



**António Helder  
Nóbrega Gomes**

**Solução baixo custo para avaliação do  
desempenho em futebol de formação**

**Low-cost solution for assessing performance  
in football teaching**





**António Helder  
Nóbrega Gomes**

**Solução baixo custo para avaliação do  
desempenho em futebol de formação**

**Low-cost solution for assessing performance in  
football teaching**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor José Maria Amaral Fernandes, Professor auxiliar do Departamento de Electrónica da Universidade de Aveiro, e do Doutor Pedro Fonseca, Professor auxiliar do Departamento de Electrónica da Universidade de Aveiro.



Aos meus avós, a quem não foi possível estarem presentes neste momento e que sempre foram e serão exemplos e fonte de motivação.



**o júri / the jury**

presidente / president

Prof. Doutor Tomás António Mendes Oliveira e Silva  
Professor Associado do Departamento de Electrónica,  
Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Prof. Doutor Miguel Tavares Coimbra  
Professor Auxiliar do Departamento de Ciências de Computadores da  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Prof. Doutor José Maria Amaral Fernandes  
Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica,  
Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro





**agradecimentos/  
acknowledgements**

Ao meu orientador, o Professor José Maria Fernandes, pela motivação e disponibilidade aquando da minha sugestão do tema, para além do apoio, boa disposição e paciência demonstrada ao longo deste trabalho.

Ao meu coorientador, o Professor Pedro Fonseca, pela disponibilidade e apoio demonstrados.

Aos meus pais e restante família, que ao longo desta longa jornada sempre me apoiaram, e que fizeram que nada me faltasse com o seu esforço e trabalho de modo a poder concluir esta etapa com o mínimo de percalços. De modo especial aos meus avós, tios e pais por toda a educação e exemplos que me deram ao longo da vida.

Ao meu irmão Artur, por toda a ajuda ao longo deste trabalho e desta etapa, toda a paciência e disponibilidade para qualquer questão e qualquer problema.

A todos os meus colegas e amigos que de qualquer maneira tiveram influência nesta etapa da minha vida, quer a nível pequeno ou grande, positivo ou negativo, que fizeram com que esta etapa que culmina com este trabalho fosse possível desta maneira. Principalmente ao Álvaro, Bruno e o Miguel que sempre estiveram presentes ao longo destes anos.

À escola de futebol Hernani Gonçalves pela possibilidade do início da minha atividade como treinador de futebol e conseqüente possibilidade de aliar estes dois interesses num só, culminando por agora neste trabalho. Ao João Lino e ao Pedro Jorge, atletas da mesma escola por me ajudarem nos exercícios e restantes atletas na colaboração dos mesmos.

À Maria pela sua constante motivação, palavras de encorajamento e por estar sempre disponível para qualquer problema.



**palavras-chave**

Futebol, sensores inerciais, postura, baixo custo, avaliação de desempenho, Pikku

Ao longo dos anos, a evolução da tecnologia a nível do desporto, neste caso particular no futebol, tem vindo a ser uma constante com implementações a nível do treino e jogo, com dispositivos de acompanhamento baseados em tecnologia GPS e ainda outros tipos de tecnologia que auxiliam a decisão dos árbitros durante os jogos como o recente vídeo arbitro.

Apesar da tecnologia estar cada vez mais acessível hoje em dia, apenas clubes com maior poderio financeiro têm acesso à mesma, fazendo com que a diferença entre estes clubes e os restantes aumente. Acaba por ser um investimento relativamente avultado, tendo em conta que normalmente este tipo de dispositivos apenas consegue acompanhar um atleta de cada vez. Esta dissertação tem como objetivo propor um dispositivo de baixo custo baseado em sensores inerciais, que seja acessível à maioria dos clubes para fazer acompanhamento individual dos atletas em exercícios típicos durante a sua preparação física com foco na postura.

O Pikku (nome do sistema) poderá auxiliar os treinadores para que os atletas tenham um melhor desempenho e melhor postura, que poderá ajudar no seu desenvolvimento e prevenção de lesões. Como demonstração de conceito sobre a validade do sistema, este foi avaliado em exercícios simples (abdominais) e em exercícios mais específicos do futebol (remate).

Da análise dos resultados obtidos, apesar de algumas lacunas identificadas, foi possível identificar algumas características que poderão ser úteis aos atletas sem comprometer a aplicabilidade (preço e utilização) no seu acompanhamento.



**Keywords**

Football, sensors, posture, low cost, performance assessment, Pikku

**Abstract**

Over the years, the evolution of technology in sports, and in this particular case football, has been developing in a steady pace, with constant implementations training wise, thanks to devices powered by GPS technology and in an official game type context with the latest addition of the video assistant referee.

Although the technology is nowadays more accessible, only the powerful clubs, the ones with the bigger financial power have access to it, increasing the gap between these bigger clubs and the clubs with fewer means. Making a purchase of such equipment ends up being a big investment because usually only one device can be used by a player at a time. This dissertation has the goal of closing this gap contributing with a low-cost device in order to be accessible to most of the clubs and to accompany players individually in typical exercises during their physical preparation with insight in their posture.

Pikku(name of the system) can contribute to managers help players to achieve better performances and better postures that might help in their development and the prevention of injuries.

In order to demonstrate the concept about the validity of the system some exercises were arranged, these range from simple exercises (abdominals) to football-specific exercises (shooting).

From the results obtained, regardless of some deficiencies identified, it was possible to identify characteristics that might be useful to the players without compromising the applicability (price and usage) in their monitoring.



# Conteúdo

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Motivação e Objetivos.....	1
1.3	Estrutura da Dissertação.....	2
2	Tecnologia no futebol.....	5
2.1	Postura e a sua importância no desporto.....	5
2.2	Caso de remate com influência de dores nas costas.....	6
2.3	Uso de Bluetooth no futebol.....	7
2.4	Sensores e prevenção de lesões.....	7
2.5	Tecnologia como elemento de apoio.....	8
2.5.1	Segurança.....	8
2.5.2	Avaliação e Decisão através de auxiliar tecnológico.....	9
2.5.3	“Reskilling” e “De-skilling”.....	9
2.5.4	Conclusão.....	10
2.6	Sensores inerciais e Smartphones.....	10
2.6.1	Um sensor ou múltiplos sensores?.....	11
2.6.2	Erros Inerentes ao Projeto.....	11
2.6.3	Fator Temperatura.....	11
2.7	Feedback.....	11
2.7.1	Tipos de bio feedback.....	12
2.7.2	Tipos de Implementação.....	12
2.8	Sensores e Análise de doenças.....	12
2.8.1	Sensores inerciais na observação de Parkinson.....	13
2.8.2	Sensores no processo de reabilitação.....	14
2.8.3	Condicionantes.....	15
2.8.4	Erros.....	16
3	O sistema-Pikku.....	17
3.1	Arquitetura/ Setup.....	17

3.2	Características do Setup.....	18
3.3	Smartphone.....	20
3.3.1	Android.....	20
3.4	Sensor e dados adquiridos .....	22
3.5	A aplicação móvel .....	22
3.6	Feedback e sincronização dos sensores .....	24
3.7	Integração dos sensores e sincronização.....	25
4	Resultados.....	27
4.1	Protocolo de Validação e Processo.....	27
4.2	Exercícios .....	28
4.2.1	Reconhecimento de eixos - Teste .....	28
4.2.2	Abdominais (Exercício 1).....	29
4.2.3	Remate com sensor no peito (Exercício 2) .....	30
4.2.4	Remate com sensor na perna dominante (Exercício 3).....	31
4.3	Reconhecimento de eixos – Teste.....	32
4.3.1	Resultado do Giroscópio.....	33
4.3.2	Resultado do Acelerómetro .....	33
4.4	Abdominais (Exercício 1).....	35
4.4.1	Resultado do Giroscópio.....	36
4.4.2	Resultado do Acelerómetro .....	36
4.5	Remate com sensor no peito (exercício 2).....	38
4.5.1	Resultado do Giroscópio.....	39
4.5.2	Resultado Acelerómetro .....	40
4.6	Exercício 2 segunda Repetição.....	41
4.6.1	Resultados do Giroscópio .....	42
4.6.2	Resultados do Acelerómetro.....	42
4.7	Remate com sensor na perna dominante (Exercício 3).....	44
4.7.1	Resultado do Giroscópio.....	45
4.7.2	Resultado Acelerómetro .....	45
4.8	Conclusão .....	46



5	Conclusão .....	49
5.1	Trabalho futuro.....	50
6	Referências .....	53



## Lista de figuras

Figura 1 – Nível de instabilidade na postura adaptado de (Schlachetzki et al., 2017) .....	14
Figura 2 – Loop de feedback .....	17
Figura 3 – Setup final com a separação dos 2 subsistemas .....	18
Figura 4 – Sensor Metawear com descrição dos seus pins .....	18
Figura 5 – LED Neopixel, juntamente com o sensor e o dispositivo de feedback .....	19
Figura 6 – Sensor integrado com o LED Neopixel .....	19
Figura 7 - adaptada de (Mobile Operating System Market Share Portugal   StatCounter Global Stats, no date) Sistemas operativos móveis entre 2009 e 2018 nível nacional .....	22
Figura 8 – Aplicação no menu de separadores (A) e separador “Test” (B) Dados do LED que foram necessários configurar para a aplicação (C) Separador “Data Record” (D) .....	23
Figura 9 – Processo de sincronização do led (RGB) .....	24
Figura 10 – Exemplo de utilização do Anvil no exercício de abdominais .....	26
Figura 11 – Colocação do sensor para observação de postura .....	27
Figura 12 - Fotograma de alguns dos movimentos efetuados no reconhecimento de eixos .....	29
Figura 13 – Fotograma de um ciclo de abdominais .....	29
Figura 14 – Exercício 1, posição de repouso e abdominais e eixos do sensor de acordo com Exercício 1 .....	30
Figura 15 – Fotograma de início de corrida e remate (uma das componentes do exercício 2) .....	30
Figura 16 – Colocação do pé de apoio no remate (esquerda) e eixos do sensor de acordo com a postura(direita) no exercício 2 .....	31
Figura 17 – Fotograma de corrida e remate no exercício 3 com o sensor na perna .....	31
Figura 18 - Resultados do giroscópio (cima) e acelerómetro (baixo) no teste em relação aos três eixos .....	32
Figura 19 - Resultados do giroscópio (cima) e acelerómetro (meio) e eixo (baixo) .....	35
Figura 20 – Gráfico scatter 3d do movimento dos abdominais com o acelerómetro .....	37
Figura 21 – Medições sobre os 3 eixos do giroscópio (cima) e acelerómetro (meio) e eixo (baixo) .....	38
Figura 22 - Gráfico scatter 3d do exercício 2 .....	40
Figura 23 - Resultados do giroscópio (cima) e acelerómetro (meio) e eixo (baixo) .....	41
Figura 24 - Representação scatter 3d do exercício 2 .....	42
Figura 25 – Resultados do giroscópio(cima) e acelerómetro(meio) e eixo (baixo) .....	44
Figura 26 – gráfico de scatter 3d do exercício 3 em relação aos dados do acelerómetro .....	46



## Lista de Tabelas

Tabela 1 – tabela adaptada e resumida de (Tojima and Torii, 2018) (os valores apresentados são todos calculados em média) - SDC* – sem dores de costas / CDC* – com dores de costas .....	7
Tabela 2 - Descrição e Objetivo dos Exercícios.....	28
Tabela 3 - Relação entre eixos do giroscópio e eixos do acelerómetro.....	34



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

O futebol é o desporto mais popular mundialmente, com aproximadamente 400 milhões de praticantes em 208 países, e gera cerca de 820 biliões de euros (Sadigursky *et al.*, 2017)(Dvorak *et al.*, 2004).

A tecnologia no futebol não é uma ideia nova, existindo já soluções para aumentar a performance e estudar as estatísticas do jogo e treino em futebol.

Numa altura em que as tecnologias estão cada vez mais envolvidas no nosso dia a dia e com o desporto a se tornar uma parte cada vez mais relevante e importante para a nossa saúde, iremos ver com certeza muita evolução neste setor nos próximos anos, principalmente com a discussão que já existe em implementar novas tecnologias na própria competição, como o recurso ao auxílio do vídeo árbitro no futebol.

Por exemplo para suporte aos treinos existem soluções que se baseiam em tecnologia GPS, como exemplo temos a Statsports que colabora com grandes potências do futebol como o Barcelona, Manchester United, Arsenal, Liverpool e outros clubes de topo mundial, além de estar também a ser utilizado para outras modalidades, como por exemplo basquete e rugby. Este tipo de soluções permite-nos obter variáveis quer a nível individual quer a coletivo que de outra forma não nos estariam disponíveis apenas usando o olho humano. Com este tipo de tecnologia, podemos otimizar rendimentos e definir limites a nível individual para características como distâncias percorridas, acelerações, áreas do terreno percorridas, frequência cardíaca e outras variáveis que nos permitem aumentar a performance e desenvolvimento do jogador.

Com a constante procura da perfeição e eficiência no futebol, a tecnologia surge como uma resposta para aumentar os índices de competitividade e possibilitar um treino mais eficiente no aumento da performance e desenvolvimento dos atletas sem prejudicar os atletas com lesões devido a esforço acumulativo na tentativa de melhoramento pessoal e na busca dos melhores resultados desportivos.

## 1.2 Motivação e Objetivos

Este tema surge da oportunidade de conciliar a Dissertação do Mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações com a formação obtida pelo curso de Treinador de Futebol, permitindo a aplicação de conhecimentos ganhos no curso num ambiente onde normalmente não é aplicado, aproveitando assim o domínio de ambos os contextos.

