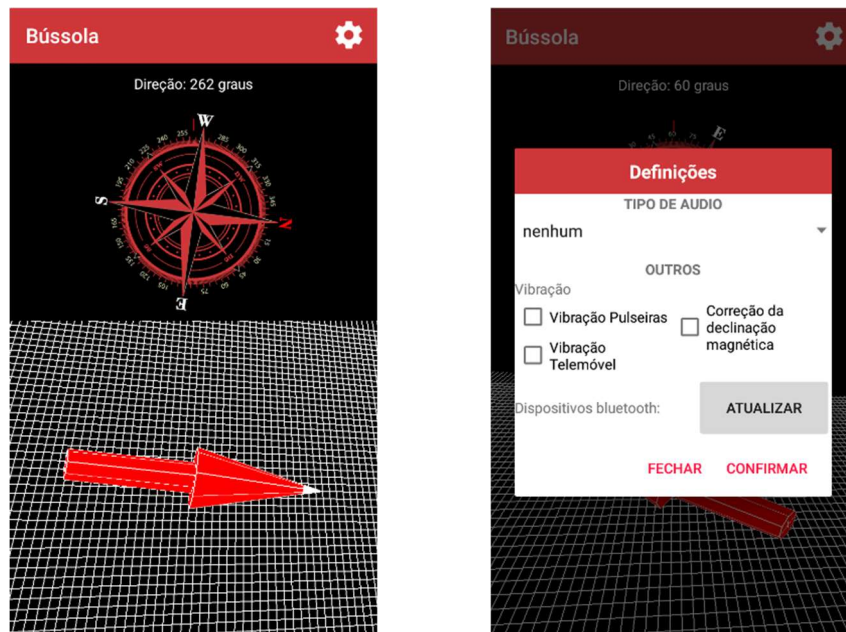


Figura 36 - Interface Visual

Do lado esquerdo temos o ecrã principal da aplicação, com todos os tipos de *feedback* visuais organizados e a barra de título que nos dá acesso ao menu de definições ilustrado do lado direito.

4.4 Interface Áudio

A interface Áudio da aplicação está dividida em quatro tipos de *feedback* auditivo: o áudio monaural simples, o áudio bilateral, o *feedback* falado e o áudio espacial binaural. Para reproduzir os diferentes tipos de *feedback* foram utilizadas bibliotecas do Android, tais como *AndroidSoundPool* para os sons simples e bilaterais, *Android Text to Speech* para a Fala e finalmente o processador de áudio da biblioteca *Google VR*, para criar o áudio espacial.

Consoante o tipo de *feedback*, o espaço em redor do utilizador (360°) foi dividido em quadrantes, excluindo o áudio binaural espacial onde a direção é dada por um objecto áudio virtual que se movimenta em redor do utilizador, dando-lhe a percepção de direção do som que o irá orientar.

4.4.1 Áudio Monaural Simples

O áudio monaural, som transmitido em apenas um canal áudio, foi implementado de maneira a que o utilizador seja alertado quando a sua direção não é a pretendida, assim, se o utilizador se desviar da orientação pretendida o som é alterado para indicar que a orientação actual não é a correta. No entanto, a indicação de direção certa ou errada não é suficiente, sendo necessário distinguir os diferentes graus de desvio. O método adotado para resolver este problema foi aumentar a cadência a que o som é reproduzido, aumentando quando o desvio é maior e diminuindo quando o utilizador se aproxima da direção desejada, como se pode observar na Figura 37. Exemplo: quando o dispositivo está orientado para a direção correta o intervalo entre reproduções é de quatro segundos, quando o desvio está entre trinta e cinco e sessenta e cinco graus é dois segundos e vai diminuindo até chegar aos sessenta e três milissegundos quando o desvio está entre cento e cinquenta e cinco graus e cento e oitenta graus.

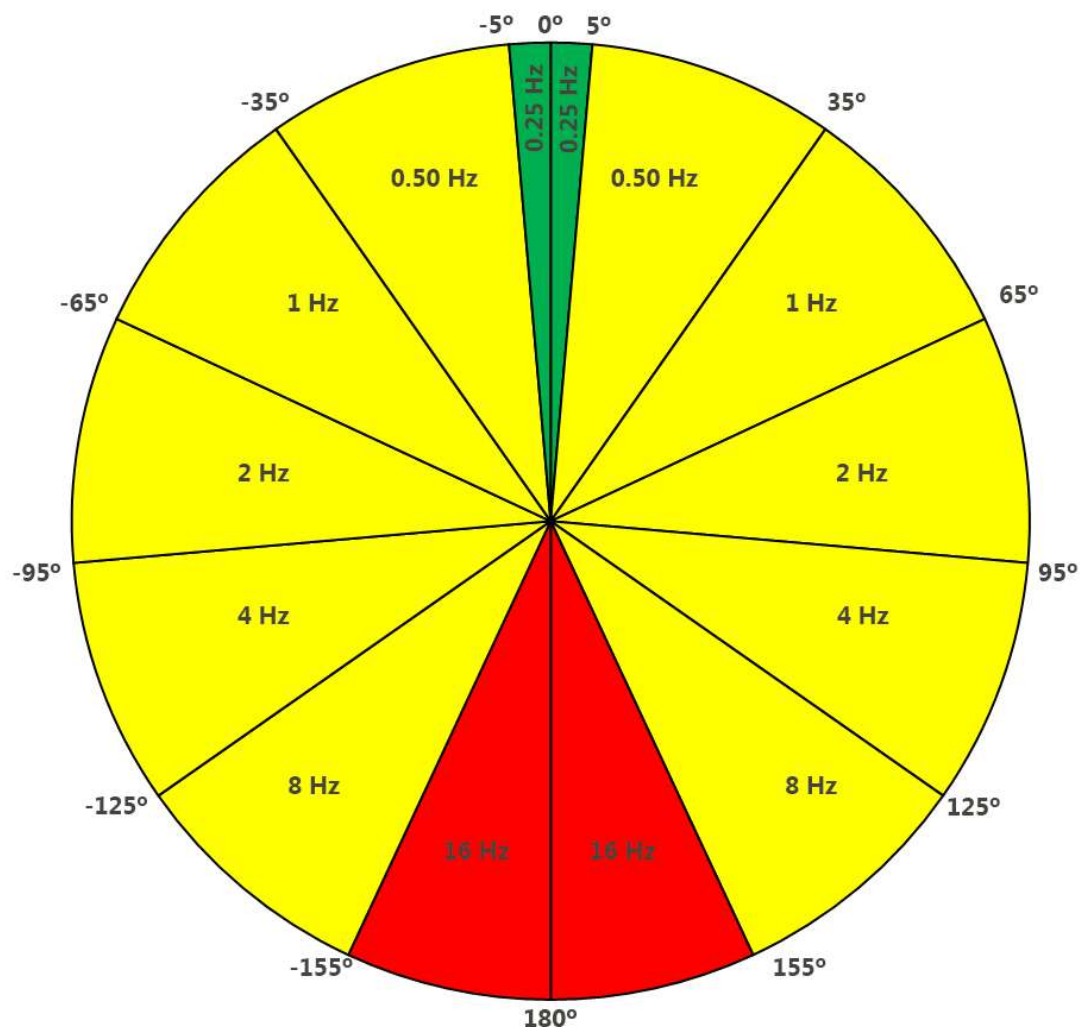


Figura 37 - Divisão dos 360° em quadrantes para o feedback mono

É utilizada a classe *Android SoundPool*, que permite carregar para memória sons de curta duração que posteriormente são reproduzidos com latência reduzida, sem sobrecarregar o processamento do dispositivo e com possibilidade de criação de vários *streams* de áudio em simultâneo.

4.4.2 Áudio estéreo bilateral

A utilização do áudio estéreo bilateral permite dar ao utilizador uma melhor perceção de orientação, uma vez que ao contrario do monaural, o som é transmitido por 2 canais (Esquerda e Direita), permitindo indicar qual o sentido do desvio (ou sentido para corrigi-lo) para além do grau do mesmo, como se encontra representado na Figura 38. Este recurso à informação do sentido do desvio elimina a necessidade da memória do utilizador.

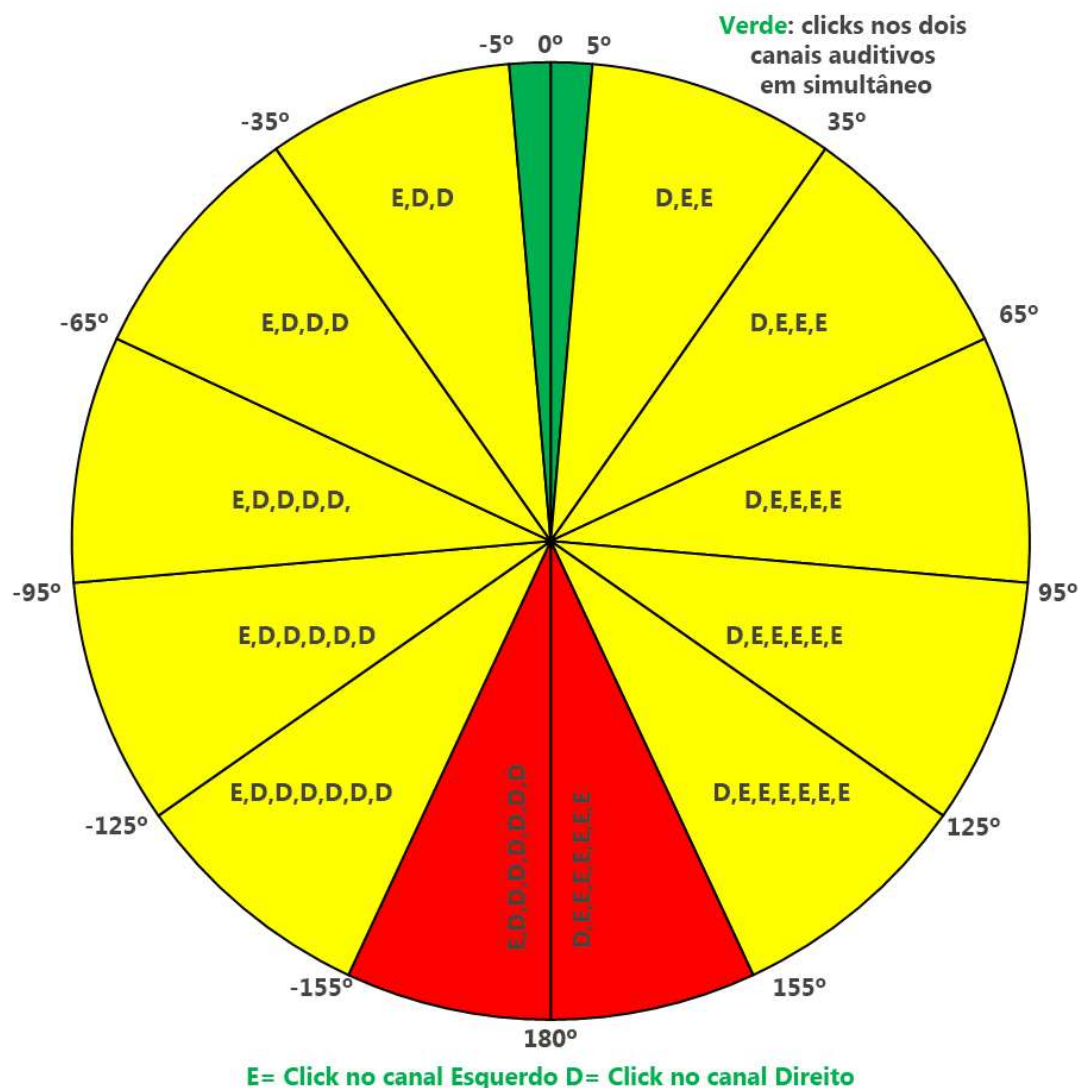


Figura 38 - Divisão dos 360° no feedback estéreo

É utilizado novamente o *Android Soundpool* para a reprodução dos ficheiros de áudio, existindo 2 (um som para a esquerda e outro para a direita) ao contrário do que acontecia com o monaural. A distinção entre a esquerda e a direita é então utilizada para indicar ao utilizador o sentido para a qual se tem de virar para voltar a andar na direção pretendida, para além disso continua a existir o problema do desvio, quantos graus o utilizador deve rodar sobre si mesmo para alcançar a trajetória pretendida. Esta distinção é feita através do número de vezes em que o som é reproduzido em cada um dos canais, tal como representado na ilustração da figura 36. O som utilizado para dar o *feedback* foi o som de um *click*, nos canais auditivos esquerdo ou direito.