Apesar de não ser novo o conceito de aplicar tecnologia no desporto, mais concretamente no futebol, existe uma lacuna em soluções mais localizadas, visto que a maioria das soluções utilizadas são baseadas em GPS, e não oferecem alguns pormenores que o trabalho desenvolvido nesta dissertação pode oferecer.

O acompanhamento dos treinos dos atletas é essencial não só para avaliar a evolução do desempenho, mas também para melhorar a sua execução. Este acompanhamento é realizado na observação das suas atividades físicas, desde trabalho de âmbito mais geral (flexões, abdominais e outros) a atividades mais complexas e de âmbito mais específico (remates e passes) em que a postura e outras características terão impacto no desempenho do movimento e até na prevenção de lesões ao evitar movimentos incorretos.

No caso específico do futebol, muitas das soluções também não estão normalmente ao alcance de todos, i.e. estão fora do orçamento da maioria dos clubes. Daí o foco desta dissertação seja explorar soluções baixo custo de forma a poder chegar ao maior número de intervenientes possíveis que permitam acompanhar os treinos e o próprio dia a dia dos jogadores, para monitorizar aspetos que sejam relevantes para o desenvolvimento e performance dos mesmos.

Com esta dissertação exploramos a utilização de sensores inerciais (soluções de baixo custo) na monitorização do movimento dos atletas durante a execução de exercícios com foco na aceleração e diferença de ângulos de certas partes do corpo. De modo a podermos ter um melhor entendimento e dados para que o jogador possa melhorar e continuar o seu desenvolvimento em relação ao exercício e o que esperamos do mesmo.

Um dos objetivos deste trabalho é avaliar a validade de utilizar sensores simples (acelerómetro e giroscópio) na quantificação mais objetiva no acompanhamento dos futebolistas, seja ao nível do trabalho mais generalizado, seja durante tarefas específicas ao longo de treinos com foco no remate tendo em conta aspetos fundamentais:

1. Custo e acessibilidade;
2. Facilidade de utilização nomeadamente na utilização frequente e de modo a que não obstrua o movimento ou influencie o exercício que se pretende analisar;
3. Utilidade real no seguimento do desempenho dos atletas.

### **1.3 Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação é composta por 5 capítulos, consistindo o primeiro na introdução ao trabalho produzido, os objetivos e motivação por trás destes.

O capítulo 2 descreve o estado da tecnologia, as áreas em que está a ser usada, quais as características que vamos ter mais em foco e alguns casos de estudo que serão relevantes para o nosso trabalho. Far-se-á a descrição também de alguns problemas esperados e inerentes à solução utilizada, as suas vantagens e desvantagens em relação a outras soluções, além de uma análise de fatores importantes com a introdução da tecnologia no âmbito do futebol.



No capítulo 3 observaremos uma análise mais detalhada do Pikku (o nome dado ao sistema) usado ao longo do trabalho, a sua arquitetura, o porquê de ter sido escolhido esse sistema e uma análise dos seus concorrentes. Será descrito também o que foi feito de uma forma breve a nível do software e a nível de sincronização de todas as partes necessárias para o correto funcionamento e análise dos dados. Finalmente neste capítulo é abordado o tipo de tratamento a que os dados foram sujeitos de modo a serem mais facilmente observados e interpretados.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos. É composto pela descrição de todos os exercícios de forma pormenorizada e acompanhado pelos seus dados, que são inicialmente separados em duas análises, a do acelerómetro e a do giroscópio. Os exercícios vão aumentando o seu grau de dificuldade gradualmente, pois iniciamos com um teste, que funciona como reconhecimento dos eixos de cada um dos sensores e prossegue com um exercício de carácter mais geral (abdominais), prosseguindo então para os exercícios mais específicos do futebol, neste caso para o remate e tendo algumas variações a nível do posicionamento do sensor, para observar tipos diferentes de dados com exercícios similares.

O capítulo 5 encerra então este trabalho com uma conclusão, todos os aspetos que foram aprendidos neste trabalho e com uma análise dos resultados. E posteriormente há espaço dedicado também para trabalho futuro, algo que poderá ser acrescentado e não foi devido a falta de meios ou tempo.



## 2 Tecnologia no futebol

A tecnologia no futebol e no desporto em geral, não é nenhuma inovação, pois já existem inúmeras soluções existentes no mercado. A maioria destas soluções baseia-se na tecnologia GPS que permite ao utilizador obter informação sobre várias estatísticas em tempo real dos jogadores, como a distância percorrida, a velocidade, etc. Temos em conta então o GPS como tecnologia dominante neste âmbito do futebol. Temos que outros tipos de soluções poderão ser mais vantajosos então, em relação ao GPS numa resposta mais localizada do jogador, ou seja, vendo os ângulos de certas junções do corpo e a aceleração das mesmas.

Resumidamente temos que o GPS é uma boa solução para respostas mais generalizadas, como os elementos produzidos pelo jogador, sejam eles a distância, a sua velocidade, o número de acelerações e desacelerações, posição do jogador em campo e mais. Também tem um alcance maior relativamente a outro tipo de soluções. Por exemplo os sensores inerciais, em relação ao GPS, têm como desvantagem o menor alcance e menor número de estatísticas em relação ao jogador, mas compensam com o pormenor ou solução mais localizada, permitindo a resposta para correção dum gesto técnico ou até a prevenir lesões.

Uma das áreas de foco nesta dissertação será a postura porque é uma área de foco cada vez mais importante nos dias de hoje, devido ao sedentarismo e a sua relação com doenças e lesões. Poderá também ser um indicador de como a pessoa se está a sentir ou a atitude com que encara o exercício, através da linguagem corporal.

A nível de linguagem corporal, a postura apesar de não ser tão expressiva como a expressão facial contribui para o reforço ou contradição do movimento executado pelo jogador. Depois também observamos que a postura afeta a maneira como nos sentimos e através dela poderemos melhorar a nossa atitude e energia.

Os focos então neste capítulo serão a tecnologia, o seu estado e áreas de implementação, a incidência numa solução que permita ter um tipo de resposta mais localizada e devido a isso, nos permita ter acesso a características que poderão ser importantes a nível de prevenção de lesões e aprimoramento de gestos técnicos a nível individual. Será também dada importância ao fator postura que como foi falado é um indicador que possivelmente nos ajudará a retirar dados importantes.

### 2.1 Postura e a sua importância no desporto

Foi feito um estudo em relação à posição com apenas um pé assente no chão para ver resultados a nível de postura (Paillard and Noé, 2006) e daí retirado que para além da postura temos como fator importante a contribuição visual para poder realizar vários movimentos técnicos tal como passes, remates e outros de maneira mais eficiente (Edis, Vural and Vurgun, 2016). Porventura estão ambos relacionados, a postura e a comunicação visual, pois quanto melhor a postura do atleta melhor a informação visual que obtém. Por exemplo, o atleta tem de proteger a bola e ao mesmo tempo tem de se aperceber dos movimentos dos colegas e dos seus opositores, a velocidade e profundidade da visão depois varia conforme o nível da competição em que jogador o está inserido, pois nota-se que em patamares mais elevados os jogadores olham menos para a bola e mais para o meio que os rodeia, executando os movimentos mais rapidamente e com mais eficiência.

Outro ponto importante na postura vem no seu uso para prevenção de lesões e/ou reabilitação, que pode ser visto em mais detalhe nos próximos subcapítulos.

No futebol existem vários tipos de dificuldades que podem ser facilmente evitadas tendo uma melhor postura corporal, algumas dessas adversidades vêm na forma do confronto do opositor, mudanças repentinas de direção da bola e/ou jogador e até do estado da superfície em que está a decorrer o exercício ou jogo. Apesar do sucesso na execução da maioria dos movimentos e exercícios ser relativo à técnica individual de cada atleta, existem outros fatores que condicionam esses resultados (Edis, Vural and Vurgun, 2016). A postura é uma dessas características importantes no desenvolvimento e melhoramento de cada atleta a vários níveis, não só técnicos, mas como físicos e até mentais.

Apesar da pequena base de amostragem, é visto que o equilíbrio que é obtido através da boa postura corporal faz parte de um conjunto importante de variáveis que influenciam a execução de vários gestos técnicos e que por sua vez, permite aos atletas terem melhores taxas de sucesso ao executar movimentos técnicos com oposição e com mudanças constantes no contexto (Edis, Vural and Vurgun, 2016). Em outros estudos anteriores também é observado que o treino de equilíbrio para além da prevenção de lesões, irá afetar o desenvolvimento de maneira positiva vários tipos de técnicas específicas (Bekris *et al.*, 2012) (Kostopoulos *et al.*, 2012).

## **2.2 Caso de remate com influência de dores nas costas**

Aliado ao fato de ser um trabalho feito com uma análise de movimento em três dimensões (Tojima and Torii, 2018), podemos retirar várias conclusões da postura e do seu relacionamento com a técnica usada pelos jogadores e pelas diferenças que surgem através de dores na parte posterior das costas ou da sua ausência e como isso afeta várias características do movimento do atleta. Para além do relacionamento da postura com a técnica e diferença de movimentos, podemos usar este tipo de estudo como forma de perceber e detetar quando um jogador pode ter uma lesão ou poder preveni-la ainda num estado inicial de modo a não agravar a lesão e/ou piorar o estado físico do jogador.

Comparando com faixas etárias mais baixas (o grupo analisado neste estudo ronda os 14 anos), o grupo que participa neste estudo tem maior propensão a lesões, principalmente lesões relacionadas com a postura e as costas, como é visto com maior incidência (Elferink-Gemser *et al.*, 2015)(Hangai *et al.*, 2009) (Sato *et al.*, 2011)(Edis, Vural and Vurgun, 2016)(Iwamoto *et al.*, 2004) e também em relação à mesma faixa etária, mas sem a prática habitual de desporto (Le Gall *et al.*, 2006).

Por exemplo neste estudo (Tojima and Torii, 2018), como ponto de partida para estudar lesões através de dados obtidos pelo sensor, temos o trabalho com 2 grupos de atletas o primeiro com dores na parte inferior das costas e o segundo com ausência da mesma. Nos resultados é detetado um ligeiro desvio lateral no centro de massa e no momento do remate o pé que suporta o corpo está ligeiramente à frente da bola, isto em relação ao grupo que apresentava lesões. Enquanto que o grupo sem lesões apresenta uma menor rotação da lombar e mais torção lateral na mesma zona. Foi possível também observar que os jogadores sem problemas nas costas

conseguiam executar o remate de forma mais rápida e imprimir mais velocidade à bola. A maioria destes resultados é observável na seguinte tabela adaptada do exercício (Tabela 1).

	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso (kg)	Velocidade da bola(m/s)	Tempo de remate(ms)
SDC*	14	164.8	54.8	23.8	513.6
CDC*	13.9	164.1	52.9	22.7	575.2

Tabela 1 – tabela adaptada e resumida de (Tojima and Torii, 2018) (os valores apresentados são todos calculados em média) - SDC\* – sem dores de costas / CDC\* – com dores de costas

Fazendo isto de uma maneira inversa e obtendo um padrão de características dos jogadores sem lesões podemos determinar um conjunto “standard” e compará-lo depois com os jogadores em causa e observar se está tudo em conforme com a “normalidade” ou se existe alguma variação e conseqüente lesão ou problema com o estado físico e/ou emocional do jogador.

### 2.3 Uso de Bluetooth no futebol

Existem também soluções que exploram tecnologias wireless como o Bluetooth para permitir aos jogadores melhorar o seu remate ou passe, como o caso particular da *smartball* da Adidas (*adidas SMART BALL - White / adidas US*, no date) que ajuda os atletas a aumentar o seu nível de desempenho através de características como os pontos de impacto, a rotação da bola, a força aplicada no remate, a trajetória da bola e muitas outras mais. Estas características depois podem ser avaliadas pelo próprio jogador e pelo seu treinador e ajustar consoante a situação quer seja a nível da possibilidade de aumentar a velocidade da bola através da força aplicada ou do ponto de impacto, ou no exemplo de um livre a colocação da bola com uma trajetória que dificulte ao máximo a tarefa do guarda redes.

### 2.4 Sensores e prevenção de lesões

Estudos recentes (Ekstrand, Hägglund and Waldén, 2011; Sadigursky *et al.*, 2017) mostram que a maioria das lesões ocorrem entre os primeiros 15 minutos e os últimos 15 minutos de uma partida, realçando a importância do aquecimento pré jogo e da acumulação da fadiga na prevenção das lesões.

Apesar de algumas lesões surgirem através de contato, existem as lesões causadas por fadiga dos músculos ou por desequilíbrios musculares (Ekstrand, Hägglund and Waldén, 2011) daí ter sido criado um programa de prevenção de lesões pela FIFA com a colaboração de outras entidades (Sadigursky *et al.*, 2017).

Neste âmbito o trabalho aqui feito pode ser pensado até de uma maneira complementar ao programa criado pela FIFA para deteção de desequilíbrios musculares, por exemplo, no decorrer dos exercícios do programa ou até para correção de algum movimento que não esteja a ser executado corretamente.

O programa executado num dos artigos analisados reduziu o risco de lesões em jogadores de futebol em cerca de 30% (Sadigursky *et al.*, 2017) e com o complemento do trabalho aqui executado este número pode ser aumentado.

Garantir que os exercícios estão a ser realizados de uma maneira não prejudicial ao jogador e com a possibilidade de detetar algum desequilíbrio ao nível muscular (ou até a nível emocional devido à monitorização da postura do atleta) será um excelente complemento ao programa de prevenção de lesões elaborado pela FIFA.

## **2.5 Tecnologia como elemento de apoio**

A tecnologia é usada de maneiras diferentes e com diferentes objetivos no desporto, por exemplo de modo a proteger a integridade física do atleta temos exemplos de desenvolvimento de equipamento e até alterações de lei com a tecnologia como elemento de apoio.