4.4.3 *Feedback* Falado

As indicações dadas por meio da fala, utilizam a biblioteca *Text to Speech* do Android, que permite transformar qualquer tipo de texto em fala e reproduzi-la. Este tipo de *feedback* é utilizado para dar 3 tipos de informação, direção correta, direção errada quando o desvio é de 180 graus e informação da direção para qual o utilizador se deve orientar para corrigir se dirigir para a direção pretendida nas restantes.

O espaço em redor do utilizador foi dividido como se se tratasse de um relógio, isto é, dividindo os trezentos e sessenta graus do quadrante em doze fatias, resultando numa granularidade idêntica à dos meridianos (30°), cada hora indica uma direção e a informação dada ao utilizador indica para que hora se deve virar para estar orientado na direção selecionada/desejada. Por exemplo, se o Norte estiver na direção das quatro horas do quadrante de um relógio a indicação dada ao utilizador é que se oriente em direção às suas quatro horas. O cálculo da direção horária é a divisão entre o valor azimutal atual do dispositivo e doze, arredondado a zero casas decimais

Existem 2 casos específicos para a verbalização da informação, os casos das 12 e das 6 horas, em que a informação dada ao utilizador é que siga em frente ou que volte para trás respectivamente, sendo por isso necessário fazer essa distinção.

4.4.4 *Áudio Espacial Binaural*

Para dar um *feedback* espacial e imersivo, foi utilizada a biblioteca *Google VR*, mais especificamente o seu processador de áudio. Este processador de áudio permite utilizar o áudio binaural para criar um ambiente sonoro virtual em redor do utilizador e fazer um objeto sonoro movimentar-se em seu redor. No caso desta aplicação o objeto é posicionado no vetor que aponta para a direção escolhida pelo utilizador, dando ao utilizador a perceção de estar a ser imitado dessa direção.



Figura 39 - Áudio Binaural+

Foi utilizado o modo binaural de alta qualidade, baseado em HRTF, que funciona com base numa esfera com 16 altifalantes virtuais distribuídos em redor do utilizador. Foram também incluídos vários sons para que possa ser escolhido o mais agradável ou o mais intuitivo.

A percepção dada ao utilizador é a sensação de estar no centro circunferência com raio de três metros e o som é provem de um ponto dessa circunferência, ou seja, a fonte sonora varia em redor do utilizador consoante a indicação de direção que se pretende dar ao mesmo. A movimentação da fonte sonora é feita através do calculado das suas coordenadas x e y consoante a informação azimutal dada pelos sensores, depois de convertê-la para valores compatíveis, uma vez que os zero graus no círculo trigonométrico não coincidem com os zero graus da bússola e o ângulo é medido em sentidos opostos, no círculo trigonométrico é medido no sentido contrário aos ponteiros do relógio (sentido directo) e na bússola no sentido dos ponteiros. Depois de convertido o valor azimutal são calculadas as novas coordenadas, $3 * \cos(\text{azimute})$ para a coordenada x e $3 * \sin(\text{azimute})$ para a coordenada y , sendo o 3 a distância de 3 metros em relação ao centro da esfera virtual.

Por fim, é alterada a posição do objeto sonoro virtual utilizando o método *setSoundObjectPosition()* da classe *GvrAudioEngine* passando as novas coordenadas.

4.5 Interface Vibrátil

Foram desenvolvidos dois tipos de interface vibráteis, o primeiro utilizando a vibração do dispositivo móvel, que está acessível a qualquer dispositivo e o segundo através de dispositivos de vibração externos. Em ambos os casos o espaço em redor do utilizador foi dividido em quadrantes, tendo cada um desses quadrantes associados a um padrão de vibração.

4.5.1 Vibração Simples do Dispositivo

A vibração do dispositivo, tal como o som monaural permite alertar os utilizadores quando a orientação atual não corresponde à orientação pretendida. Este tipo de vibração foi implementado de maneira a que mantendo a duração de cada impulso de vibração, quanto maior o desvio maior será a cadência de repetição.

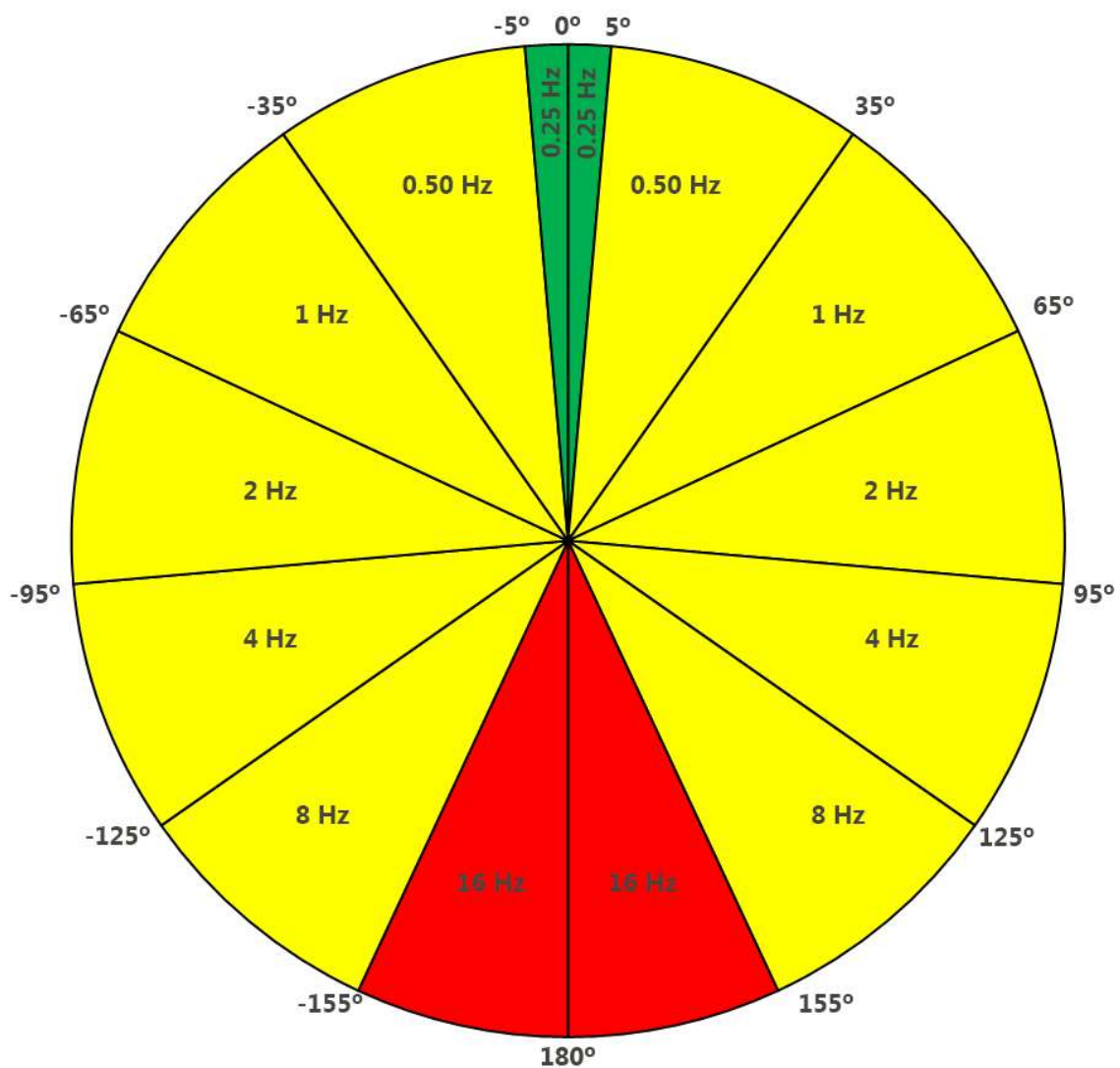


Figura 40 - Divisão dos 360° no feedback vibratório simples

Consoante o valor do desvio a cadência de vibração varia, quanto maior o desvio maior a cadência de vibração, conforme se pode ver na Figura 40, começando por ser de quatro em quatro segundos quando a orientação está correta e chegando a uma vibração continua quando o desvio está entre cento e cinquenta e cinco graus e cento e oitenta pois a vibração acontece a cada sessenta e três milissegundos

4.5.2 Vibração de pulseiras *Wearable*

A funcionalidade de vibração *wearable* é realizada utilizando duas *smart bracelets*, uma em cada braço, para indicar em que sentido o utilizador se deve orientar para se dirigir para o azimute desejado, direita ou esquerda. Permite contornar o problema do tipo de vibração anterior, uma vez que indica para além do desvio, o sentido do mesmo.

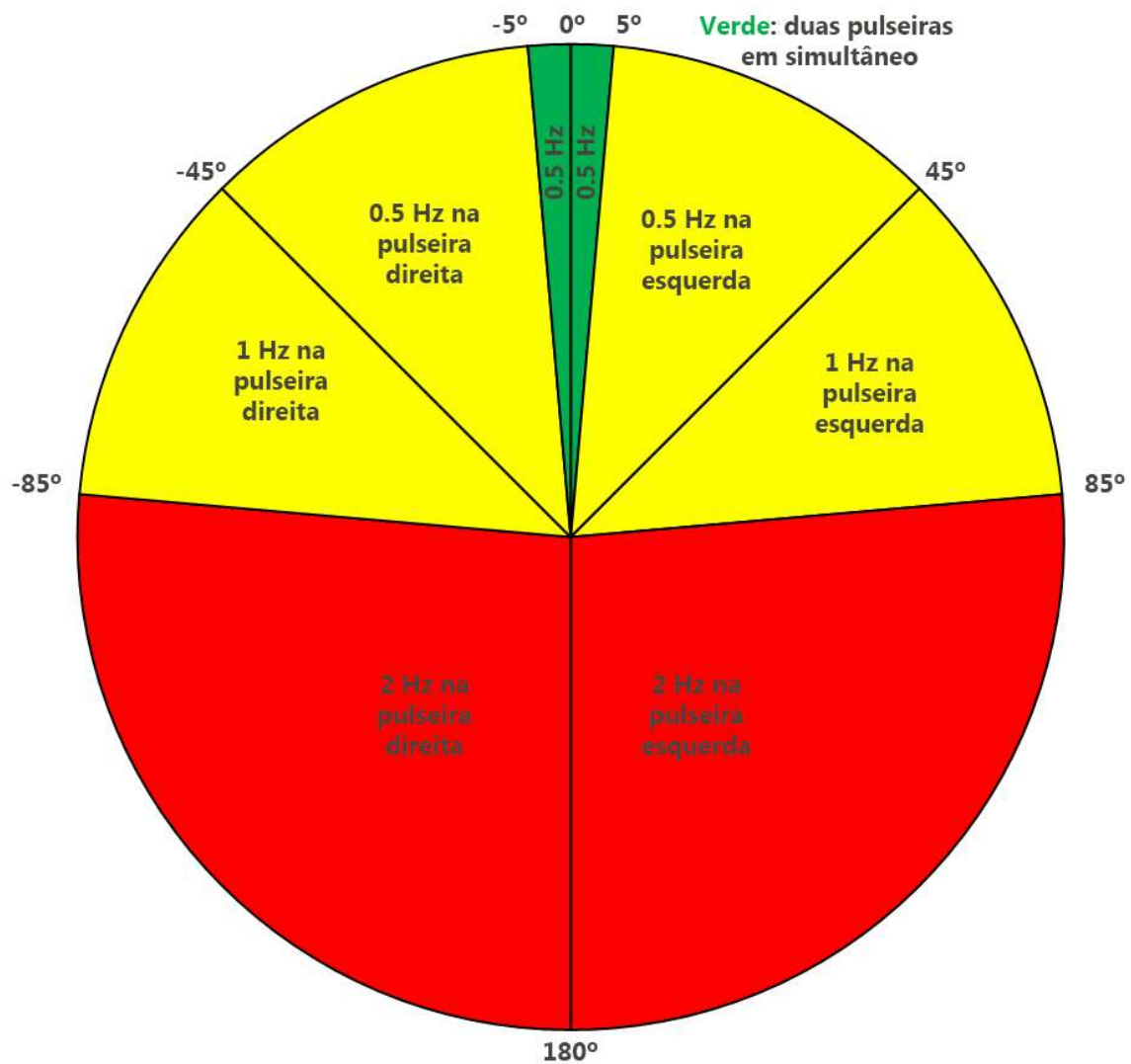


Figura 41 - Divisão dos 360° para o feedback vibratório com pulseiras

Esta vibração utiliza o mesmo princípio que o som estéreo bilateral, fazendo vibrar a pulseira do lado para onde o utilizador se deve orientar para corrigir a sua orientação, aumentando a cadência da vibração consoante o desvio. Quando o utilizador se dirige no caminho correto é feita

uma vibração simultânea das pulseiras de dois em dois segundos. Este esquema de codificação pode observar-se na Figura 41.

A comunicação com as pulseiras de vibração é feita por *Bluetooth Low Energy*, mais especificamente *Bluetooth Gatt (Generic Attribute Profile)*, ocupando o dispositivo de vibração o papel de servidor e o *smartphone* o papel de cliente. O servidor faz *broadcast* dos serviços e características disponíveis e o dispositivo cliente envia pedidos de escrita ou leitura consoante o objetivo da comunicação. Cada serviço é um conjunto de várias características relacionadas por uma função. Cada serviço está identificado por um id único (UUID), as características são o ponto principal de interação dos dispositivos, por exemplo, num serviço de monitorização do batimento cardíaco, um pedido à característica que corresponde aos batimentos por minuto devolve o batimento cardíaco num formato específico.

Uma vez que não existe uma norma a seguir para a criação de serviços e características para as *smart bracelet*, foi necessário analisar o código das aplicações proprietárias que controlam as pulseiras adquiridas, desenvolvidas pelo fabricante das mesmas. Esta análise de código permitiu descobrir quais eram os serviços disponibilizados pelas pulseiras, qual a função de cada um deles e as suas características. Depois de descobertos os serviços e características foi também necessário descobrir o protocolo utilizado para o envio de informação entre o cliente e o servidor, uma vez que a mesma característica de escrita serve para escrever varias informações na pulseira, tais como a data e a hora, informações sobre o utilizador ou até o envio de notificações vibratórias, no *header* da mensagem é enviada a informação necessária para identificar qual o pedido a processar pela pulseira.

4.6 Seleção da Direção Pretendida

Foi implementada a possibilidade de selecionar uma direção de referência diferente do Norte, para que o utilizador possa selecionar a direção para qual se pretende deslocar, evitando que o mesmo tenha apenas como referência o norte e seja obrigado a memorizar o ângulo para o qual se pretende deslocar. A seleção é feita através de um clique longo na zona do desenho 3D da do ecrã da aplicação. Quando o eixo vertical do dispositivo móvel está orientado com a direção desejada. Após ser feita a seleção, o *feedback* visual em perspectiva, auditivo e vibratório passam a ser dados em relação à nova direção em vez de o ser em relação ao Norte.

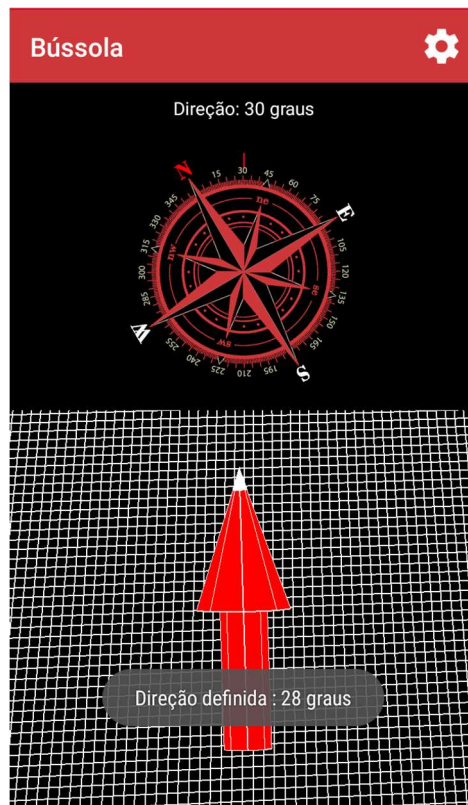


Figura 42 - Seleção de direção

Quando o utilizador faz um clique longo no ecrã é guardada a orientação atual do dispositivo, para depois ser utilizada no cálculo do novo “Norte”, nos diversos motores de controlo de feedback, por exemplo, se a direção no momento do clique for de quarenta e cinco graus, é dado um *offset* de quarenta e cinco graus à direção, ou seja, o zero passa a ser quarenta e cinco graus. O cálculo do desvio entre a direção atual e a direção pretendida passa a ser feito com referencia a essa nova direção em vez de ser feito em relação aos zero graus. Se for feito o clique uma segunda vez a direção de orientação é reposta novamente para o norte. Na Figura 42 pode ver-se o ecrã da aplicação após a ocorrência do clique longo.

4.7 Calibração da posição do telemóvel

A aplicação permite calibrar a bússola em relação à posição em que está fixa no corpo do utilizador, a calibração pode ser feita utilizando tanto com os botões físicos do dispositivo (botão de volume), como com o botão de atendimento de chamadas existente na maioria dos auriculares/auscultadores utilizados em dispositivos móveis. Esta calibração é feita guardando a orientação do dispositivo no momento em que o botão é pressionado pela primeira vez, e a diferença azimutal é calculada quando o utilizador carrega pela segunda vez no botão, ou seja, a seguinte equação : $offset = azimuthE - azimuthI$

Este *offset* é depois aplicado à direção dada pelos vários tipos de *feedback*. Um terceiro clique no botão faz com que esse *offset* seja respondido a 0.

4.8 Correção da declinação magnética

Tal como mencionado no capítulo 2, o norte magnético não corresponde ao norte geográfico, existindo um desvio entre os dois. Esse desvio é denominado de declinação magnética e o seu valor está dependente do campo magnético, que depende da posição geográfica do dispositivo. Existem modelos que estimam as variações do campo magnético à superfície terrestre.

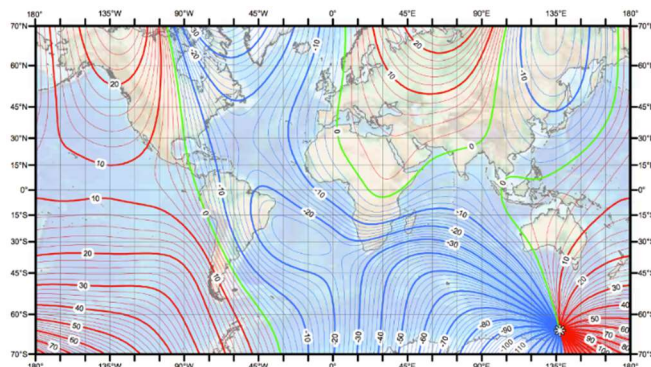


Figura 43 - *World Magnetic Model*

O calculo da declinação é feito utilizando a posição geográfica do *smartphone*, obtida através da *API* de localização da Google, sendo passados à classe *GeomagneticField* os valores da latitude, longitude e altitude atuais. A classe *GeomagneticField* utiliza o modelo *World Magnetic Model* criado por *United States National Geospatial-Intelligence Agency* para estimar o valor da declinação magnética em graus, que está representado na Figura 43.

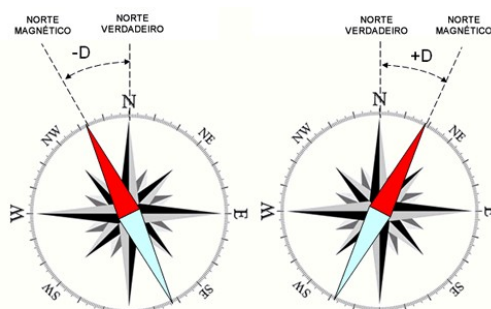


Figura 44 - Declinação Magnética

O valor estimado é então subtraído ao valor azimutal dado pelos sensores, uma vez que valores negativos implicam que o norte geográfico está desviado no sentido dos ponteiros do relógio em relação ao norte magnético, como é ilustrado na Figura 44.

Capítulo 5

Testes

Neste capítulo serão apresentados os testes bem como os resultados obtidos. Será feita análise aos resultados, serão elaboradas as conclusões e apresentadas as melhorias que poderão vir a ser feitas na aplicação e trabalhos futuros.

A aplicação foi testada utilizando quatro diferentes dispositivos móveis, para observar a funcionalidade da aplicação em qualquer tipo de dispositivo android com os sensores necessários. A aplicação foi testada nos seguintes dispositivos: Vodafone Smart Prime 6, Xiaomi Mi 4C, Xiaomi Redmi Note 3 e LG D90. Foi criado um aviso a ser mostrado aos utilizadores quando o dispositivo não tem disponíveis os sensores necessários para a correta utilização da aplicação.

Por fim foram feitos testes reais com utilizadores, a fim de verificar a adequação da bússola criada, ou seja, a precisão da orientação alcançada em comparação com a direção objetivo e a facilidade e utilidade da aplicação para utilizadores cegos.

5.1 Tipos de Testes

Foram realizados dois tipos de testes: o primeiro tipo foi destinado a comparar precisões da aplicação desenvolvida em relação a uma bússola clássica, o segundo tipo foi realizado com utilizadores e teve o objetivo de avaliar a utilidade dos diversos tipos de feedback desenvolvidos.

5.1.1 Testes de precisão em relação a uma bússola magnética clássica

Os testes feitos para comparação com a bússola tradicional, destinaram-se a garantir que a orientação dada pela aplicação corresponde à direção do norte magnético. Foi utilizada a bússola da marca *Coleman* modelo *Lensatic* e foi criado um dispositivo mecânico que permitiu alinhar o eixo longitudinal da bússola tradicional com o eixo longitudinal do smartphone de forma a medir diferenças entre a direção dada pela aplicação desenvolvida e a direção dada pela bússola clássica.

As diferenças medidas não ultrapassaram dois graus. Depois de comprovar que a direção dada pela aplicação corresponde à direção do norte magnético a menos das referidas diferenças, o passo seguinte foi testar os diferentes tipos de interface, para garantir que os mesmos

correspondem ao que é esperado no desenvolvimento da aplicação, nomeadamente que o funcionamento de cada tipo de interface não apresenta desvios médios diferentes de zero.

5.1.2 Testes com utilizadores

Depois de medidas as diferenças entre as orientações dadas pela aplicação e pela bússola clássica, foram então feitos testes reais com utilizadores, utilizando um cinturão (arnês), como o da Figura 45, para montagem do telemóvel ou da bússola, a fim de avaliar a capacidade dos sujeitos utilizarem os vários tipos de feedback dados pela aplicação.



Figura 45 - Smartphone colocado num arnês

Os primeiros testes realizados com utilizadores foram os testes de orientação com o utilizador num local fixo, ou seja, um teste estático.

Durante este teste o utilizador é mantido na posição central do local de teste, variando apenas a sua orientação azimutal. No início do teste será definida uma direção de destino, sendo o objetivo que o utilizador seja capaz de se orientar para a direção indicada utilizando qualquer uma das interfaces disponíveis: visual, auditivo estéreo bilateral, áudio espacial binaural ou vibratória. Os sujeitos não cegos fizeram este teste utilizando também uma bússola clássica.

Quando o sujeito se sentiu satisfeito com a direção alcançada, foi marcada visualmente a orientação do mesmo e feita uma marcação à distância no sólo para que posteriormente fosse calculado o desvio entre a direção alcançada e a direção real a medir com a bússola clássica.

O teste foi feito de forma a que o utilizador não tivesse qualquer referência de orientação para além da referência dada pela aplicação, no caso da utilização “eyes-free” com os olhos vendados para eliminar a possibilidade da orientação através da visão e obrigar à utilização exclusiva das indicações dadas pela aplicação.