A introdução da tecnologia no desporto tem diferentes resultados dependendo da maneira como é introduzida. Em alguns casos altera a complexidade do desporto ou de um movimento necessário para o mesmo (*Reskilling* e *Deskilling*), noutros pode alterar a sua acessibilidade através de alteração em custos no equipamento. Apesar de ser muitas vezes vantajosa a utilização da tecnologia, irão existir casos em que a mesma poderá ser controversa.

Para além de Oscar Pistorius (um dos casos mais influentes), temos outros atletas com deficiências em desportos diferentes que tiveram o mesmo problema com a tecnologia devido à diferença que afeta os atletas que não necessitam da mesma (Baker, 2016)(Burkett, 2010)(Dyer *et al.*, 2010)(Hutzler, 2008)(Le Gall *et al.*, 2006)(Pickering Francis, 2005). Uns obtiveram permissão para competirem outros não conseguiram a mesma resposta devido a vantagens obtidas pela tecnologia em relação aos outros atletas, ou por respostas em relação à segurança da prova.

A maioria destes casos foram resolvidos legalmente, mas ainda não existe uma plataforma ou conhecimento mais específico que controle o uso de próteses e outro tipo de equipamento similar em desportos que não necessitem dos mesmos para a maioria dos atletas (Dyer, 2015).

Nos próximos parágrafos falaremos em mais detalhe sobre alguns dos pontos manifestados anteriormente e outros novos pontos que serão aqui introduzidos.

### **2.5.1 Segurança**

A nível de segurança temos como principais exemplos o futebol americano e o boxe. No futebol americano foram introduzidos os capacetes baseados em plástico em 1939 para substituir os capacetes de cabedal, estes novos eram mais fortes e mais leves e apesar de reduzirem o número de lesões na cabeça aumentaram a gravidade das mesmas (Gelberg, 1995). O novo equipamento levou a que os atletas tivessem um sentimento de maior proteção e invulnerabilidade e com isso incentivou os mesmos a usarem mais força nas placagens aumentando assim a gravidade das lesões no futebol americano (Miah, 2005). No boxe temos o mesmo

exemplo com a introdução da proteção da cabeça, fazendo com que os atletas tenham menos predisposição a defender a cabeça e a socar com mais força (Dyer *et al.*, 2010)

Por exemplo, no hóquei em gelo o uso de capacetes para jogadores de campo era opcional até 1979, ano em que passou a ser obrigatório o uso dos mesmo para proteção dos atletas (Bachynski, 2012).

### **2.5.2 Avaliação e Decisão através de auxiliar tecnológico**

Outro tipo de tecnologia usada em vários desportos é o auxílio através de vídeo, usado em vários desportos como futebol, ténis, cricket, rugby, golf, basquetebol e muitos mais (Svantesson, 2014)(Collins and Evans, 2008)(Nafziger, 2004). Um dos problemas é interromper o jogo e descontinuar o ritmo e velocidade do jogo e muitas vezes a decisão da jogada pode continuar a ser controversa devido ao teor subjetivo da mesma e/ou precisão do sistema e da imagem do vídeo, acabando por ter de recorrer à decisão humana (Singh, 2012)(Svantesson, 2014)(Nafziger, 2004).

Algumas das críticas em relação a esta tecnologia no futebol é a sua desumanização, o custo e a dificuldade em ser usada em todos os escalões e níveis de jogo, ou seja, a sua acessibilidade (Singh, 2012)(Svantesson, 2014)(Nafziger, 2004). A nível da desumanização, temos que os erros humanos são uma face dos desportos e que o papel do árbitro ou juiz é minimizado nestes casos, pois é uma parte importante esta subjetividade, discrição e instintos, sendo estes aspetos importantes para diferenciar um bom árbitro de um medíocre ou mau (Nlandu, 2012). Tal como todos os tipos de tecnologias, todos têm uma margem de erro e estarão algumas vezes errados, que depois variam consoante a velocidade da bola, o tamanho da área de jogo e a frequência da gravação (Collins and Evans, 2008)(Collins and Evans, 2012).

Assim vemos que muitas vezes este tipo de tecnologia funciona como auxiliar e que não resolve todos os tipos de problemas e as vezes até pode complicar a decisão do juiz.

### **2.5.3 “Reskilling” e “De-skilling”**

Requalificação ou “*reskilling*”, pode ser considerado como o desenvolvimento de uma técnica ou alteração significativa de um método resultando numa nova metodologia, este resultado pode ser obtido através de uma base técnica ou através de desenvolvimento tecnológico (Sheridan, 2006).

Um exemplo é uma técnica de golfe baseada no estilo croquet quando usando o *putter*, que foi banida pois a técnica requerida era muito diferente da tradicionalmente usada e que para muitos diminuía a dificuldade do movimento esperado no golfe (Carr, 2008).

Outro exemplo foi visto na patinagem em velocidade, com a introdução de uns patins que permitiam mais tempo em contacto com a superfície e que por sua vez concedia ao atleta um maior impulso (van Hilvoorde, Vos and de Wert, 2007). Este equipamento levou à necessidade de criação de uma nova técnica pois apesar das vantagens facultadas era necessária uma nova metodologia para os utilizar. Devido à falta de acessibilidade a muitos atletas e às diferentes técnicas usadas por causa da sua introdução, o equipamento foi banido competitivamente nos EUA na época de 1997-98 (Dyer, 2015). Depois dessa época e noutros países a maioria

dos atletas teve acesso aos patins e tiveram diferentes resultados consoante a adaptação à técnica e ao equipamento (van Hilvoorde, Vos and de Wert, 2007).

No ténis houve *reskilling* tanto devido à raquete como à bola. No primeiro caso, a raquete com corda dupla devido à resposta diferente e não natural da bola quando embatendo no novo equipamento foi banida, pois promovia vários erros e problemas aos atletas (Sheridan, 2006). A bola apesar de ter várias especificações como tamanho e peso, teve de ter introduzida mais uma especificação como a compressão da bola em 1926, devido á diferença que os atletas sentiam entre bolas europeias e americanas (Sheridan, 2006)(SAVULESCU, 2006). Finalmente devido a superfícies diferentes usadas no ténis foi decidido usar bolas diferentes consoante a superfície em que iria ser jogada em 1999, devido à força do serviço começar a chegar perto dos limites de reação humana (Miah, no date).

“*De-skilling*” refere-se quando através de tecnologia ou equipamento, tornamos um desporto ou uma simples técnica mais simples e mais fácil de realizar (Sheridan, 2006). Daí a introdução de handicaps tecnológicos para assegurar *fairplay*. Em aerodelismo temos o exemplo dos avanços de desempenho nos aviões como facilitador da técnica de voo e de manobras mais complexas (Norris, 2011). Na pesca, os radares, avanços nas canas de pesca e outros aumentaram a popularidade da pesca, mas diminuíram a dificuldade em encontrar peixes e outras técnicas (Hummel and Foster, 1986).

O *de-skilling* apesar de facilitar a entrada de novos atletas pela maneira mais fácil e menos complexa de se realizar, faz com o que desporto fique mais fácil e não beneficia os jogadores com mais técnica e eventualmente poderá levar à falta de interesse no mesmo. Este ponto importante no desporto, é mais facilmente aceite quando é acessível a todos os atletas e até num nível não competitivo como por exemplo as mudanças nas bicicletas que só foram aceites no Tour de France 40 anos após a sua invenção depois de já estarem disponíveis comercialmente para todo o tipo de bicicletas, mesmo as de não competição (Trabal, 2008).

#### **2.5.4 Conclusão**

Devido a todos estes pontos, deverá existir um corpo governante que assume quais as regras que serão possíveis e até razoáveis de implementar e quais não passarão de ideias que possivelmente poderão ser abordadas novamente no futuro.

A necessidade de um consenso é importante também a um nível mundial, pois com incongruências deste nível podemos desvirtuar um desporto e transformá-lo num desporto praticamente diferente (Vamplew, 2007), isto para não falar na diferente preparação para jogos de carácter internacional que os atletas terão de fazer, como exemplo os desportos praticados nos jogos olímpicos.

## **2.6 Sensores inerciais e Smartphones**

A maioria dos smartphones hoje em dia inclui uma panóplia de sensores, que poderão ser utilizados para feedback em tempo real. Os smartphones têm como vantagem a facilidade de integração e sincronização dos dados, pois estão todos integrados na mesma interface e ainda têm acesso a aplicações que facilmente são descarregadas e utilizadas no mesmo que poderão ser relevantes ao trabalho que se quer realizar. Em relação



aos sensores inerciais, uma das suas vantagens ocorre pelo fato de ter um menor tamanho o que implica que em áreas como o futebol ou em soluções mais localizadas em que se pretende aferir características do corpo humano, será mais vantajoso pois não afetará tanto os movimentos do atleta e provocará menos desconforto.

Uma possível solução passa também por integrar ambas as soluções usando o melhor de cada uma, o tamanho e ergonomia do sensor inercial e as potenciais aplicações e capacidade de processamento dos smartphones.

### **2.6.1 Um sensor ou múltiplos sensores?**

Foi visto que em alguns casos de estudo, o simples facto de adicionar sensores não significa aumentar a precisão e outras características, até as decresce (Kos, Tomažič and Umek, 2016) devido ao facto de muitas vezes um único sensor ser o suficiente para detetar os dados necessários.

As vantagens de um sensor também têm a ver com a ergonomia visto ser mais simples de controlar apenas um sensor e ter apenas cuidado com esse local do que ter vários sensores e por sua vez vários membros ou partes do corpo a ter em atenção durante o exercício. A parte do custo também é importante, pois um sensor é mais barato que vários, sendo esta também uma das prioridades do trabalho, pois é mais acessível a um número maior de clubes e atletas quanto menor for o seu preço. Finalmente e não menos importante, temos o problema da calibração que aumenta de complexidade quantos mais sensores forem utilizados.

### **2.6.2 Erros Inerentes ao Projeto**

Existem 2 tipos de erros inerentes aos sensores e estes são sistemáticos ou aleatórios (El-Diasty and Pagiatakis, 2008)(Aggarwal *et al.*, 2008). O primeiro grupo, o dos erros sistemáticos é mais complexo pois depende do sensor e de todas as suas variantes, como por exemplo cada eixo, consegue ser reduzido através da calibração do mesmo (Jiang *et al.*, 2012). Enquanto que o segundo grupo, o dos erros aleatórios são dependentes do tipo de tecnologia usada no sensor e de diversos tipos de ruído, neste caso pode ser introduzido pelo ambiente ou pelo atleta, e apenas são detetáveis através da repetição do exercício, e conseqüentemente minimizados e/ou excluídos através de métodos existentes para a sua observação, como por exemplo técnicas de filtragem (El-Sheimy, Hou and Niu, 2008).

### **2.6.3 Fator Temperatura**

Um dos principais instigadores de erros no sensor é a temperatura, pois a maioria dos parâmetros são sensíveis à mudança de temperatura no sensor, portanto dado o ambiente controlado nos exercícios realizados neste projeto, este fator apesar de bastante influente e de ter de ser monitorizado, não será à partida um problema para a recolha de dados nos exercícios, apesar de existirem várias técnicas que compensam a dependência de temperatura do sensor (Aggarwal *et al.*, 2008)(Prihodko, Trusov and Shkel, 2013). Aqui notamos outra vantagem do sensor isolado em relação aos sensores integrados nos smartphones, pois devido ao fator temperatura o smartphone é mais sensível em relação a esta característica que o sensor isolado.

## **2.7 Feedback**

O feedback é útil para aprendizagem motora, desportos e reabilitação, entre outras áreas (Fernando and Basmajian, 1978)(Sandweiss, 1985). Para aprender um novo movimento ou destreinar um movimento antigo

são necessárias imensas repetições (Huang, Wolf and He, 2006) sob supervisão muitas vezes de um treinador ou fisioterapeuta, dependendo do caso. O feedback pode substituir o supervisor do exercício se a monitorização for em tempo real (Kos, Tomažič and Umek, 2016). Ao aprender um novo movimento ou gesto, convém saber quais os gestos incorretos e detetá-los no princípio de modo a que o movimento seja aprendido de uma maneira bem-sucedida e sem erros, para que o gesto possa ser feito sem provocar problemas e/ou até lesões no atleta. O feedback ajuda a interromper o movimento incorreto e a corrigi-lo, o que leva a uma aprendizagem mais rápida.

### **2.7.1 Tipos de bio feedback**

O feedback pode ser implementado de várias formas, sendo estas através de som (Sigrist *et al.*, 2013)(Sigrist *et al.*, 2015), visual ou tátil (Alahakone and Senanayake, 2009)(Lieberman and Breazeal, 2007). Por exemplo, num exercício como a realização de abdominais podemos definir um grau limite e ao ser ultrapassado o sensor aciona a vibração para dar a entender ao atleta que está a ultrapassar o ângulo que pretende e que assim em vez de estar a trabalhar os abdominais já está a trabalhar outro músculo e não faz tanta pressão nas costas, diminuindo a probabilidade de uma lesão nas mesmas.

### **2.7.2 Tipos de Implementação**

Existem várias maneiras de implementar sistemas com terminais de feedback, as mais comuns são com sistemas de vídeo (Schneider *et al.*, 2015)(Chambers *et al.*, 2015). Existem sistemas que gravam o exercício ou treino e depois é revisto e analisado pouco tempo depois da sua realização. Temos também sistemas mais complexos com processamento de vídeo que calculam os parâmetros necessários para a sua análise, mas depois também necessitam de um ambiente mais pequeno e mais controlado para a sua realização (Windolf, Götzen and Morlock, 2008)(Josefsson, 1999). Utilizando um sistema com base em sensores, obtemos uma solução mais acessível devido ao seu baixo custo, fácil de transportar e fácil de usar. Apesar destas vantagens surgem como desvantagens a possibilidade de não se obter resultados tão precisos como com os sistemas anteriores (Kos, Tomažič and Umek, 2016) e o problema de ter um alcance relativamente curto.