De seguida foram feitos testes da utilização da bússola em movimento, ou seja, com o utilizador a caminhar na direção proposta. Este tipo de testes serviu para avaliar a eficácia da aplicação quando utilizada para percorrer um caminho retilíneo numa determinada direção pedida

e testou a capacidade dos utilizadores manterem a sua direção ao longo da caminhada, utilizando apenas a aplicação como meio de orientação.

Os sujeitos partiam do ponto central do local de testes em direção a uma orientação definida no início do teste. Ao longo do percurso foram marcados os pontos por onde os sujeitos passaram, aproximadamente de cinco em cinco metros, para que depois pudesse ser desenhado o trajeto a partir desses mesmos pontos e calculados o desvio médio, a orientação média e outras medições como a tendência e o número de segmentos em que o sujeito excedeu o erro aceitável para a orientação.

5.2 Local

O local escolhido para realizar os testes à aplicação foi um dos relvados da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto. Foi escolhido este tipo de piso, em virtude da sua superfície ser irregular, dificultando as tarefas de orientação tal como foi pedido aos utilizadores, aumentando a necessidade da utilização da bússola *eyes-free* para se conseguir manter um trajeto retilíneo. Pelo facto do relvado ter uma área maior que cinquenta por cinquenta metros, foi possível definir um círculo de vinte e cinco metros de raio à volta do ponto central.



Figura 46 - Local de testes FADEUP

Este espaço torna possível a realização de testes em qualquer direção aleatória, a partir do ponto central.

5.3 Procedimentos

Iniciou-se o procedimento com um *briefing* com cada um dos utilizadores, explicando quais as funcionalidades implementadas e como cada uma delas funciona, tendo sido dada a

oportunidade de testar livremente cada uma delas a fim de lhes possibilitar alguma familiaridade aos diversos tipos de *feedback*.

Após a primeira fase foi pedido a cada um dos utilizadores que se posicionasse no ponto central do local de testes, para dar início à preparação dos mesmos, instalando-se todo o material necessário. Foi utilizado um arnês com suporte para telemóveis, para garantir que a posição do dispositivo no corpo dos utilizadores fosse sempre igual entre todos os testes e também para que o eixo longitudinal do dispositivo coincidisse com o eixo de andamento (antero-posterior) do utilizador. No caso dos utilizadores não cegos foi também pedido que colocassem uma venda durante os testes às interfaces não visuais, de modo a que apenas se pudessem guiar pelo *feedback* dado pela aplicação.

Para dificultar a tarefa dos utilizadores, a orientação inicial dos mesmos foi aleatória, fazendo o utilizador rodar sobre si próprio para criar alguma desorientação.

5.3.1.1 Teste estáticos

Para realizar este teste, foi pedido ao utilizador que se colocasse no centro do campo e se tentasse orientar para uma determinada direção definida e que quando se sentisse satisfeito informasse.

Depois de estar orientado, foi marcada pelo operador a orientação alcançada, recorrendo a espetos de madeira colocados no relvado, para depois medir a direção com uma bússola clássica.

O teste foi repetido para duas direções diferentes com cada um dos tipos de *feedback* não visual. No caso dos utilizadores não cegos o teste foi também realizado utilizando o *feedback* visual da bússola clássica e da aplicação móvel.

5.3.1.2 Teste em movimento

Os testes em andamento começaram por colocar o utilizador no centro do campo de testes. Sendo pedido ao utilizador que se orientasse para uma direção escolhida antes do início da marcha. Após alcançada essa direção era pedido ao utilizador que começasse a andar em frente e que se guiasse pelas indicações dadas pela bússola de forma a manter a direção durante o resto do teste.

Aproximadamente a cada 5 metros foi marcada a posição por onde a pessoa passou recorrendo novamente aos espetos de madeira, foram feitas quatro marcações por cada direção de andamento, duas para cada tipo de *feedback*.

5.4 Resultados

Esta secção serve para apresentar os resultados dos testes realizados, comparando a bússola clássica com a utilização da aplicação móvel criada e apresentando os desvios e orientações médias no caso dos testes em movimento.

Foram realizados testes com pessoas cegas e pessoas sem deficiências conhecidas, com idades compreendidas entre os vinte e dois e os cinquenta e sete anos. A aplicação foi testada por seis pessoas, três delas cegas.

ID	Idade	Género	Observações
1	57	Masculino	Cego aos 24 anos, baixa visão aos 13
2	50	Masculino	Cego aos 30, baixa visão aos 27
3	44	Masculino	Cego aos 27
4	22	Masculino	Sem treino de orientação geográfica, sem deficiências conhecidas
5	22	Feminino	Sem treino de orientação geográfica, sem deficiências conhecidas
6	22	Masculino	Sem treino de orientação geográfica, sem deficiências conhecidas

Tabela 3 - Informações sobre os utilizadores testados

A Tabela 3 mostra as informações recolhidas sobre as várias pessoas que testaram a aplicação.

Depois de feitos os testes foi possível calcular com um livro excel os desvios e tendências médias de cada um dos tipos de testes realizados assim como os desvios máximos e mínimos em cada um deles para, posteriormente, fazer uma avaliação comparativa entre todas as opções de orientação desenvolvidas.

5.4.1 Resultados dos Testes Estáticos

Neste sub-tópico serão apresentados os resultados obtidos com os testes realizados com os sujeitos numa posição fixa.

Primeiro serão apresentados os resultados dos testes realizados com recurso à visão utilizando a bússola clássica e a aplicação e depois os testes realizados utilizando exclusivamente o *feedback* dado pela aplicação, sem recurso à visão.

5.4.1.1 Com visão

Os testes estáticos feitos com a bússola tradicional, mostram que em média o valor angular alcançado pelos seus utilizadores varia em média 4,67 graus em módulo, em relação à sua real

orientação, medida pela bússola clássica. Nos testes realizados o desvio máximo em módulo entre a orientação obtida e a orientação real foi de 14 (catorze) graus e o mínimo foi de 0 (zero) graus.

Quanto à utilização da aplicação, o valor angular alcançado varia em módulo 7 (sete) graus em relação à orientação real do utilizado, com a utilização da aplicação o desvio máximo em módulo foi de 15 (quinze) graus e o mínimo 1 (um) grau.

5.4.1.2 Sem visão

Os testes estáticos realizados recorrendo exclusivamente ao uso dos três tipos de *feedback* criados, estéreo bilateral, binaural e vibratório, mostram que em média o desvio angular é de 5,23 graus em módulo, sendo o desvio máximo em módulo de 13 (treze) graus em módulo e o mínimo de 0 (zero).

O *feedback* estéreo bilateral obteve um desvio médio angular de 4,4 graus em módulo, com o desvio máximo de 10 (dez) graus em módulo e mínimo de zero.

O *feedback* binaural obteve um desvio médio angular de 6,5 graus em módulo, com o desvio máximo de 13 (treze) graus em módulo e o mínimo 0 (zero).

Por último, o *feedback* vibratório com pulseiras vibratórias obteve um desvio médio de 4,8 graus em módulo, com o desvio máximo de 11 (onze) graus em módulo e o mínimo de 0 (zero).

5.4.2 Resultados dos Testes em movimento

Neste subtópico são apresentados os resultados obtidos com os testes realizados com os utilizadores a percorrer um percurso em numa determinada orientação.

Para cada um dos testes são apresentadas figuras que mostram os resultados dos testes realizados, cada um dos testes é representado por três tipos de linha, continua para o caminho percorrido, tracejada para o caminho pretendido e pontuada para a linha de tendência calculada para cada um dos percursos.

5.4.2.1 Com visão

Os testes em movimento realizados com recurso à visão mostram que utilizando a bússola clássica o desvio médio é de 3,33 graus em módulo, existindo um desvio máximo de 8,5 graus em módulo e mínimo de 0 (zero).

Podem ver-se na Figura 47 os resultados para o teste com bússola clássica, nomeadamente os trajectos, as linhas de orientação pretendida a tracejado e as linhas de tendência seguidas pelos sujeitos do teste a pontilhado.

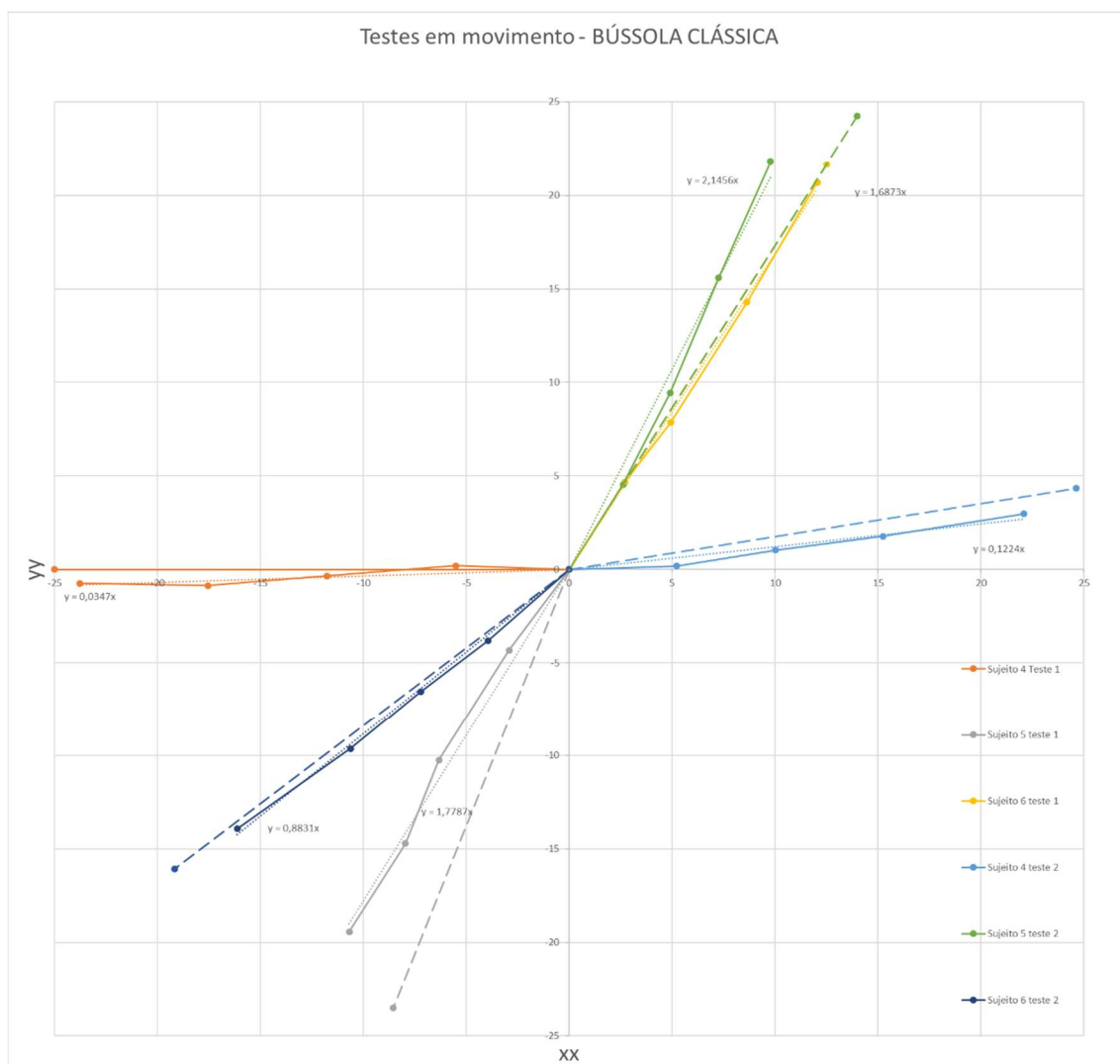


Figura 47 - Teste com bússola clássica

Depois de calculadas as linhas de tendência de cada um dos percursos, foi calculada a orientação média de cada uma dessas linhas, a fim de comparar com a direção de andamento pretendida e calcular a diferença entre as mesmas. Após estes cálculos, foi feita a média de todos os valores, obtendo-se uma diferença média de 3,57 graus em módulo.