Existem já várias aplicações de uso de sensores com sistemas de feedback em diversas áreas como saúde, reabilitação e desporto (Kos, Tomažič and Umek, 2016). Como exemplo, em saúde temos smartphones que detetam e comunicam quedas de pacientes (Dai *et al.*, 2010). A nível do desporto (Crowell *et al.*, 2010)(Chambers *et al.*, 2015) temos exemplos que podem ser usados não só nos atletas, mas também no equipamento ou até na área em que é praticado o desporto.

## **2.8 Sensores e Análise de doenças**

Um dos casos em que os sensores já foram provaram ser úteis em prevenir e até reduzir condições impostas por doenças é o caso da doença de Parkinson, surge também como motivação para prevenção de lesões através dos mesmos estudos de utilização de sensores de uma forma não invasiva e de modo a não perturbar os movimentos, para medida de parâmetros de passada em doentes com Parkinson.

Para além da análise e prevenção, outra área importante em que o sensor pode ser usado é na reabilitação tanto de doenças como de lesões, promovendo muitas vezes um tipo de recuperação que não seria possível sem um técnico especializado e também por falta de mobilidade ou tempo do paciente na deslocação a um local com os serviços para tal.

### **2.8.1 Sensores inerciais na observação de Parkinson**

Na doença de Parkinson é necessário muitas vezes uma observação quantitativa das características da marcha para obter informação mais detalhada sobre o desenvolvimento da doença. Algumas das características necessárias para esta observação são espaço-temporais, como o comprimento da passada e o tempo, o tocar do calcanhar no chão e o ângulo com os dedos dos pés (Goetz *et al.*, 2007). É possível em estudos observar por exemplo a diferença de algumas destas características com diferentes estágios da doença e tirar várias conclusões através destes dados (Schlachetzki *et al.*, 2017).

Estes estudos concluem também que os sensores são uma boa opção para observação até a nível clínico e que são aplicáveis para cuidado de pacientes a nível individual e para casos de estudo clínicos com elevado número de pacientes (Schlachetzki *et al.*, 2017)(Tunca *et al.*, 2017)(Giggins, Sweeney and Caulfield, 2014)(Casamassima *et al.*, 2014).

A passada é um indicador importante na qualidade de vida (Ellis *et al.*, 2011), tanto que é um dos principais aspetos observados no diagnóstico de algumas doenças como Parkinson, e no caso do futebol pode ser encontrado um padrão ao fim de algumas amostragens e depois a partir desse padrão descortinar se o atleta está a ter alguma dificuldade e/ou a ter uma lesão de pouca gravidade que pode ser antecipada antes de se tornar um problema com maior gravidade, também pode ser um ponto de partida para melhorar a velocidade e/ou estabilidade do atleta ou até algum gesto técnico que o atleta possa ter dificuldade em reproduzir.

É observado que a instabilidade da postura resulta na variação da passada como se pode observar na figura 1, principalmente no aumento da variação do tempo de balanço da passada, outro dos indicadores que ressalva a importância da postura no desporto (Schlachetzki *et al.*, 2017).

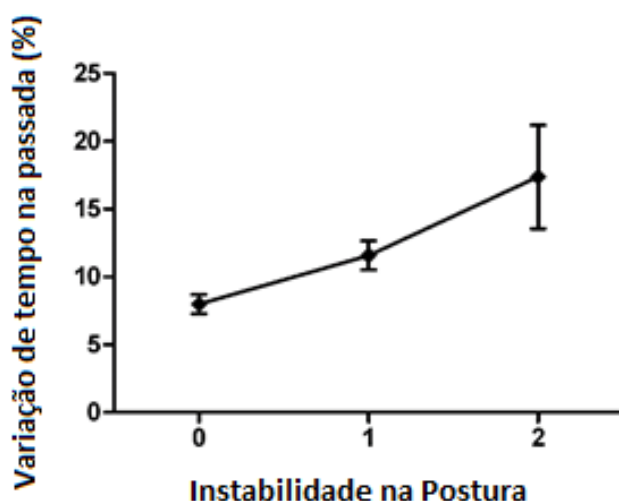


Figura 1 – Nível de instabilidade na postura adaptado de (Schlachetzki et al., 2017)

O nível de instabilidade de postura é classificado pela UPDRS (unified Parkinson disease rating scale) e é um sistema usado frequentemente para casos de estudo clínicos da doença de Parkinson.

### 2.8.2 Sensores no processo de reabilitação

Para assegurar que o processo de reabilitação de pacientes está a ser executado é necessário saber se o paciente está a realizar os exercícios necessários para a sua recuperação e se estão a ser bem executados, principalmente quando estes são realizados sem a assistência de um técnico qualificado. Este é um exemplo em que os sensores podem ser uma mais valia, pois podem classificar o rendimento do exercício e com um sistema de feedback (ver subcapítulo 2.7) ajudar o paciente a realizar o exercício de forma benéfica sem ser necessária assistência (Giggins, Sweeney and Caulfield, 2014).

Podemos considerar que os sensores têm uma precisão relativamente grande ao distinguir um exercício bem realizado de um mal-executado (Giggins, Sweeney and Caulfield, 2014), e que a precisão diminui ao tentar detetar e classificar o erro que ocorreu no determinado exercício. Também é de notar que ao diminuir o número de sensores não se diminui os níveis de precisão (Giggins, Sweeney and Caulfield, 2014).

Dois dos maiores problemas da reabilitação são a não execução dos exercícios fora da clínica ou lugar de reabilitação e a má execução dos mesmos daí o sensor com um sistema de feedback ser uma boa resposta para este tipo de problema, de modo a poder reduzir pelo menos a má execução dos exercícios sem a necessidade de assistência qualificada.

Esta mesma situação permite também ao especialista na consulta seguinte observar de que maneira o tratamento está a melhorar a condição do paciente através dos dados obtidos pelo sensor numa maneira mais quantitativa e precisa, sem ter de fazer avaliação baseada apenas nos comentários e feedback do paciente. Outro pormenor vem do facto de nem todos os pacientes terem os mesmos sintomas ou até as mesmas melhorias com os mesmos tratamentos, daí novamente a importância de um acompanhamento mais frequente

que é possível através dos sensores, de modo a que os especialistas tenham uma fonte de feedback que os permita reagir de forma mais conveniente consoante os resultados obtidos.

O paciente sem assistência pode ter uma postura incorreta durante o exercício, pode estar a executar o mesmo a uma velocidade muito elevada ou muito lenta consoante o tipo de recuperação, que por sua vez, vai ter uma repercussão negativa em relação à qualidade da reabilitação e quem sabe talvez agravar a lesão em vez de melhorá-la (Friedrich, Cermak and Maderbacher, 1996).

Temos como número em relação aos exercícios feitos em casa para reabilitação que cerca de 65% dos pacientes não os realiza ou que apenas os realiza parcialmente (Bassett, 2003).

Hoje em dia até alguns videojogos possuem sensores que para além de necessários nos jogos podem ser usados para fins de reabilitação, ou outras áreas em que sejam necessários sensores com pouca precisão. Os dois maiores exemplos são a Wii da Nintendo e o Kinect da Microsoft (Pompeu *et al.*, 2012)(Tremblay *et al.*, 2012)(Nilsagard, Forsberg and von Koch, 2013)(Fung *et al.*, 2012)(Batani, 2012)(Toulotte, Toursel and Olivier, 2012)(Lange *et al.*, 2011). O primeiro possui nos controladores um acelerómetro que controla o movimento e uma balança através do WiiFit que permite medir movimento. O segundo consiste numa camera RGB com um sensor de profundidade que permite a captura de movimentos. Apesar de serem opções relativamente de baixo custo carecem de alguns problemas, no caso da Wii os movimentos capturados são grosseiros e como tal têm pouca precisão para casos que normalmente necessitem de mais pormenor. No caso do Kinect obtemos um pior resultado quanto mais longe da câmara e com objetos em frente ou partes do corpo excluídas da imagem.

Algumas razões que dão mais força à utilização do sensor têm a ver com o decréscimo do seu preço e também dos seus tamanhos que resultam numa maior utilização dos mesmos em diferentes áreas, principalmente na área do desporto e na da saúde, adicionalmente na área da reabilitação que é uma área que acaba por juntar as duas anteriores.

### **2.8.3 Condicionantes**

Em relação a erros temos como uma das maiores condicionantes, o espaço, pois a maioria dos testes realizados na literatura são em ambientes controlados e condicionados, para além de uma recolha de dados perfeitamente executada, enquanto que a maior parte dos exercícios pretendidos neste trabalho requerem um ambiente mais livre e com poucos tipos de condicionantes, isto também ao nível da recolha dos dados (Tunca *et al.*, 2017).

Outro problema vem dos sensores, o acelerómetro e o giroscópio são suscetíveis a ruído e a pequenos tipos de erros, ainda para mais quando o ambiente não é controlado e faz com que existam fugas significativas em ambos os resultados, não esperando assim obter resultados com elevado grau de precisão.

#### **2.8.4 Erros**

Existem também os erros humanos que podem ocorrer devido ao tempo limite para recolher os dados, em que possíveis repetições poderiam ser o suficiente para remediar estes erros e não são possíveis. De notar que os erros, podem tanto ser resultantes da pessoa que tenta recolher os dados como do participante, por exemplo ao movimentar de forma involuntária o sensor, ou apenas por também não terem tempo suficiente para executar os movimentos de uma forma mais favorável à recolha dos mesmos, ou até a repetição dos mesmos movimentos como foi falado anteriormente. Existem também outros erros que são passíveis de serem facilmente corrigidos, havendo tempo para tal, como, quando é que a pessoa pode começar a realizar os testes, de modo a que recolha seja favorável, a calibração do sensor no início de cada teste, problemas de hardware, a pessoa a executar movimentos que não estavam previstos, etc. Não obstante aos erros, os resultados são sempre úteis e passíveis de ser utilizados, principalmente num ambiente não controlado.

### 3 O sistema-Pikku

O Pikku tem como objetivo quantificar e qualificar o movimento do atleta em exercícios específicos, com a ajuda dos sensores inerciais (acelerómetro e giroscópio) de forma a ajudar o atleta a realizá-lo de forma a que seja mais eficiente evitando lesões ou movimentos que o prejudiquem quer a longo como a curto prazo através de feedback e da possibilidade de revisão e análise dos dados capturados durante o exercício.

Neste capítulo será descrito o material utilizado, a arquitetura do Pikku e uma breve explicação da sua implementação (e.g. como foi programado). No final é descrito o processo de utilização do sistema a um conjunto pré-selecionado de exercícios típicos.

Neste projeto o nosso foco principal foi a postura dos atletas – para além de ser quantificável e visualmente validado também é importante na prevenção de lesões.

#### 3.1 Arquitetura/ Setup

A conceção geral do sistema está centrada no *loop* de feedback que permite, após monitorização do exercício através de sensores, processar os dados e fornecer algum feedback ao atleta ou seu treinador.

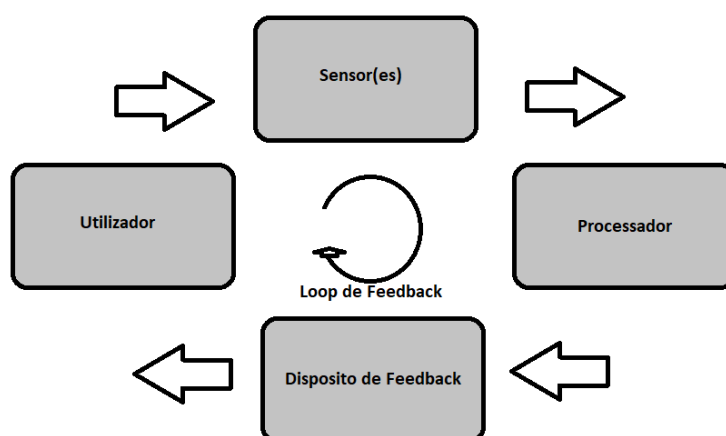


Figura 2 – *Loop* de feedback

A figura mostra o circuito de feedback, este circuito começa com o utilizador e que tipo resposta dará, que por sua vez necessita dos dados que serão capturados pelos sensores e que em seguida serão processados e guardados no dispositivo para o efeito (processador), fazendo com que o dispositivo de feedback se ative ou não consoante os dados e o exercício. Esta ativação fará que com o utilizador corrija os seus movimentos, ou que continue a fazer o exercício normalmente no caso da sua não ativação. Depois desta interação o circuito continua sempre neste *loop* até ao fim da realização do exercício.

O Pikku consiste no sensor integrado com um LED para propósitos de sincronização e um sistema de feedback, depois temos como processador e armazenador dos dados um smartphone ou tablet com sistema operativo Android e câmara integrada para efeitos de controlo e sincronização dos dados recebidos pelo sensor.