Foram também calculados o número de erros ao longo dos percursos feitos, sendo considerado um erro quando o desvio entre a orientação pretendida e a orientação entre dois pontos do percurso excede os cinco graus. Neste teste o maior número de erros ao longo do percurso foi 3 (três). Foi calculada a média de erros, obtendo-se um valor de 1 (um) erro por percurso.

No caso da utilização da aplicação móvel os resultados obtidos foram erro médio em módulo de 5,95 entre a direção pretendida e a direção alcançada ao longo do percurso, tendo como máximo e mínimo 12,25 e 2, respetivamente.

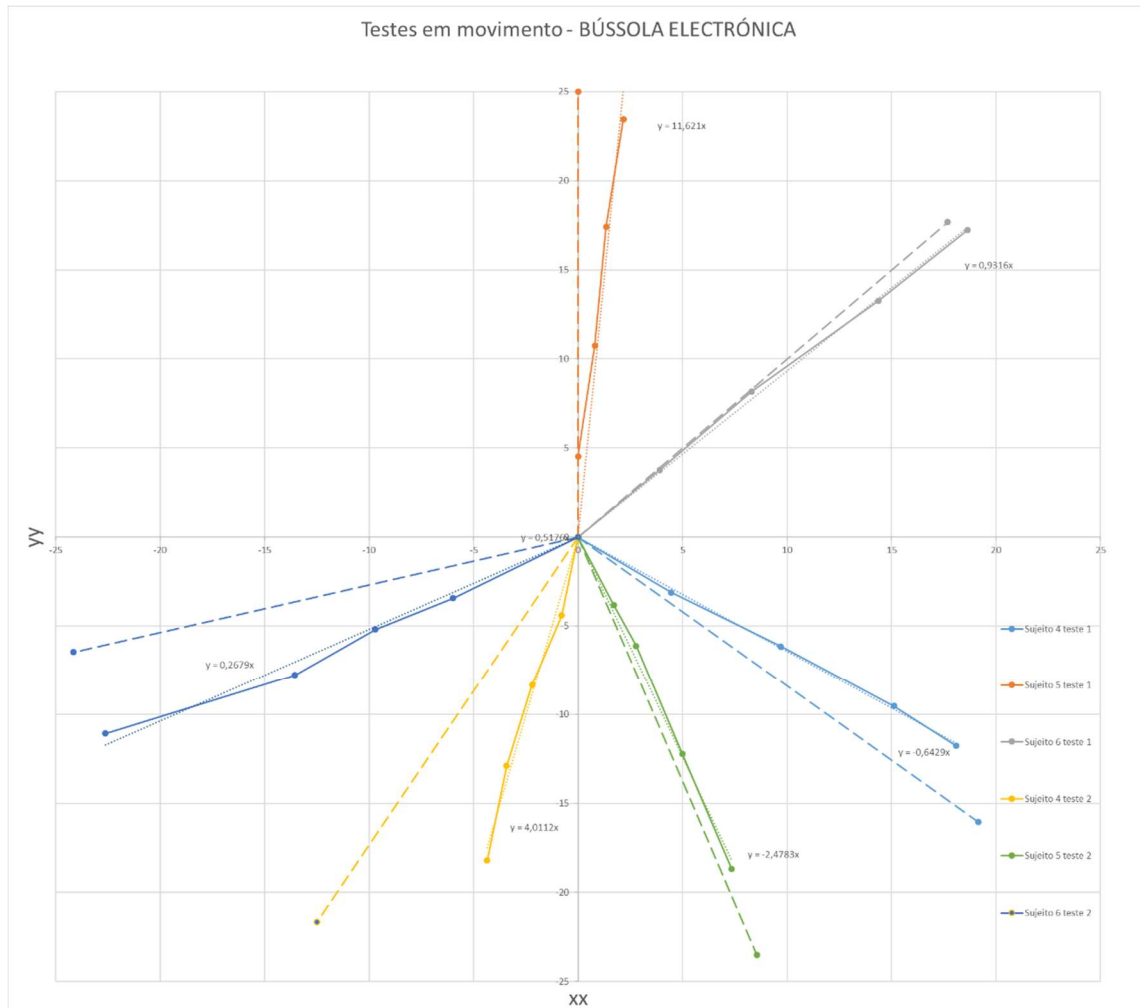


Figura 48 - Teste com bússola electrónica

Podem ver-se na Figura 48 os resultados para o teste com a bússola electrónica desenvolvida, usando a visão, nomeadamente os trajectos, as linhas de orientação pretendida a tracejado e as linhas de tendência seguidas pelos sujeitos do teste a pontilhado.

Neste teste, a diferença média entre o ângulo das linhas de tendência e a orientação pretendida foi de 5,36 graus e o número médio de erros ao longo de um percurso foi de 1,4, sendo quatro o maior número de erros.

5.4.2.2 Sem visão

Neste subtópico serão apresentados os resultados obtidos com os testes em movimento realizados sem recurso à visão, ou seja, os testes feitos utilizando exclusivamente o *feedback* áudio ou vibratório dado pela aplicação.

Feedback Estéreo Bilateral:

Os testes com o *feedback* estéreo indicam que em média a direção de andamento tem uma variação de 4,17 graus, sendo o melhor resultado obtido o desvio de zero graus e o pior com um desvio de dez graus.

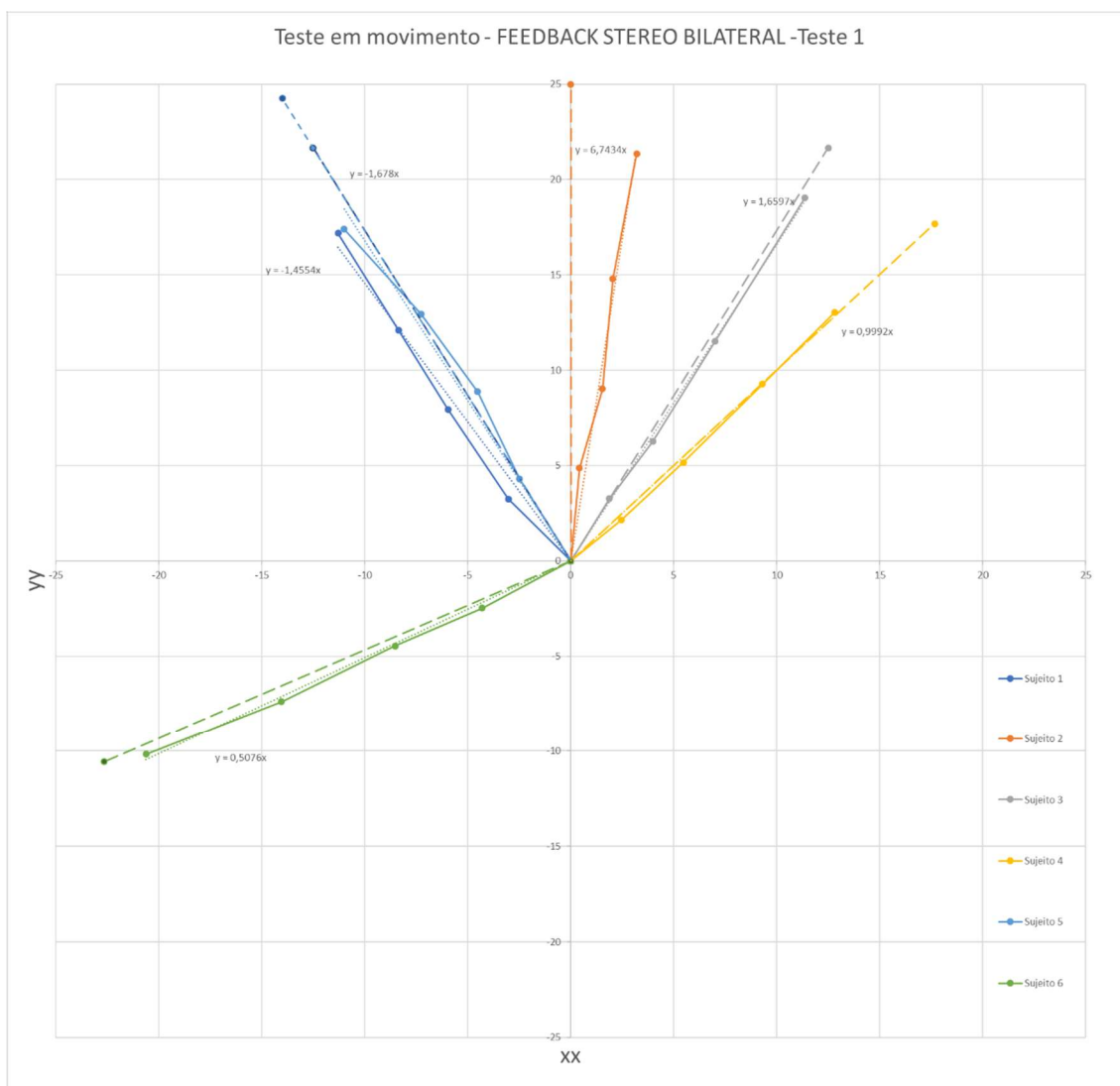


Figura 49 - Teste 1 com feedback estéreo bilateral

Podem ver-se na Figura 49 os resultados para o 1º de 2 testes com a bússola electrónica desenvolvida com indicação áudio bilateral estéreo, nomeadamente os trajectos, as linhas de

orientação pretendida a tracejado e as linhas de tendência seguidas pelos sujeitos do teste a pontilhado.

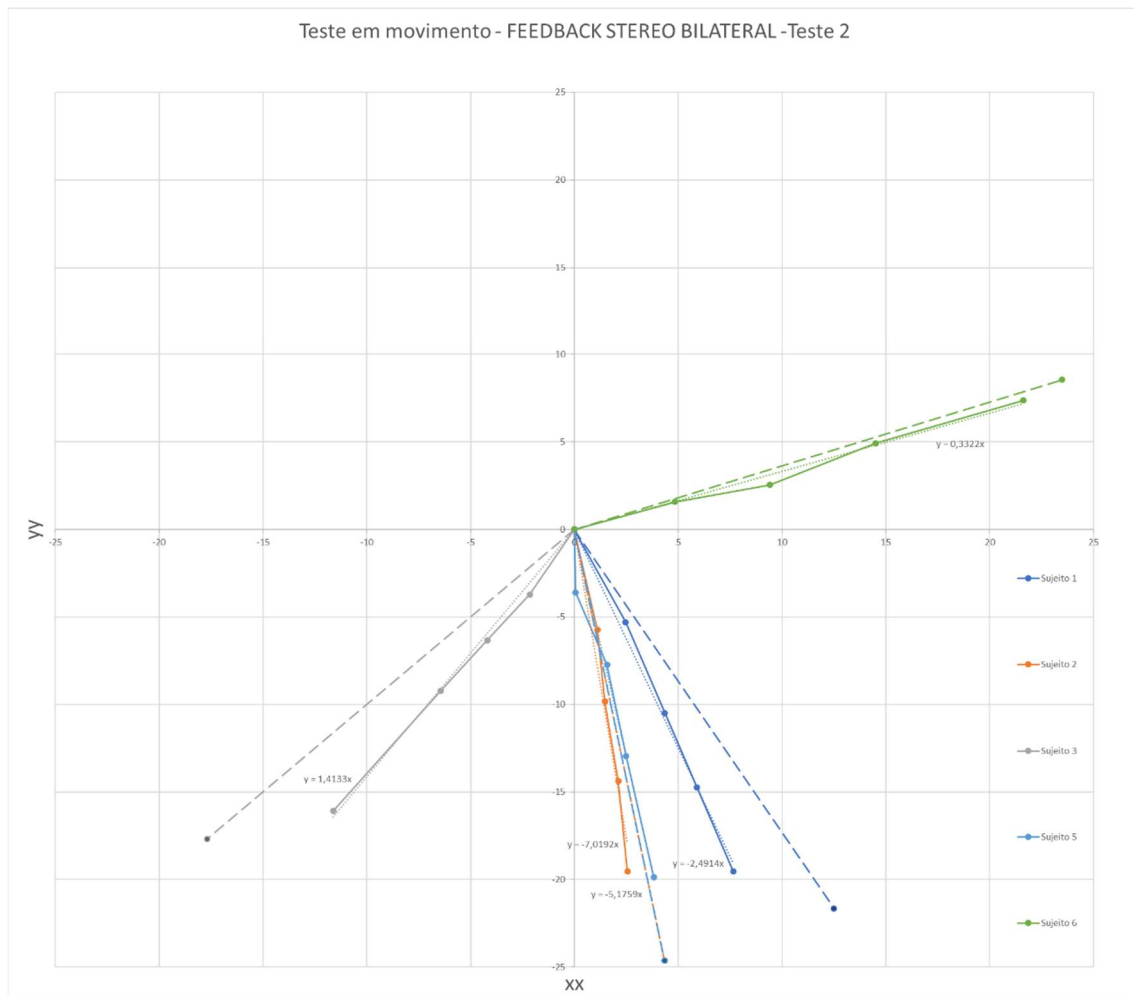


Figura 50 - Teste 2 com feedback estéreo bilateral

Podem ver-se na Figura 50 os resultados para o 2º de 2 testes com a bússola electrónica desenvolvida com indicação áudio bilateral estéreo, nomeadamente os trajectos, as linhas de orientação pretendida a tracejado e as linhas de tendência seguidas pelos sujeitos do teste a pontilhado.

Os testes feitos utilizando este tipo de *feedback*, mostram uma diferença média entre o angulo das linhas de tendência e a orientação pretendida foi de 3,54 graus e o numero médio de erros ao longo de um percurso foi de 1,58, com no máximo 4 erros por percurso.

Feedback Binaural:

Os testes com o *feedback* binaural indicam que em média a direção de andamento tem uma variação de 6,11 graus, sendo o melhor resultado obtido o desvio de 0,25 graus e o pior com um desvio de 15,5 graus.

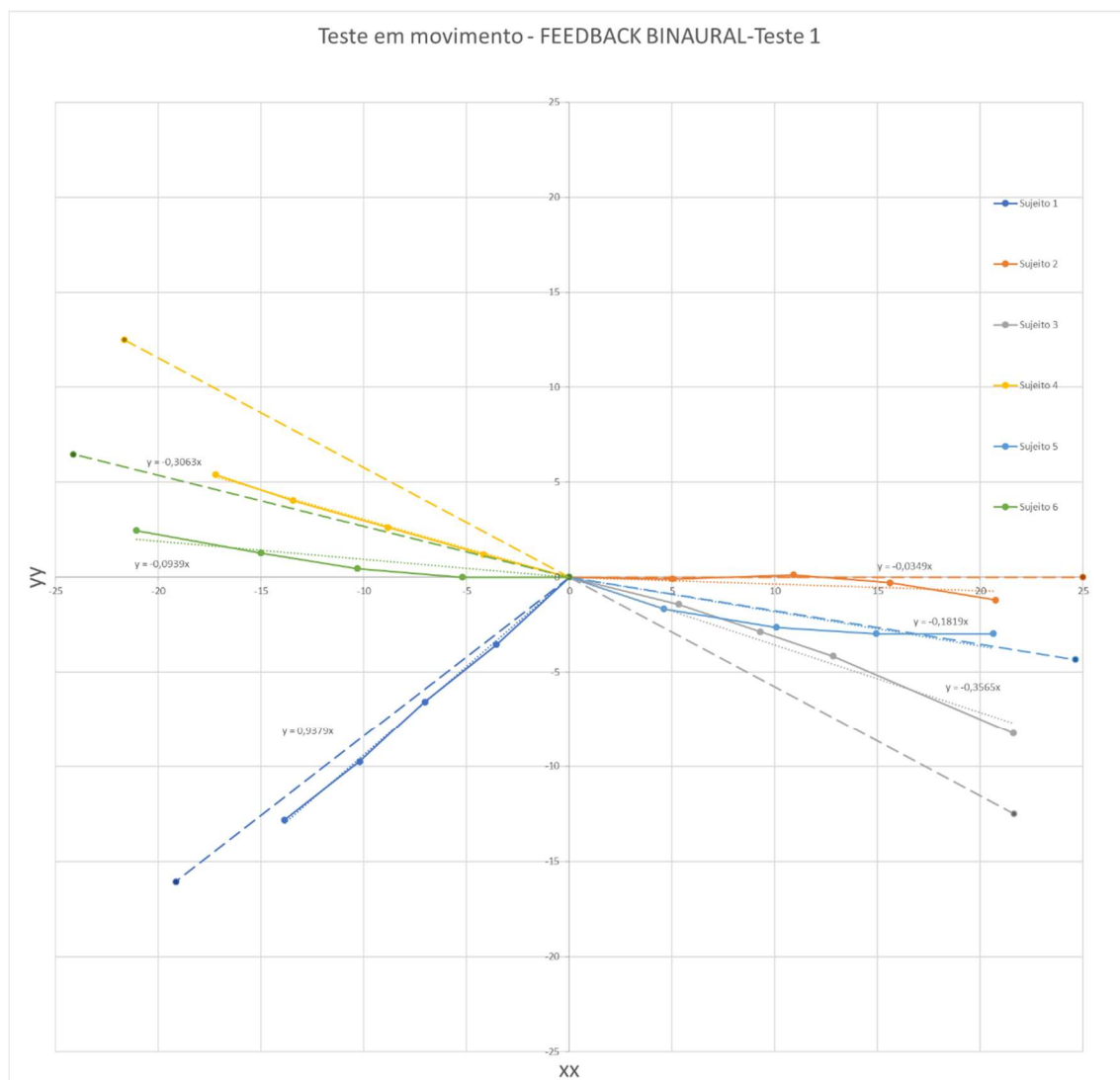


Figura 51 - Teste 1 com feedback binaural

Podem ver-se na Figura 51 os resultados para o 1º de 2 testes com a bússola electrónica desenvolvida com indicação áudio binaural, nomeadamente os trajectos, as linhas de orientação pretendida a tracejado e as linhas de tendência seguidas pelos sujeitos do teste a pontilhado.

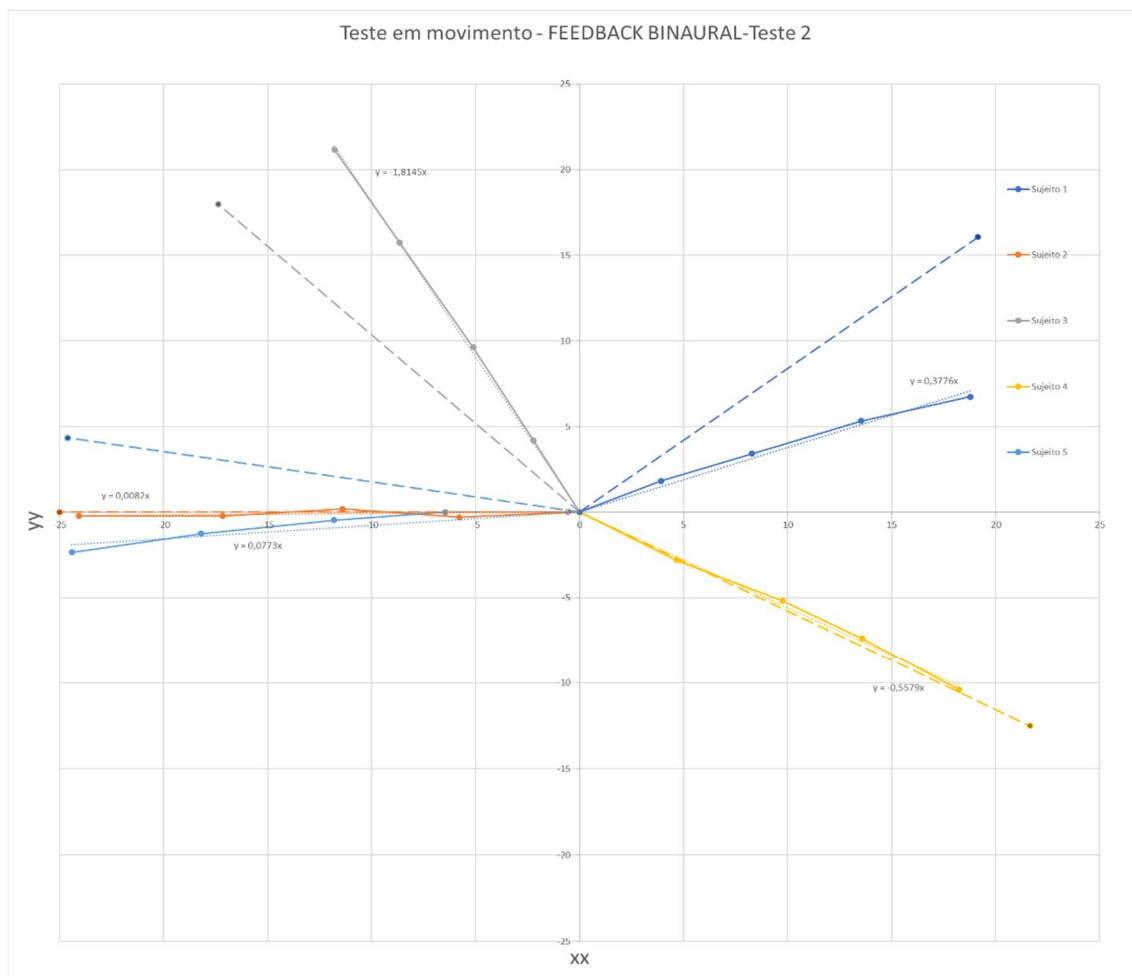


Figura 52 - Teste 2 com feedback binaural

Podem ver-se na Figura 52 os resultados para o 2º de 2 testes com a bússola electrónica desenvolvida com indicação áudio binaural, nomeadamente os trajectos, as linhas de orientação pretendida a tracejado e as linhas de tendência seguidas pelos sujeitos do teste a pontilhado.

Os testes feitos utilizando este tipo de *feedback*, mostram uma diferença média entre o angulo das linhas de tendência e a orientação pretendida foi de 6,10 graus e o numero médio de erros ao longo de um percurso foi de 1,89, com no máximo 4 erros por percurso.

Feedback Vibratório Wearable:

Os testes com o *feedback* vibratório com pulseiras de vibração, indicam que em média a direção de andamento tem uma variação de 5,85 graus, sendo o melhor resultado obtido o desvio de 0,25 graus e o pior com um desvio de 17,25 graus.

Podem ver-se na Figura 53 os resultados para o 1º de 2 testes com a bússola electrónica desenvolvida com indicação vibrátil bilateral, nomeadamente os trajectos, as linhas de orientação pretendida a tracejado e as linhas de tendência seguidas pelos sujeitos do teste a pontilhado.