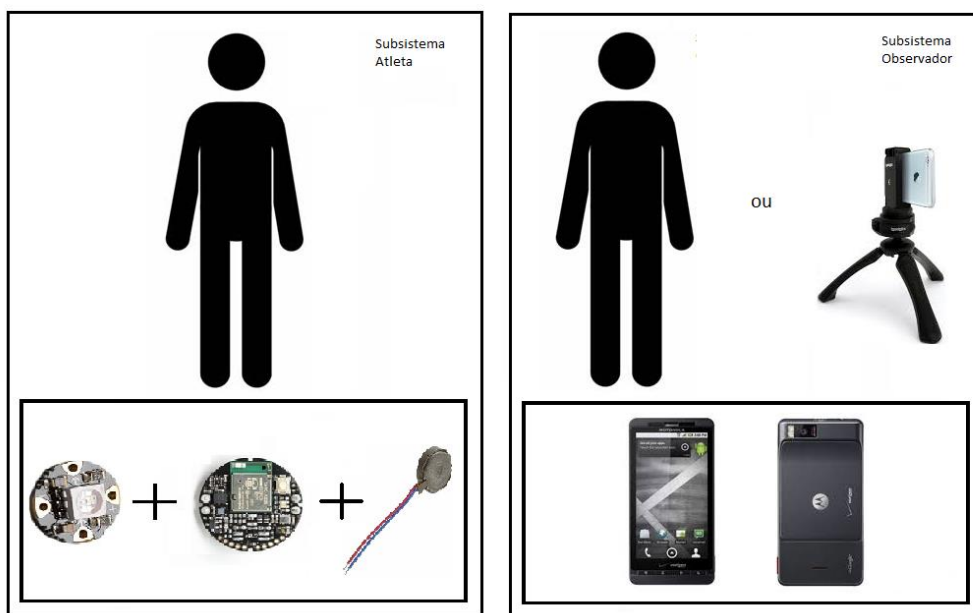


Figura 3 – Setup final com a separação dos 2 subsistemas

Podemos observar que o sistema está distribuído entre o observador e o atleta. O Observador tem um smartphone (atualmente Android) que é usado para capturar o exercício e movimentos feitos pelo atleta. O atleta está equipado com um sensor da MbitLab integrado do dispositivo de feedback e do LED Neopixel.

### 3.2 Características do Setup

Apesar da existência de muitas soluções no mercado para sensores e feedback as nossas escolhas foram orientadas, por se tratar de uma prova de conceito, pela disponibilidade e custo dos componentes idealmente minimizando a integração ao nível de eletrónica.

Como sensor escolhemos o sensor MetaWear devido ao seu custo relativamente baixo e ao seu fácil acesso, tanto a nível físico como a nível de software tendo em conta que existem já aplicações para IOS e Android e o seu código é open source.

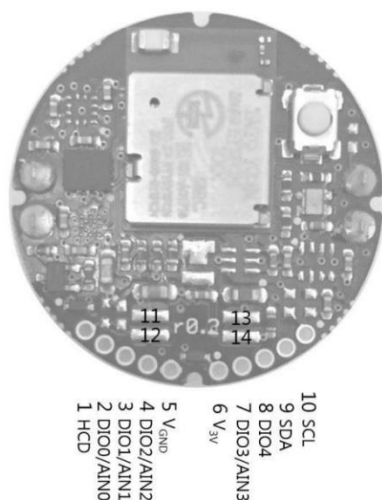


Figura 4 – Sensor Metawear com descrição dos seus pins



Na imagem prévia é apresentado o sensor Metawear e a descrição dos seus pins. Vai ser dada ênfase aos pins que vamos eventualmente utilizar ao longo do projeto, logo temos os pins do 2 ao 4 e o pin 7 e 8 como pins de dados, o pin 6 como alimentação e o pin 5 como massa.

Desde a necessidade da led para efeitos de sincronização e mais tarde como sistema de feedback visual para o observador, o sistema de feedback primário é tátil e tem o intuito de alertar e promover o bem-estar e o desenvolvimento do atleta.

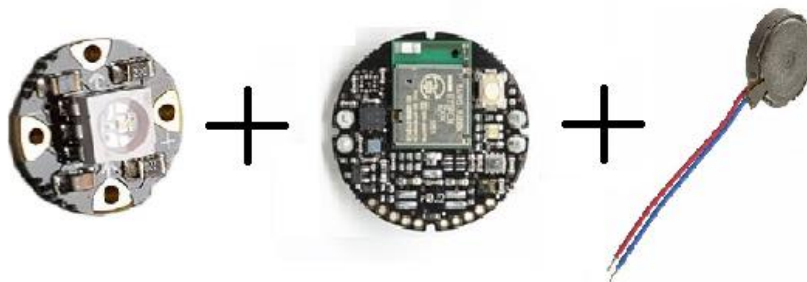


Figura 5 – LED Neopixel, juntamente com o sensor e o dispositivo de feedback

O LED para além de permitir um feedback visual para o utilizador também foi usado para efeitos de sincronização entre os dados recolhidos no Metawear e as aquisições de vídeo recolhidas em simultâneo.

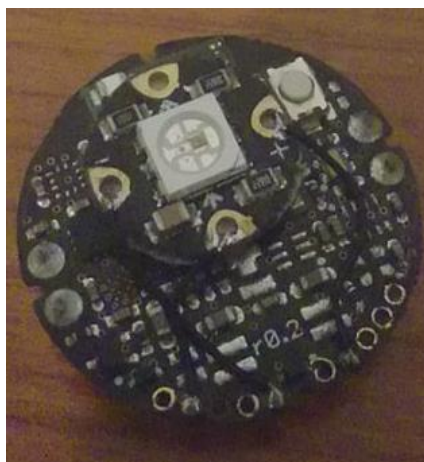


Figura 6 – Sensor integrado com o LED Neopixel

Na figura prévia observa-se o sensor com o LED já embutido para efeitos de sincronização, e as ligações soldadas para alimentação do LED. Em relação a ligações, o pin 6 é o de alimentação, mas devido a problemas na soldagem ficou o pin 7 como alimentação do LED, ou seja, a alimentação ficou ao cargo duma saída digital, o pin 5 como massa e o pin 2 para efeitos de dados.

Em relação a ligações do sistema de feedback temos o pin 8 como pin de ativação do feedback, que ativa consoante a condição imposta pelo exercício que é programada através de software, ou seja, fornece energia aquando da sua ativação e permanece desligado durante o restante exercício, e o pin 5 como massa, como foi observado na utilização do LED.

Em relação ao dispositivo de feedback apesar de ter sido testado e pensado como parte da solução final, este não está incluído no sistema usado na primeira etapa de exercícios, pois foi entendido que não havia necessidade de utilização de um sistema de feedback nesta fase, visto que o primeiro objetivo é assegurar a precisão e eficiência dos resultados e só depois tentar melhorar os gestos técnicos e movimentos numa fase posterior, o mesmo se pode dizer do sistema de feedback visual.

Adicionalmente em relação ao feedback tátil, temos que, devido ao sensor integrar estes parâmetros todos, ou seja o led e o dispositivo de feedback, acabamos por ter o dilema em que o sensor tem que estar visível devido à sincronização da led e posterior utilização do LED como feedback visual, mas ao mesmo tempo isto complica a utilização do feedback tátil, pois este tem de estar em contato de preferência com a pele do atleta, de modo a que o mesmo se possa inteirar da sua ativação. Este problema pode ser resolvido com o prolongamento dos fios do dispositivo de feedback, mas acaba por se tornar uma solução mais incómoda para o jogador devido ao fato de ter fios envolvidos e poder prejudicar os movimentos.

### **3.3 Smartphone**

Os smartphones têm tido um crescimento enorme devido ao seu fácil acesso e redução de custos ao longo do tempo, por isso surgem como uma excelente solução. A maioria dos smartphones hoje em dia vêm com sensores incluídos facilitando a sincronização do vídeo com os dados recolhidos pelos sensores, porém a sua maior desvantagem neste caso é o seu tamanho e fragilidade.

Portanto adotar um smartphone como parte do sistema é uma solução natural visto agregar várias componentes necessárias ao sistema evitando desenvolvimento de soluções adaptadas e o seu processo de validação e.g. sensores integrados, vídeo, interfaces com utilizador. Apesar de não ser a escolha ideal para a recolha de dados devido ao seu tamanho, é uma opção muito vantajosa para o subsistema observador.

A escolha recai sobre smartphone com sistema operativo Android, pois para além de disponível também tem os recursos necessários para suportar o desenvolvimento de forma gratuita. O acesso ao programa do sensor (open source) da MetaWear evitou começar um software do “zero” e foi o ponto de partida. Como trabalho futuro temos o objetivo de fazer o programa para IOS de modo a podermos alcançar um maior número de pessoas com este trabalho, pois um dos propósitos deste trabalho ao ser de baixo custo, passa por ser acessível ao maior número de pessoas possível. Naturalmente a existência de soluções de integração baseadas em Bluetooth com o sensor MetaWear também foi relevante.

#### **3.3.1 Android**

A nível da penetração no mercado temos que em 2013 em Portugal apenas 32.1% da população era dono de um smartphone enquanto que em 2017 esse número atingiu os 65% (*Top Countries by Smartphone Penetration*

*& Users / Newzoo, no date*), ou seja, dos cerca de 10 265 000 de habitantes, por volta de 6 672 000 são detentores de smartphone e este crescimento deve continuar, isto faz que com o smartphone seja uma boa opção como intermediário no trabalho entre o utilizador e o sensor.

Desde o início do seu lançamento em 2008, o sistema operativo Android cresceu de uma maneira impressionante até os dias de hoje, onde é a maior força a nível de sistemas operativos moveis com cerca de 74% de cota do mercado. De notar que em 2010, o sistema operativo em questão andava com uma cota de mercado de cerca de 6%, enquanto os seus maiores competidores estavam na ordem dos 33%, o SymbianOS e o IOS, o primeiro deixou de ser produzido em 2013 e os servidores foram desconectados depois em 2015 (*Mobile Operating System Market Share Worldwide / StatCounter Global Stats, no date*), enquanto que o IOS se manteve como o segundo sistema operativo mais usado, apenas ultrapassado pelo Android. Apesar da relativa constante cota de mercado da IOS, o Android depois de criado tem crescido sempre de uma maneira sustentável e chegou a ultrapassar em agosto de 2011 o IOS, altura em que ambas lutavam por um segundo lugar na sombra do SymbianOS que na altura era o sistema operativo móvel mais popular. Depois desta luta que durou cerca de 1 ano, a Android destacou-se como sistema operativo móvel mais usado e nunca mais parou desde então até atingir os cerca de 74% em dezembro de 2017, enquanto que o IOS estagnou e na mesma altura atingia cerca de 20% em cota de mercado, à medida que como foi falado anteriormente a SymbianOS cessou de funcionar. De seguida temos um gráfico que nos permite visualizar o que foi descrito neste subcapítulo no panorama nacional (figura 7), pois contém a cota de mercado de todos os sistemas operativos móveis significativos entre o final de 2009 e o início de 2018. A maior diferença no panorama nacional em relação ao global, surge na forma como o SymbianOS controla o primeiro lugar de maneira mais destacada até ao início de 2011, momento em que IOS e Android começam a lutar pelo lugar de sistema operativo móvel mais usado do mercado. No início de 2012 o sistema Android começa a distanciar-se do IOS e enquanto o Android continua a crescer até finais de 2017 até atingir números à volta de 75%, o IOS decresce de uma maneira menos acentuada e desce dos seus cerca de 32% em 2012 para uma cota de mercado à volta dos 20% em finais de 2017.

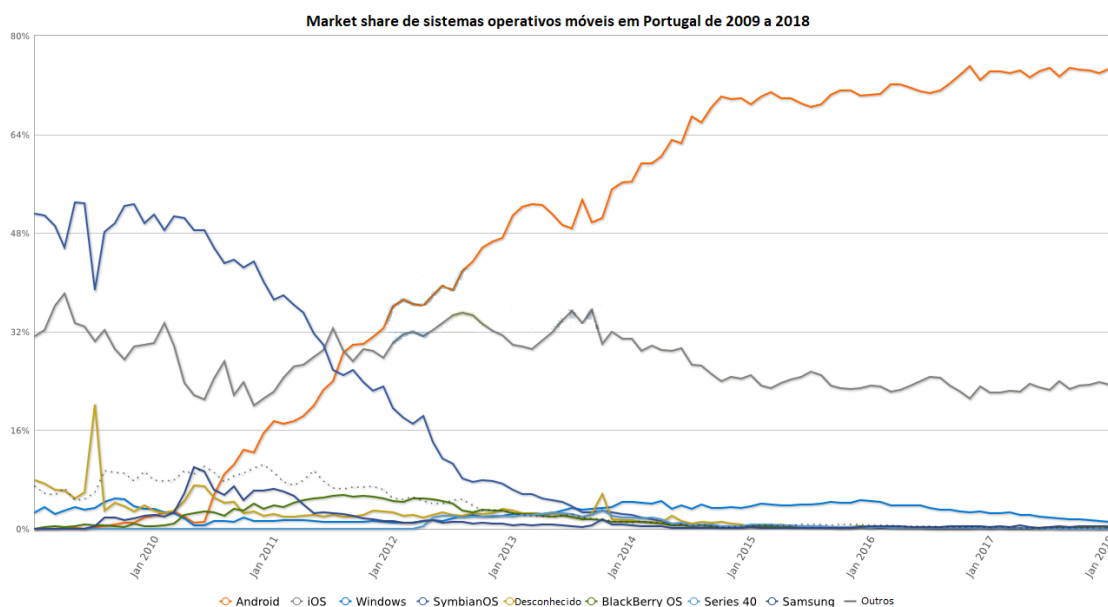


Figura 7 - adaptada de (Mobile Operating System Market Share Portugal | StatCounter Global Stats, no date) Sistemas operativos móveis entre 2009 e 2018 nível nacional

### 3.4 Sensor e dados adquiridos

O sensor usado é o sensor MetaWear que contém um acelerómetro e um giroscópio, mede cerca de 24 mm de diâmetro e pesa cerca de 6 gramas, e tem um alcance de cerca de 10 metros.

Os dados adquiridos a nível do giroscópio são obtidos em graus por segundo, de maneira a serem mais facilmente observados graficamente, dividimos estes dados pela frequência usada ( $f = 100\text{Hz}$ ) de modo a termos uma variação de graus em cada momento (intervalos de aproximadamente 10 ms) e finalmente fazemos um somatório destas variações de modo a termos uma posição relativa a cada eixo, tornando fácil de comentar e fazer observações sobre os mesmos, numa maneira gráfica.

A nível do acelerómetro os dados vêm em “g”, devido ao fator da aceleração da gravidade na Terra. De modo a termos valores em unidades SI., multiplicamos os valores obtidos pelo acelerómetro por 9,8 e obtemos os valores que serão usados e observados no tratamento de resultados no próximo capítulo em  $m/s^2$ .

O *timestamp* é um dado importante que será falado posteriormente e será útil no processamento de dados e também para calcular o atraso entre o vídeo e os dados.

### 3.5 A aplicação móvel

Na aplicação simplificamos muito do código original, foi adequado e trabalhado para o que seria pretendido para o nosso trabalho terminando assim com apenas 2 separadores, o “Data Record” que serve para captar os exercícios e procede também à captura de vídeo e o “Test” que como vai ser visto nas próximas figuras serve para configuração manual e para ver se está tudo funcional, ou seja também funciona como uma espécie de resolução de problemas, pois podem ser vistos os elementos do sistema um a um, basicamente sem a interferência dos outros.

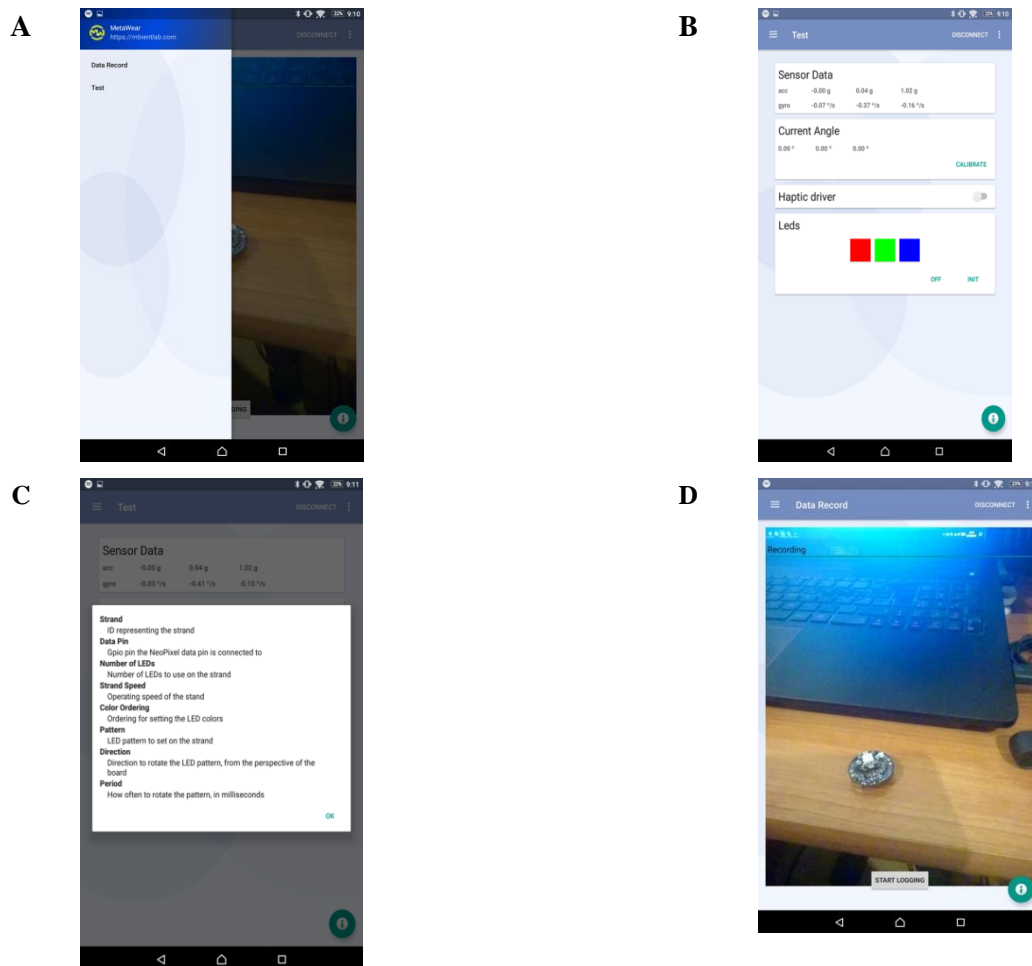


Figura 8 – Aplicação no menu de separadores (A) e separador “Test” (B) Dados do LED que foram necessários configurar para a aplicação (C) Separador “Data Record” (D)

Temos o separador “Test” na figura 8(B) onde é possível observar os dados dos sensores em tempo real, um botão para calibração (“calibrate”) que de uma forma geral põe o “current angle” em todos os eixos a zero graus, fazendo uma espécie de reset manual, um switch para ligar/desligar o dispositivo de feedback e 3 variações de cores para o Led que só podem ser escolhidas depois de carregado o botão “Init” do Led.

De maneira mais pormenorizada o que faz o botão “calibrate” é, durante 2 segundos com o sensor em repouso, calcular o máximo e o mínimo que ocorre das variações que são observadas e só permite alteração do ângulo corrente se existirem variações maiores às observadas durante os 2 segundos de calibração, permitindo assim ao sensor eliminar algum do *drift* da ação do giroscópio.

Temos também um botão de informação que nos permite visualizar dados que necessitam de ser configurados a nível da aplicação, em relação ao led como poderemos ver na figura 8(C). Alguns dados que são importantes para a configuração e não estão presentes nessa figura, são as taxas de amostragem de ambos os sensores (giroscópio e acelerómetro) e o tempo em que é iniciada a captura de dados.

Observamos na figura 8(D), outro separador que faz a captação do vídeo e do exercício e depois é armazenado para posterior análise e tratamento de dados, em seguida podemos observar uma ligeira indicação cronológica da maneira que é usada e como funciona a captura dos dados, depois de pressionado o botão de “start logging”.

1. Início da captura de vídeo e obtenção do *timestamp* como nome do vídeo, este será útil posteriormente para processamento dos dados;
2. Depois de iniciado o vídeo, o LED inicia o processo de sincronização, piscando cada cor durante 1 segundo num total de 3 segundos por esta ordem: vermelho, verde, azul;
3. Em seguida e depois do processo de sincronização começa a captura de dados e subsequente gravação dos mesmos no ficheiro;
4. Finalmente ao clicar no stop, que estará no mesmo lugar em que se encontra o botão de “start logging” na figura, a aplicação termina a captura de dados, em seguida acende o led em ordem inversa ao passo 2, e cessa a captura de vídeo.

### 3.6 Feedback e sincronização dos sensores

O feedback fornecido pelo sistema consiste numa mistura de visual com tátil, visto que a visual é de mais fácil perceção para quem está a supervisionar o exercício e a tátil para quem está a realizar o mesmo.

O feedback a nível visual para o observador, será realizado pelo LED que no início e no final do exercício funciona para sincronização do vídeo com os dados, e será feito com a visualização de uma cor vermelha no led, quando o movimento estiver a ultrapassar algum dos limites impostos no exercício, mantendo-se desligado se não houver nenhum movimento prejudicial ao atleta.

Como podemos ver na figura seguinte o processo de sincronização ocorre com o início do vídeo e conseqüente feedback visual do LED em que a mesma passa pelo ciclo vermelho, verde e azul (RGB) por esta ordem, mantendo-se cerca de 1 segundo em cada cor para então permitir a captura de dados e simultânea sincronização com o vídeo.



Figura 9 – Processo de sincronização do led (RGB)

Em relação ao nível tátil, o atleta tem como resposta de feedback uma pequena vibração enquanto estiver a executar movimentos que o prejudicam ou estejam incorretos em relação aos standards do exercício por si realizado.

Apesar do principal foco ser a postura, a liberdade que o sensor nos dá, permite a qualquer momento alterar o foco de observação, por exemplo para os pés e verificar a passada dos atletas e a sua consistência em relação com a forma física e processos de reabilitação através da velocidade e comprimento da mesma. Iremos explorar esta possibilidade e tentar verificar que tipo de contribuição terá o sensor quando usado no mesmo tipo de exercício, mas tendo em conta características diferentes.

### **3.7 Integração dos sensores e sincronização**

Um dos problemas que foi encontrado foi que o *stream* de dados do giroscópio e acelerómetro apesar de funcionarem à mesma frequência fazem parte de *streams* diferentes, ou seja, não há confirmação que estejam sincronizados. De forma a colmatar este problema, cada vez que a aplicação recebe cada um dos valores, guarda localmente os mesmos, depois é criado um ficheiro onde a cada 10ms ( $f=100\text{Hz}$ ) serão guardados esses valores no ficheiro de modo a termos os dados em intervalos regulares e o mesmo número de dados em cada *stream*, minimizando o problema da sincronização entre os dois sensores (giroscópio e acelerómetro), reduzindo a possibilidade de problemas que daí possam surgir.

Foi também usado um programa(Anvil) que nos permite correr o vídeo e observar a alteração dos dados de cada um dos eixos e que nos permite obter uma melhor compreensão dos gráficos através da comparação dos dados com os movimentos executados no vídeo, como podemos observar na figura 10.

É executado um script para converter dados para posterior observação no Anvil com possibilidade de alterar o offset(atraso) manualmente, se houver essa necessidade.

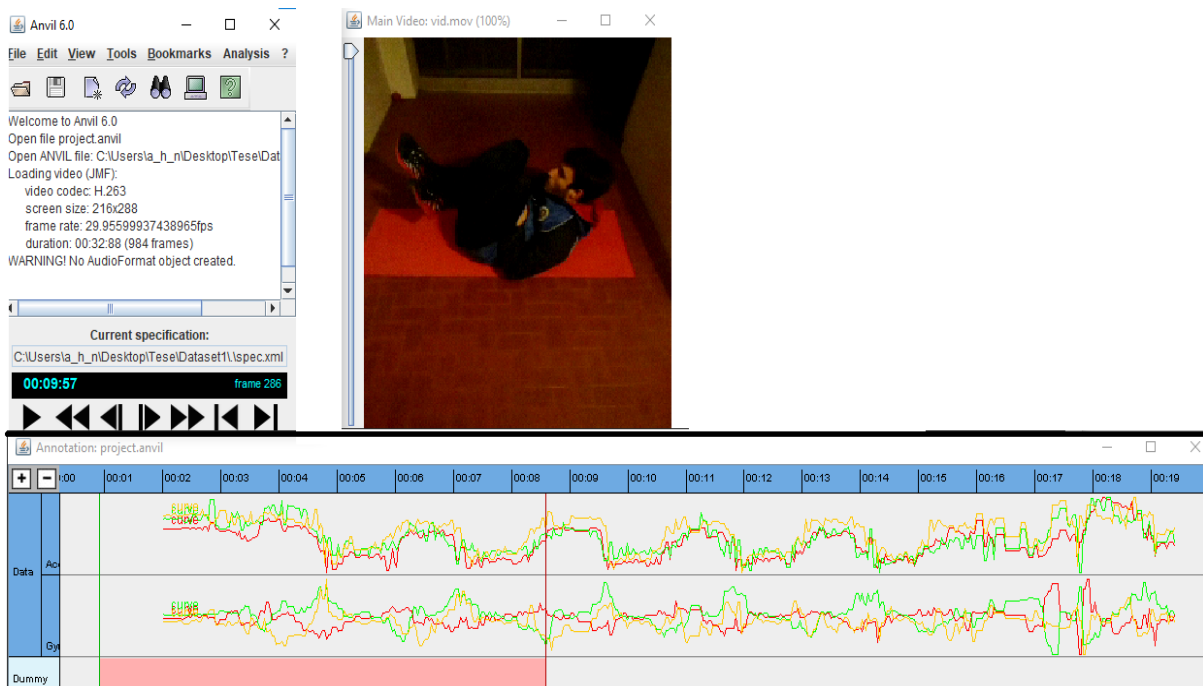


Figura 10 – Exemplo de utilização do Anvil no exercício de abdominais

O Anvil contribui para o processo de sincronização e interpretação devido à facilidade com que integra os dados no momento em que é feito o movimento e os separa nos 3 eixos e nos dois sensores (acelerómetro e giroscópio).



## 4 Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos e a descrição detalhada de como os exercícios se irão realizar. Vão ser comparados também os resultados esperados com os resultados práticos e uma análise separada entre o acelerómetro e o giroscópio.

Os exercícios consistem em testes para reconhecimento de eixos, exercícios com um âmbito mais geral e com pouca complexidade para observar e comprovar dados esperados, e finalmente exercícios mais específicos e de complexidade relativamente elevada para observação de outros objetivos, como a postura do atleta e outros pontos de foco.

### 4.1 Protocolo de Validação e Processo

O primeiro passo a executar no processo, é o colocar do sensor no ponto que é desejado capturar os dados, neste caso e na maioria destes exercícios na zona do peito, de modo a que não afete o movimento do atleta nos exercícios e de forma a que se possa observar dados da postura através do acelerómetro e giroscópio.



Figura 11 – Colocação do sensor para observação de postura

Depois de colocado e assegurado a estabilidade e ergonomia do sensor, é tempo de iniciar a aplicação no smartphone ou dispositivo de processamento, este processo pode ser visto com mais detalhe no subcapítulo 3.4 (Processo e sincronização). Convém então ver se está tudo a funcionar através do separador de teste e só então começar a captura de dados no separador de “data recording”.