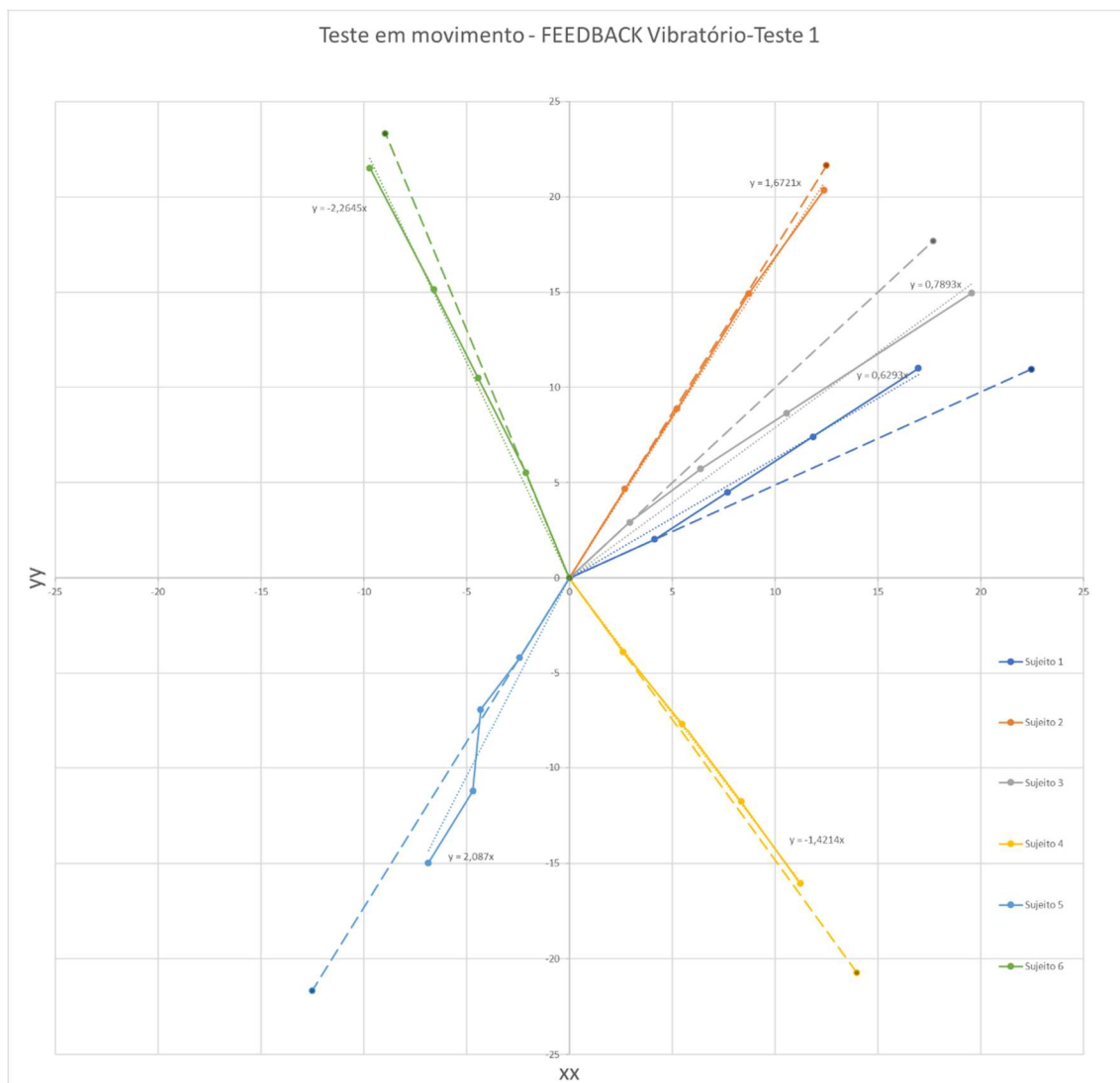


Figura 53 - Teste 1 com feedback vibratório bilateral

Podem ver-se na Figura 54 os resultados para o 2º de 2 testes com a bússola electrónica desenvolvida com indicação vibrátil bilateral, nomeadamente, os trajectos, as linhas de orientação pretendida a tracejado e as linhas de tendência seguidas pelos sujeitos do teste a pontilhado.

Os testes feitos utilizando este tipo de *feedback* mostram uma diferença média entre o ângulo das linhas de tendência e a orientação pretendida que foi de 4,32 graus e o número médio de erros ao longo de um percurso foi de 1,1, com no máximo 4 erros por percurso.

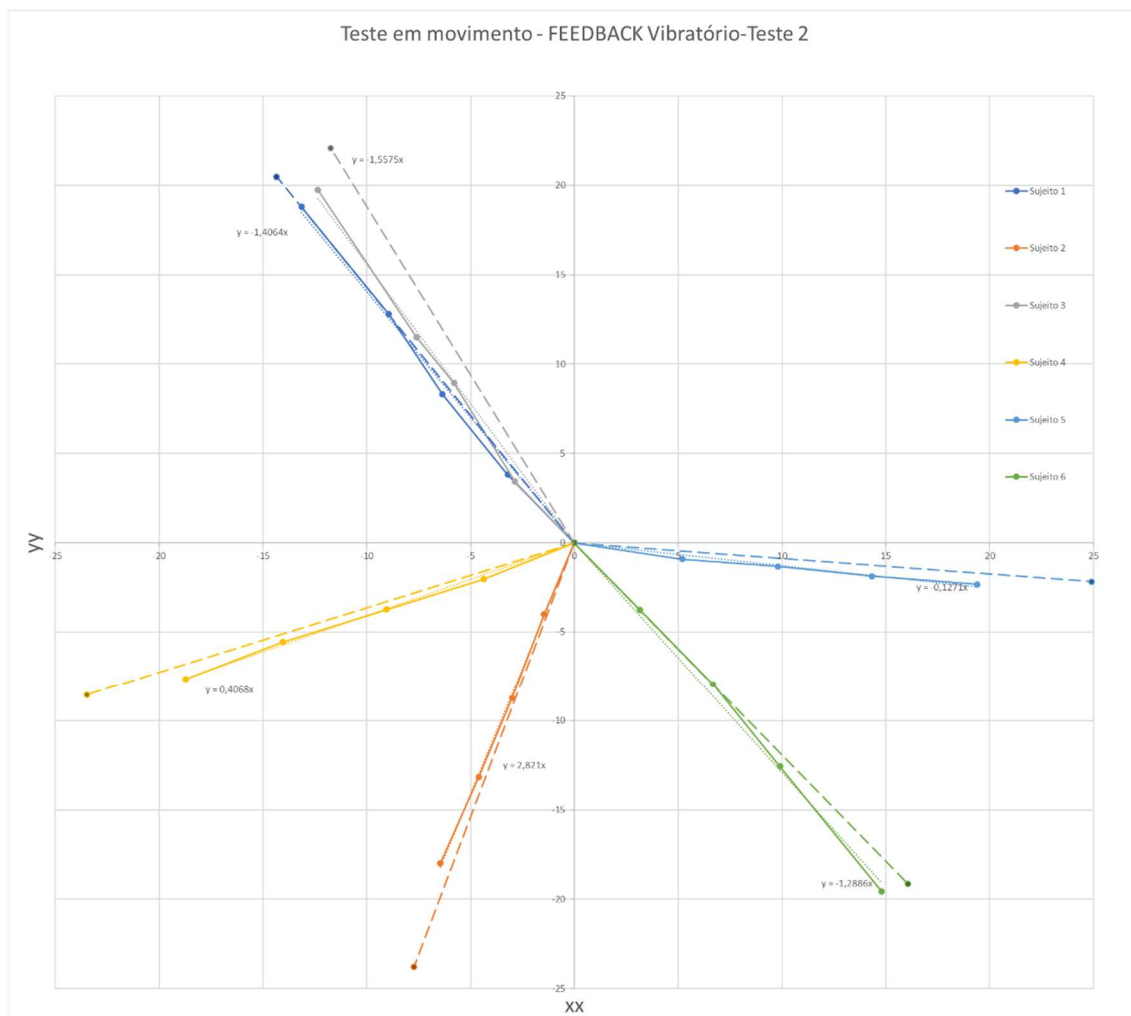


Figura 54 - Teste 2 com feedback vibratório bilateral

5.4.3 Testes de Opinião e Sugestões

No final de cada um dos testes foi pedido a cada uma das pessoas que desse a sua opinião sobre os diversos tipos de *feedback* testados.

O *feedback* visual foi referido como de fácil habituação e sem exigir uma maior dificuldade na percepção da orientação em relação a uma bússola clássica.

Em geral o *feedback* estéreo bilateral com clicks nos dois canais auditivos foi escolhido como o mais fácil de utilizar, por ser mais fácil corrigir os desvios e não ser maçador.

A maioria escolheu o *feedback* Vibratório com as pulseiras Bluetooth como o segundo melhor tipo de *feedback*. Apesar da oscilação do corpo do utilizador ter alguma influência na percepção da vibração das pulseiras. A maioria escolheu a vibração como a opção mais fiável, foi sugerida também a possibilidade de terem a opção de alterar o modo de vibração entre o atual

eque avisa para que lado a pessoa se deve orientar, e o contrário, como que a aplicação estivesse a avisar que existe um obstáculo do lado em que a pulseira vibra.

O *feedback* Binaural foi o tipo de indicação com o menor número de utilizadores satisfeitos. Foi apontado pela maioria que não há uma grande distinção entre a indicação do zero e dos cento e oitenta graus, isto é, é difícil perceber quando o som vem da frente ou de trás da cabeça. Foi também referido que utilizando os auscultadores por *bone conduction* o som utilizado (canto de pássaros) não é o melhor porque é difícil saber se os pássaros ouvidos são o som gerado pela aplicação ou pássaros reais e porque os sons em redor do utilizador influenciam a perceção de direcção, apesar do som dos pássaros ser agradável e de com o passar do tempo e com o treino a perceção de direcção melhora. Apresentaram a seguinte sugestão: maior variedade de sons, além dos pássaros, criar outros tipos de som com maior presença e seleccionáveis pelo utilizador.

5.5 Conclusões

A realização dos vários testes, comprovou a real utilidade da solução desenvolvida, avaliando tanto a capacidade de utilização da bússola com interface visual como a utilização da bússola num contexto “eyes-free”.

Foi comprovado que a solução desenvolvida mantém todas as funcionalidades quando utilizada em todos os dispositivos móveis testados, bastando que os mesmos tenham ao seu dispor os sensores necessários para o cálculo da orientação azimutal do dispositivo.

Quando comparados os resultados obtidos pela aplicação e a bússola clássica, é possível afirmar que o desvio entre a orientação dada pela aplicação e a bússola clássica é bastante reduzido, sendo inferior a 2 graus, provando que a direcção dada pela aplicação é fiável e relevante durante a navegação pedonal. Depois de comprovada a fiabilidade da orientação dada pela aplicação, falta a avaliação das funcionalidades inovadoras e que realmente acrescentam algo à utilização da bússola clássica.

Foram então testados os diversos tipos de interface com o utilizador, começando pela interface visual, com um desvio médio de 5,95 graus quando utilizada em movimento, pouco superior ao desvio médio de 3,33 da bússola tradicional. Os restantes tipos de *feedback* obtiveram também desvios médios bastante aceitáveis, desvios estes 4,16, 6,11 e 5,85 para os testes em movimento: estéreo bilateral, binaural e vibratório respetivamente. Coincidindo com a preferência dos utilizadores, pela ordem, estéreo bilateral, vibratório e binaural, do melhor para o pior.

Em suma, apesar de terem sido feitas várias sugestões e possíveis melhorias na aplicação, a opinião dos utilizadores foi bastante positiva. A aplicação foi capaz de guiar os mesmos durante um percurso e com uma precisão bastante satisfatória com desvio médio reduzido, ou seja, não

houve uma grande dificuldade por parte dos utilizadores em manter uma determinada orientação durante o trajeto percorrido.

Capítulo 6

Conclusão e Trabalho Futuro

A realização deste trabalho permitiu compreender quais são os problemas inerentes à utilização da bússola magnética tradicional, conhecer o estado da arte, procurar soluções que contribuíram para o desenvolvimento da aplicação de bússola electrónica.

A solução desenvolvida mostrou-se capaz de orientar qualquer tipo de utilizador, tendo ou não deficiências visuais, cumprindo os objectivos definidos, podendo ainda ser útil a utilizadores com deficiências auditivas, mas tal não foi ainda sujeito a testes.

Os três tipos de *feedback* desenvolvidos, visual, áudio e vibratório, orietam os utilizadores para uma determinada direcção com precisão semelhante à utilização da bússola clássica.

O *feedback* visual em comparação com a bússola clássica mostrou-se de rápida habituação, comprovada durante a realização dos testes, pois os três sujeitos sem deficiências visuais conseguiram guiar-se de forma imediata e atingir resultados bastantes satisfatórios, comprovando a precisão das indicações dadas.

O *feedback* áudio foi de forma geral bem-recebido e mostrou-se bastante eficaz durante as tarefas de orientação propostas, à excepção do *feedback* binaural que foi criticado por em algumas situações não ser fácil perceber a direcção da fonte geradora de som, justificando-se então um estudo mais profundo sobre este tipo de áudio afim de se obter melhores resultados. Por outro lado, o áudio estéreo bilateral com *clicks* foi o tipo de indicação preferido pela maioria dos sujeitos, pela sua facilidade de utilização, resultando em bons resultados durante a realização dos testes.