A captura de dados é iniciada depois de o atleta saber qual o exercício que deve realizar, com as pormenorizadas descrições dos que são realizados neste trabalho que podem ser vistos posteriormente nos próximos subcapítulos. Ao iniciar a captura de dados, o observador começa também a captura do vídeo que seguirá os movimentos que realizará o atleta durante o exercício, enquanto o led inicia o processo de sincronização como visto anteriormente (subcapítulo 3.4).

Depois de terminado o exercício, acaba também a captura de dados e conseqüentemente a captura de vídeo. Estes dados ficam guardados no dispositivo de processamento e posteriormente são transferidos possivelmente para um computador com capacidade de processamento superior e analisados.

Esta análise é feita numa primeira forma na transformação dos dados “raw” em dados mais suscetíveis de serem interpretados (subcapítulo 3.4), depois são gerados gráficos com os novos dados e em complemento com a aplicação “anvil” que permite correr o vídeo juntamente com os dados a acompanhar cada momento do exercício, o que nos permite uma interpretação mais fácil e coerente.

De notar que os exercícios nunca começam com o tempo a 0 segundos, isto porque os zero segundos são quando o smartphone inicia o vídeo, e para além deste atraso existe ainda a sincronização do led com o vídeo, daí a maioria dos exercícios começam por volta dos 3 segundos, somatório do tempo que demora cada cor do led a piscar.

## 4.2 Exercícios

Este subcapítulo descreve os exercícios usados para recolha de dados, que neste trabalho foram quatro, mas futuramente podem ser mais, com outro tipo de variações e também com outro tipo de contexto, apesar de o foco neste trabalho ser o futebol.

Exercício	Descrição	Objetivo
Teste	Teste	Reconhecimento de eixos
Exercício 1	Abdominais	Validação de exercício
Exercício 2	Remate com sensor no peito	Observação de exercício específico e postura
Exercício 3	Remate com sensor na perna dominante	Observação de características na perna

Tabela 2 - Descrição e Objetivo dos Exercícios

### 4.2.1 Reconhecimento de eixos - Teste

O primeiro exercício, apesar de poder não ser considerado exatamente um exercício, pois pode ser visto mais como um teste, daí considerarmos como Exercício 0 ou Teste, pois consiste apenas no movimento do sensor que dura cerca de 60 segundos em movimentos premeditados em que é tentado observar os valores esperados com os resultados obtidos. O sensor é colocado numa posição de repouso e depois é movimentado inicialmente em volta de si próprio, para os dois lados, para a esquerda em cerca de 180° depois é movido de modo a que volte à posição inicial e à volta de mais 180° para a direita. O próximo movimento consiste na sua inclinação em relação ao LED para a frente e para trás, ambas por volta dos 180° novamente. Finalmente é feita uma inclinação lateral em relação ao LED para a direita e para a esquerda sempre com a aproximação aos mesmos ângulos utilizados anteriormente e é posto numa posição de repouso para terminar o exercício. Estes movimentos são feitos para além da observação dos resultados e consequente comparação com os resultados esperados, para efeitos de observação e correspondência dos eixos usados pelo sensor, de modo a termos um ponto de vista mais preciso para observação dos exercícios que se irão realizar posteriormente.



Figura 12 - Fotograma de alguns dos movimentos efetuados no reconhecimento de eixos

#### 4.2.2 Abdominais (Exercício 1)

O trabalho apesar de ser direcionado para o futebol, começa com um exercício de caráter mais geral, pois é um exercício que é mais fácil de controlar e que não requer muitos movimentos em muitas zonas do corpo do atleta. É também um exercício que pode ser feito num ambiente controlado e com menos efeitos de ruído, como foi falado anteriormente no capítulo 2.



Figura 13 – Fotograma de um ciclo de abdominais

Este exercício começa com o atleta no chão, em decúbito dorsal, entretanto é feita a calibração do sensor, de modo a que os eixos comecem todos do zero e as variações sejam todas feitas a partir desta posição inicial ou posição de equilíbrio. Depois de feita a calibração, o atleta começa então a fazer o exercício. Começando por levantar o torso até fazer um ângulo com o chão de cerca de 45° sem mexer as pernas, estas podem estar fletidas como podemos observar na figura 13 e 14 ou podem estar noutra posição, normalmente com o objetivo de esta parte do corpo não se movimentar. Seguido deste movimento, o atleta deve retornar à posição inicial, mas com a variante em que mantém a parte inferior do corpo estável e na mesma posição em que estava ao levantar o torso. Para efeitos de recolha de dados é efetuado o conjunto dos movimentos acima descritos cerca de dez vezes, o tempo depende de pessoa para pessoa, pois neste exercício o importante é o número de repetições.

A parte do sistema de feedback neste exercício era interessante na medida em que sempre que o atleta ultrapassasse um ângulo que possa ser prejudicial para as suas costas, alertasse o atleta de modo a voltar para trás sem ter de se esforçar mais e a prevenir eventuais lesões.

O atleta que realiza este exercício tem 28 anos, mede cerca de 183 cm e pesa à volta de 79 kg, o seu pé dominante é o direito e a posição máxima relativa observada no exercício é de 22, 48°.



Figura 14 – Exercício 1, posição de repouso e abdominais e eixos do sensor de acordo com Exercício 1

#### 4.2.3 Remate com sensor no peito (Exercício 2)

O segundo exercício deixa de ser um exercício geral e passa a ter componentes mais específicas do futebol. Deve ser tido em conta que o exercício pode ser alterado, desde o número das repetições à distância das bolas e mais, tendo em conta o material disponível e as condições e preparação dos atletas em causa.



Figura 15 – Fotograma de início de corrida e remate (uma das componentes do exercício 2)

Este exercício consiste na colocação de 6 bolas a cerca de 20 metros da baliza com um espaço de cerca de 1 metro entre elas. Em seguida é feita a calibração do sensor, enquanto o atleta espera pelo sinal para poder começar. Neste caso, o ponto inicial é diferente do exercício 1, pois no exercício 1 o atleta está deitado e neste exercício o atleta encontra-se de pé em de frente para a baliza, sendo este o ponto inicial em relação aos dados.



Figura 16 – Colocação do pé de apoio no remate (esquerda) e eixos do sensor de acordo com a postura(direita) no exercício 2

Depois de dado o sinal para iniciar o exercício, o atleta inicia a corrida em direção à bola e ao chegar ao pé da bola, coloca o pé não dominante ao lado da bola e levanta o outro pé para chutar a bola em direção à baliza, depois do primeiro remate o atleta volta perto da posição inicial de frente para a próxima bola e repete o mesmo movimento com os restantes esféricos, terminando assim o exercício.

O atleta presente neste exercício tem 18 anos, mede cerca de 178 cm, pesa 72 kg e tem como pé dominante o direito.

#### 4.2.4 Remate com sensor na perna dominante (Exercício 3)

O terceiro exercício consiste no mesmo movimento que o exercício 2, o que o torna diferente é a posição em que o sensor está colocado. Neste exercício o sensor é colocado a meio da canela do atleta, portanto apesar de ter um movimento relativamente similar ao segundo exercício, assim como o eixo, os resultados serão completamente diferentes. Neste caso outra das variações foi o número de bolas usadas, que foram um total de sete.



Figura 17 – Fotograma de corrida e remate no exercício 3 com o sensor na perna

Apesar da maioria dos exercícios serem feitos com o objetivo da postura, entendeu-se variar a posição do sensor, de modo a poder ser exemplificado a versatilidade do sensor e a sua eficiência ao ser usado noutros locais. É feito também de modo a termos uma outra maneira de ver o exercício e de que maneira cada parte do corpo influencia este movimento.

O atleta que realizou o exercício 3 é o mesmo que realizou o exercício 2 por isso os dados e características do mesmo mantêm-se

### 4.3 Reconhecimento de eixos – Teste

O primeiro teste, pois não se considera como um exercício, é bastante simples e apenas consiste em movimentar o sensor que está colocado em repouso numa superfície, em vários ângulos de forma a podermos confirmar os ângulos e eixos com o vídeo.

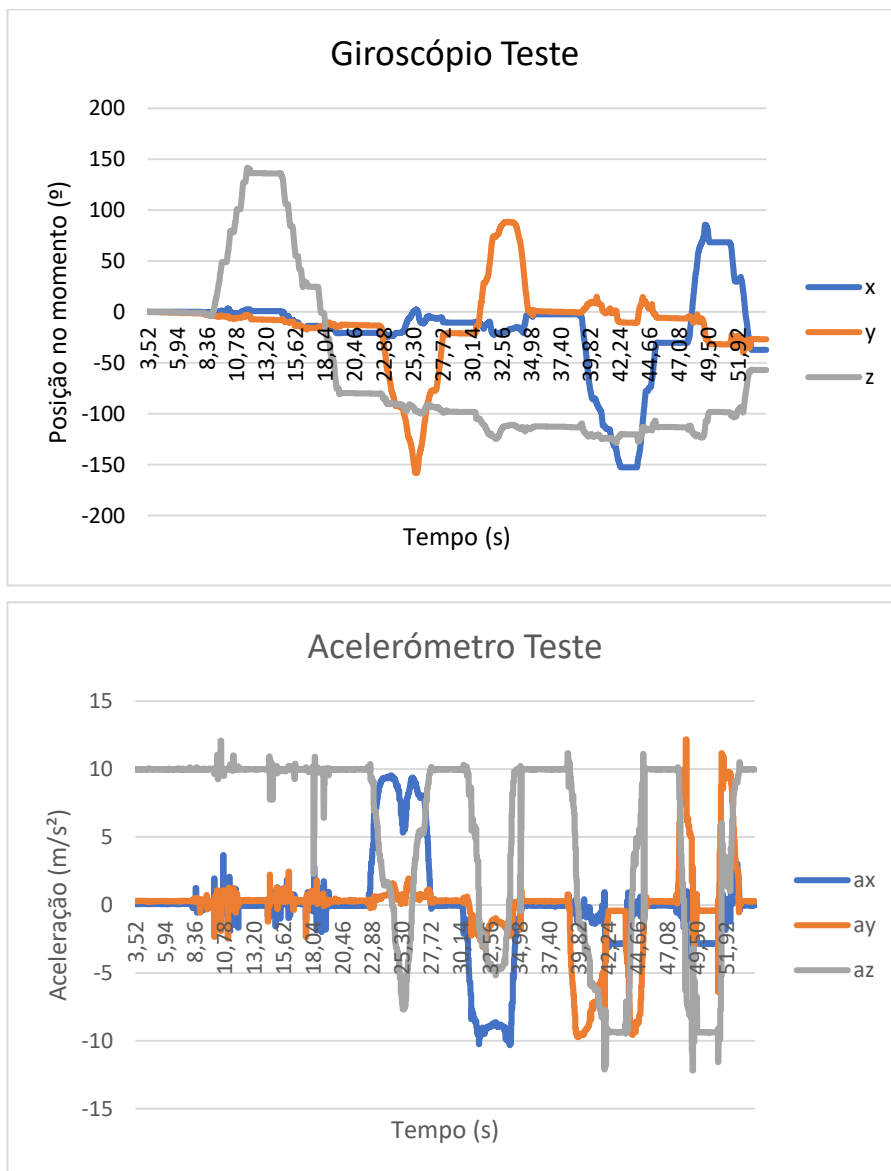


Figura 18 - Resultados do giroscópio (cima) e acelerómetro (baixo) no teste em relação aos três eixos



### **4.3.1 Resultado do Giroscópio**

O primeiro movimento é realizado perto dos 8 segundos até aos 11 segundos, é sobre o próprio sensor e é para a esquerda que nos vai ditar o eixo z e que a esquerda é a nossa parte positiva graficamente, depois durante os 14 e os 19 segundos volta para a direita até voltar à posição inicial (17 segundos) e mais um pouco para obtermos então a parte negativa no gráfico. O movimento realizado é perto dos  $180^\circ$  tanto para um lado como para o outro. Apesar do resultado do sensor apenas atingir os máximos e mínimos de 142 e -129 graus respetivamente no eixo z, isto devido aos erros e à falta de precisão do sistema.

O segundo movimento consiste na inclinação do sensor no que será o nosso eixo y (no intervalo de 22 segundos para 34 segundos), tendo em conta a posição do led, é quando o led fica mais próximo da superfície, iremos considerar inclinação para trás que será a parte negativa graficamente. A inclinação para a frente, com o led na parte mais afastada da superfície corresponderá à parte positiva dos dados. Voltando depois destes dois movimentos à posição de repouso. Aqui o movimento em relação a graus previstos foi cerca de  $-180^\circ$  e pouco mais de  $90^\circ$  para a parte positiva, em relação a valores práticos temos como resultados  $88^\circ$  e  $-158^\circ$ , em relação ao eixo positivo e ao negativo consequentemente do eixo y.

O último movimento (no intervalo de 39 segundos até aos 53 segundos, perto da conclusão deste teste) consiste na inclinação lateral do sensor que coincide com o eixo x, correspondendo a esquerda à nossa parte negativa e a direita à parte positiva graficamente. Aqui os dados esperados relativamente aos ângulos são de  $180^\circ$  e  $-180^\circ$ , apesar de o sensor não ter sido movimentado da maneira mais eficiente para corresponder a estes valores na prática. Os resultados máximos obtidos foram  $85^\circ$  para o eixo positivo e  $-152^\circ$  para o eixo negativo. A influenciar estes resultados estão para além dos erros que foram falados no primeiro movimento, a movimentação não ótima do utilizador principalmente para o lado do eixo positivo.

Estes movimentos podem ser observados em parte no fotograma da figura 12.

### **4.3.2 Resultado do Acelerómetro**

Podemos comprovar que para movimentar qualquer eixo a nível angular são necessários os três eixos da aceleração, e que apesar de combinações diferentes (acelerações positivas com negativas e diferentes combinações consoante o eixo) que serão explicadas em mais detalhe prontamente, os três eixos são necessários e importantes na contribuição para a posição do corpo.

Para o primeiro movimento, a aceleração no eixo z (ver figura 18 (baixo)) tem o movimento do acelerómetro quase vestigial em todos os eixos, tanto para influenciar positivamente como negativamente, talvez devido ao movimento lento em que não é possível detetar as influências do acelerómetro no posicionamento relativo ao eixo z.

Nos restantes movimentos podemos ver que a aceleração no eixo z é sempre negativa independentemente de ser movimento para o lado positivo ou negativo (por causa da gravidade).

No segundo movimento em relação ao eixo y do giroscópio, observamos a influência no semiplano negativo com uma pequena variação positiva da aceleração em y e uma variação significativa também positiva em x.

Em relação ao semiplano positivo temos novamente uma pequena variação da aceleração em y mas no sentido contrario, ou seja, aceleração no sentido negativo e contribuição negativa por parte da aceleração x.

No último movimento, a alteração do eixo x no giroscópio podemos observar que desta vez a contribuição vestigial passa a ser do acelerómetro no eixo x e que o principal contribuidor para além do “az”, que como foi falado anteriormente nestes dois exercícios tem a mesma contribuição independente dos semiplanos e eixos do giroscópio afetados, é o “ay” que contribui negativamente para o semiplano negativo e positivamente para o semiplano positivo.

Com este teste podemos observar que a nível de aceleração temos o “ay” a influenciar de maneira direta o eixo x do giroscópio e o “ax” de maneira inversa o eixo y do giroscópio. Em relação ao eixo z do giroscópio nada se pode concluir, pois os resultados não foram significantes o suficiente para se obter alguma conclusão. Em baixo temos uma tabela que simplifica o que foi explicado neste parágrafo e que pode ser usado para consulta para os próximos exercícios.

Principais contribuidores						
giroscópio	x+	x-	y+	y-	z+	z-
acelerómetro	ay+	ay-	ax-	ax+	NS	NS

Tabela 3 - Relação entre eixos do giroscópio e eixos do acelerómetro



#### 4.4 Abdominais (Exercício 1)

O primeiro exercício consiste num simples exercício de abdominais e parte com o sensor no peito da pessoa deitada no chão, depois de iniciada a captura do vídeo e da sincronização por parte do Led a atividade inicia-se e prolonga-se por um número de repetições até ao utilizador entender terminar a captura de dados.

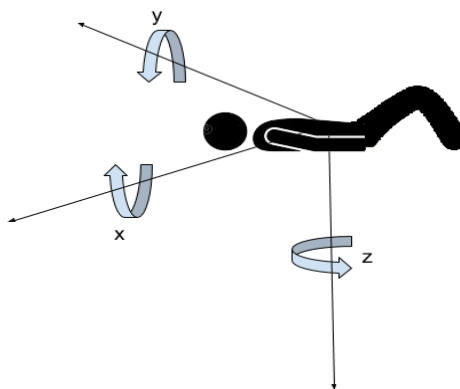
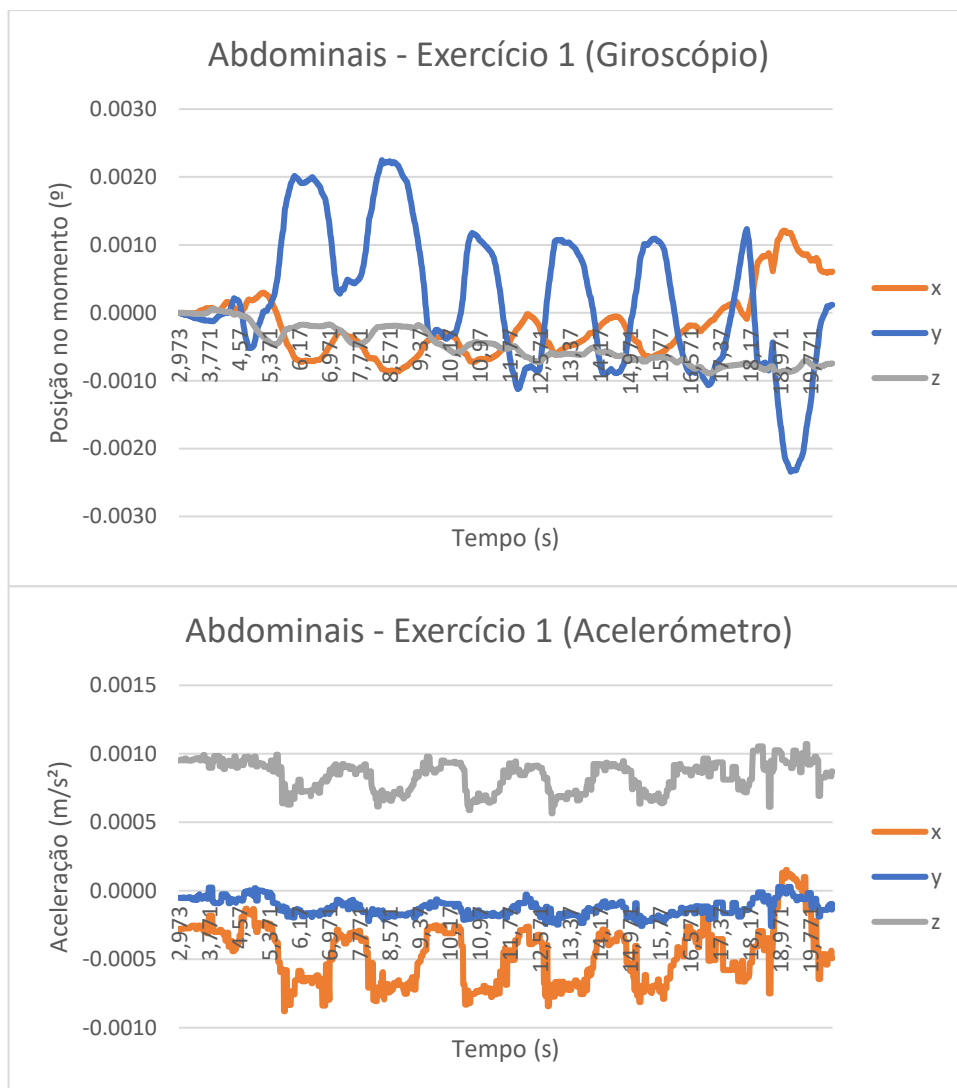


Figura 19 - Resultados do giroscópio (cima) e acelerómetro (meio) e eixo (baixo)

#### **4.4.1 Resultado do Giroscópio**

Da análise do gráfico (figura 19 (cima)) podemos observar que o movimento predominante é o do eixo y, e que os restantes são pequenas variações que podem passar despercebidas neste exercício específico, com exceção do eixo x que apenas está situado na zona negativa do gráfico indicando um lado dominante do corpo no exercício. Observando o eixo y em mais pormenor, vê-se uma linha quase sinusoidal que confere com o tipo de exercício que aqui é feito. O eixo z denota-se pela sua pouca oscilação, pois durante o exercício existem sempre algumas oscilações, mas os resultados andam sempre perto dos zero graus. A nível do eixo x podemos ainda notar que há uma ligeira inclinação do corpo, sempre que é iniciado um abdominal, e o gráfico acompanha o mesmo movimento, pois sempre que o abdominal começa (através do crescimento de y) o eixo de x acompanha esse movimento ao decrescer no mesmo momento e volta ao seu ponto de equilíbrio (aproximadamente 0°) quando o atleta está a voltar à sua posição inicial.

Observamos que como os dados capturados apenas vão até aos 20,36s e o vídeo corre até aos 31s, só obtemos 7 picos no eixo y, que correspondem a 7 abdominais feitos desde o início do exercício até a esse ponto em vez dos 10 que efetivamente foram feitos. Apesar de não estarem os abdominais todos contabilizados, estão todos os feitos até ao ponto em que o sensor recolheu os dados.

Notamos alguns dos efeitos de fuga do sensor, pois a partir do 3º abdominal o pico já não é tão alto e ao retomar à posição inicial ultrapassa os 0 graus atingindo cerca de 10 graus negativos, somando este resultado ao pico, obtemos então um valor mais aproximado do esperado e dos obtidos nas duas primeiras iterações, e assim como é feito para o 3º pico, também serve para os seguintes.

#### **4.4.2 Resultado do Acelerómetro**

Como podemos comprovar na figura 19 (meio), a visualização das variações segundo os eixos neste exercício não é de fácil interpretação. Por essa razão, usámos um gráfico scatter de 3D (figura 20) seguida de uma pequena interpretação e razão pela qual esta representação foi escolhida em relação ao exercício e resultados obtidos.

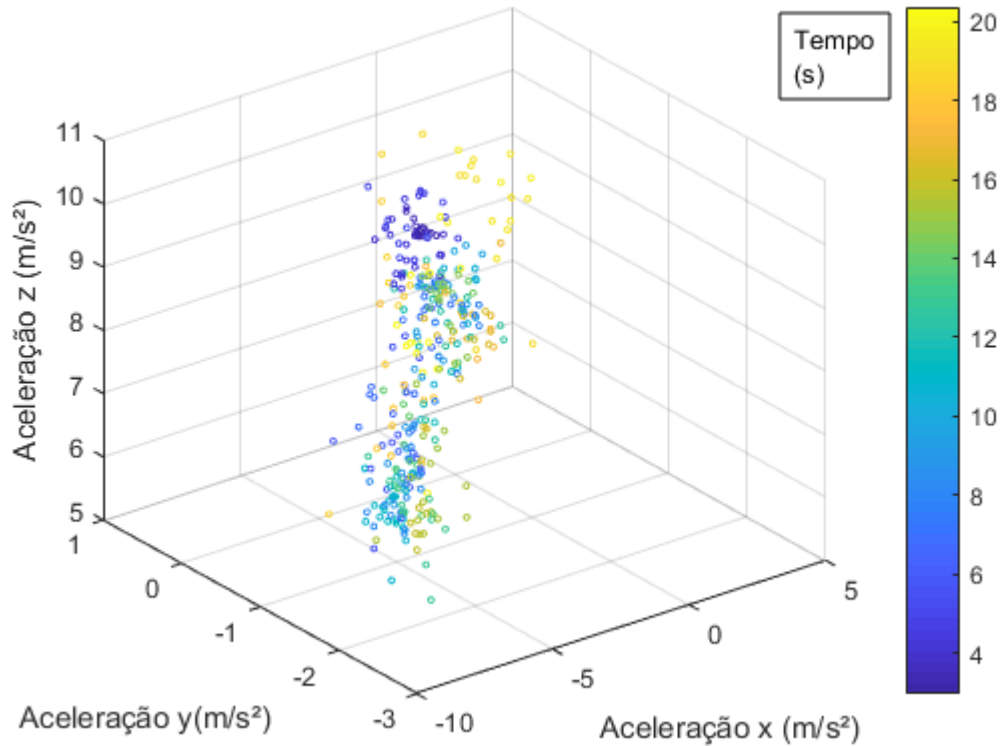


Figura 20 – Gráfico scatter 3d do movimento dos abdominais com o acelerómetro

A maior razão é devido à sua facilidade em ver qual o movimento predominante ao longo do tempo (oscilação vertical por parte do atleta no eixo z) neste exercício, que neste caso (abdominais) será a elevação efetuada pelo atleta.

Na figura 20 podemos observar o movimento do atleta em relação à sua aceleração aquando da realização do exercício 1 (abdominais). O exercício inicia-se perto dos 3 segundos e termina pouco depois dos 20 segundos, é determinado graficamente pelo gradiente colorido começando na cor azul e variando até a cor amarela como se pode observar na paleta de cores à direita do gráfico. Podemos observar em que valores a aceleração varia em cada eixo, por exemplo o eixo x varia entre 1,52 e -8,8 m/s<sup>2</sup>, o eixo y por sua vez já tem como máximo e mínimo 0,29 e -2,58 m/s<sup>2</sup> respetivamente, enquanto que o eixo z varia entre 10,72 e 5,65 m/s<sup>2</sup>. A aceleração do movimento acaba por ser relativamente constante pois pode-se verificar a sobreposição ao longo do tempo graficamente, pois apesar de ser um exercício que envolve várias repetições e ao longo do movimento existir o cansaço inerente à realização do mesmo e isso implica alterações na aceleração, tanto na redução como no aumento pois aqui são considerados os 3 eixos para análise. Acabamos por ter um resultado consistente com o esperado, provavelmente também devido á curta duração do exercício, pois quantas mais repetições mais diferenças existirão apesar do movimento ser o mesmo.

Este gráfico foi escolhido pois permite verificar a relativa constante aceleração que o atleta mantém ao executar o exercício, visto que é um exercício periódico.

## 4.5 Remate com sensor no peito (exercício 2)

Esta atividade consiste no remate de uma bola de futebol e o sensor está novamente no peito do atleta, mas desta vez o atleta está de pé e a uma distância de cerca 3 metros da bola que vai chutar. O exercício é repetido 6 vezes nesta captura de dados.

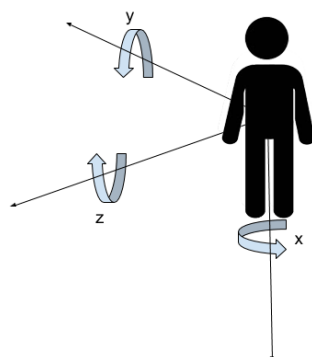