O *feedback* vibratório com pulseiras *wearable* conseguiu também cativar os utilizadores, sendo de fácil percepção e utilização, alcançando o segundo melhor resultado durante os testes realizados, coincidindo com a preferência dos utilizadores.

Este trabalho mostra que a utilização das tecnologias existentes nos dispositivos móveis atuais, permitem criar uma forma inovadora de navegação pedonal, que inclui qualquer tipo de utilizador, dando-lhe informações de orientação por diversos meios de interação pessoa-computador, que podem ser aumentados com a utilização de dispositivos externos ao telemóvel.

6.1 Perspetivas de Desenvolvimento

A aplicação atualmente desenvolvida é um protótipo, uma prova de conceito, pelo que ainda se encontra numa fase prematura que permite ainda bastantes melhorias. Será necessário investir mais algum tempo no seu desenvolvimento para alcançar o patamar de uma aplicação possivelmente comercial.

Os algoritmos utilizados para a seleção de sequências auditivas e de vibração, sofrem o problema da sua execução ter algum atraso, quando a orientação do smartphone é alterada, a implementação atual da seleção da sequência auditiva demora algum tempo até atualizar a direção que está a ser transmitida ao utilizador. Sendo por isso necessário tornar a transição entre estas sequências mais direta, isto é, em vez da sequência ser toda reproduzida e apenas depois ser feita a transição para a sequência relativa à nova direção, nas situações em que exista uma alteração azimutal que provoque a transição de um quadrante para outro, isto é, quando a sequência de vibração se deve alterar porque a nova direção está fora do quadrante anterior, a transição entre sequências deve ser instantânea para que a aplicação informe com maior rapidez mudanças bruscas de direção.

A indicação da orientação dos utilizadores, por si só pode ser considerada de pouca importância e relevância, mas a combinação das indicações dadas para a orientação em relação ao Norte, podem ser de grande utilidade quando usadas em conjunto com uma aplicação de navegação, porque torna possível a orientação e navegação de trajetos definidos por mapas com uma utilização facilitada e sem a necessidade do uso da visão. Este tipo de aplicação permitiria a navegação com indicações de maior utilidade para a navegação pedonal.

A aplicação desenvolvida continua a sofrer de um grande problema que afeta também a bússola clássica, a interferência causada por alterações no campo magnético em redor da mesma, provocada pela presença de objetos metálicos ou magnéticos, equipamentos eletrónicos, edifícios e fontes de energia elétrica, levando a uma leitura errada da orientação do campo magnético. Para resolver este problema teria de ser estudada a utilização do giroscópio existente numa grande parte de dispositivos móveis, para ser possível manter uma informação fiável quando o dispositivo está na presença de interferências e a deteção desta situação. Outra possibilidade de resolução deste problema é a utilização de dispositivos externos ao telemóvel, com um maior número de sensores, com melhor qualidade e que sofram menos com as interferências externas. Por exemplo, a existência de um giroscópio, que pode não existir em todos os *smartphones*

Em relação aos testes, deveriam ser feitos mais testes para além dos que já foram feitos, com um número maior de utilizadores, tanto com deficiências como sem elas. Novos testes vinham dar acesso a novas sugestões e críticas à aplicação que seriam de grande interesse para a sua melhoria. Seria também de interesse o aprofundamento do estudo detlhado dos factores humanos envolvidos na indicação áudio ou vibrátil da orientação e da sua combinação. Adicionalmente a utilização de

bibliotecas binaurais de maior qualidade permitiria desenvolver esta versão da interface áudio que é potencialmente a mais intuitiva.

Será também importante fazer o registo e comunicação de invenção do desenho e implementação da aplicação produzida como publicação científica e tecnológica.

Finalmente depois de implementadas todas estas melhorias seria importante criar a aplicação para outras plataformas para além do android, tais como o sistema iOS que representa o segundo sistema operativo móvel mais utilizado em todo o mundo.

Referências e Bibliografia

- Amazon. *Aftershokz Bone Conduction*. 2016. https://www.amazon.co.uk/Aftershokz-AS400-Sportz-3-Headphones/dp/B00JO9XTSI/ref=sr_1_2?ie=UTF8&qid=1486769622&sr=8-2&keywords=bone+conduction (acedido em 26 de Junho de 2017).
- . *Bone Conduction headphones*. 2016. fterShokz Bone Conduction Bluetooth Audio trekz Titanium bone conduction Headphones for Sports Activities with Microphone (acedido em 26 de Junho de 2017).
- . *Smart Wristband*. 2016. <https://www.amazon.co.uk/Tonbux-Pedometer-Smart-Wristband-Bracelet/dp/B01MDQ72BM/> (acedido em Junho de 2017).
- A-origem-das-coisas. "*A origem das coisas*". 2017. <http://origemdascoisas.com/a-origem-da-bussola/> (acedido em 20 de Julho de 2017).
- Azenkot, Shiri, Richard E. Ladner, e Jacob O. Wobbrock. "Smartphone Haptic Feedback for Nonvisual Wayfinding." Scotland, UK, 2011.
- Belinky, Mariano, e Natalie Jeremijenko. "Sound Through Bone Conduction in Public Interfaces." 2001.
- Bianchini, Denis. *Navegação visual para piloto privado*. Editora Bianch, 2015.
- Cenk Acar, Andrei Shkel. *MEMS Vibratory Gyroscopes*. Springer, 2009.
- Chang-Gul, Kim, e Song Byung-Seop. "Design of a Wearable Walking-Guide System for the Blind." Singapore, 2007.
- cruzeiros, Associação nacional de. *Regras e sinais sonoros*. 10 de Fevereiro de 2017. <http://www.ancruzeiros.pt/ancdrp/regras-sinais-sonoros>.
- David McGookin, Stephen Brewster. *Haptic and Audio Interaction Design*. Springer, 2006.
- Gomez, Juan Diego, Thierry Pun, e Guido Bologna. "Spatial Awareness and Intelligibility for the Blind: Audio-Touch Interfaces." Texas, USA, 2012.
- Google. *Android NDK*. 2017. <https://developer.android.com/ndk/index.html> (acedido em 10 de Fevereiro de 2017).
- . *Android Studio*. 2017. <https://developer.android.com/studio/index.html> (acedido em 10 de Fevereiro de 2017).
- Jeffrey R. Blum, Daniel G. Greencorn, and Jeremy R. Cooperstock. "Smartphone sensor reliability for augmented." 2013.
- Kim, Nara, e Matt Moyers. "MeetUp: A Universally Designed Smartphone Application To Find Another." Seattle, USA, 2012.
- Magnusson, Charlotte, Kirsten Rassmus-Gröhn, e Delphine Szymcza. "Scanning Angles for Directional Pointing." Portugal, 2010.

- Magnusson, Charlotte, Miguel Molina, Kirsten Rasmus-Gröhn, e Delphine Szymczak. "Pointing for non-visual orientation and navigation." Iceland, 2010.
- Mariano Belinky, Natalie Jeremijenko. "Sound Through Bone Conduction in Public Interfaces." 2001.
- Marion A. Hersh, Michael A Johnson. *Assistive Technology for the Hearing-impaired, Deaf and Deafblind*. Springer, 2003.
- NetMarketShare.com. Maio de 2017. <https://www.netmarketshare.com/operating-system-market-share.aspx?qprid=8&qpcustomd=1> (acedido em 15 de Junho de 2017).
- Roy, Nirupam, He Wang, e Romit Roy Choudhury. "am a Smartphone and I can Tell my User's Walking Direction." New Hampshire, USA, 2014.
- Russell, Spencer, Gershon Dublon, e Joseph A. Paradiso. "Networked Sensory Prosthetics Through Auditory Augmented Reality." Switzerland, 2016.
- Sánchez, Jaime, e Matías Espinoza. "Audio Haptic Videogaming for Navigation Skills in Learners Who are Blind." Scotland, 2011.
- Sánchez, Jaime, Mauricio Sáenz, Alvaro Pascual-Leone, e Lotfi Merabet. "Navigation for the Blind through Audio-Based Environments." Georgia, USA, 2010.
- Talbot, Martin, e William Cowan. "On the Audio Representation of Distance for Blind Users." Boston, USA, 2009.

Anexos

Guião.....	pag. 75
Folha de testes.....	pag. 77

Guião

1. Testes em posição fixa

O objetivo deste tipo de testes é avaliar a capacidade de um utilizador se orientar utilizando a aplicação da bússola quando o estado do mesmo é estacionário, como que o utilizador parasse sempre que quisesse corrigir a sua orientação em relação a uma determinada orientação geográfica.

1.1. Com visão

Com bússola tradicional

1. Dirija-se para o ponto central
2. Empunhe a bússola
3. Tente orientar-se para a direção selecionada utilizando a bússola
4. Quando estiver satisfeito com a sua orientação informe.

Com aplicação móvel

1. Dirija-se para o ponto central
2. Coloque o arnês
3. Tente orientar-se para a direção selecionada utilizando o feedback visual dado pela aplicação.
4. Quando estiver satisfeito com a sua orientação informe.
5. Espere pela indicação do testante e repita os passos 3 e 4 para cada uma das orientações selecionadas.

1.2. Sem visão

1. Dirija-se para o ponto central
2. Coloque o arnês, auscultadores e a venda.
3. Tente orientar-se para a direção selecionada utilizando o feedback auditivo dado pela aplicação.
4. Quando achar que está orientado na direção correta informe.
5. Espere pela indicação do testante e repita os passos 3 e 4 para cada uma das orientações selecionadas.

2. Teste em andamento/movimento

O objetivo do teste realizado com os utilizadores em andamento é, avaliar a capacidade que os mesmos têm para manter a direção de andamento numa superfície irregular, utilizando a aplicação desenvolvida. A marcação do caminho percorrido pelos utilizadores permite saber a orientação média em cada um dos pontos marcados.

2.1. Com visão

1. Dirija-se para o ponto central
2. Coloque o arnês
3. Oriente-se para a direção selecionada utilizando a interface visual da aplicação e comece a caminhar.
4. Utilize a interface visual para efetuar correções na direção de andamento.

5. O teste está completo quando lhe for dada a indicação de paragem.
6. Volte ao ponto central, espere pela indicação do testante e repita os passos 3 e 4 para as novas direções.

2.2 Sem Visão

1. Dirija-se para o ponto central
2. Coloque o arnês, auscultadores e a venda.
3. Oriente-se para a direção selecionada utilizando a interface auditiva da aplicação e comece a caminhar.
4. Utilize as indicações dadas para efetuar correções na direção de andamento.
5. O teste está completo quando lhe for dada a indicação de paragem.
6. Retire a venda e volte ao ponto central, espere pela indicação do testante e repita os passos 3 e 4 para as novas direções.

Testes

Informações

Identificador: _____

Idade: _____

Observações: _____

Teste Fixo com Visão (bússola tradicional)

Teste 1:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste 2:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste Fixo com Visão (aplicação móvel)

Teste 1:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste 2:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste Fixo sem Visão com feedback auditivo estéreo bilateral

Teste 1:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste 2:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste Fixo sem Visão com feedback auditivo binaural

Teste 1:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste 2:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste Fixo sem Visão com feedback vibratório

Teste 1:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste 2:

Orientação pretendida: _____ Orientação Alcançada: _____

Teste em Movimento/Andamento com visão (bússola tradicional)

Teste 1:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distancia: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distancia: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distancia: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distancia: _____

Teste 2:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distância: _____

Teste em Movimento/Andamento com visão (aplicação móvel)

Teste 1:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distância: _____

Teste 2:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distância: _____

Teste em Movimento/Andamento sem visão com feedback auditivo estéreo bilateral

Teste 1:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distância: _____

Teste 2:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distância: _____

Teste em Movimento/Andamento sem visão com feedback auditivo binaural

Teste 1:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distância: _____

Teste 2:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distância: _____

Teste em Movimento/Andamento sem visão com feedback vibratório

Teste 1:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distância: _____

Teste 2:

Orientação pretendida:

Orientação ao longo do percurso de andamento

Orientação Ponto 1: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 2: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 3: _____ Distância: _____

Orientação Ponto 4: _____ Distância: _____

Opiniões e sugestões:
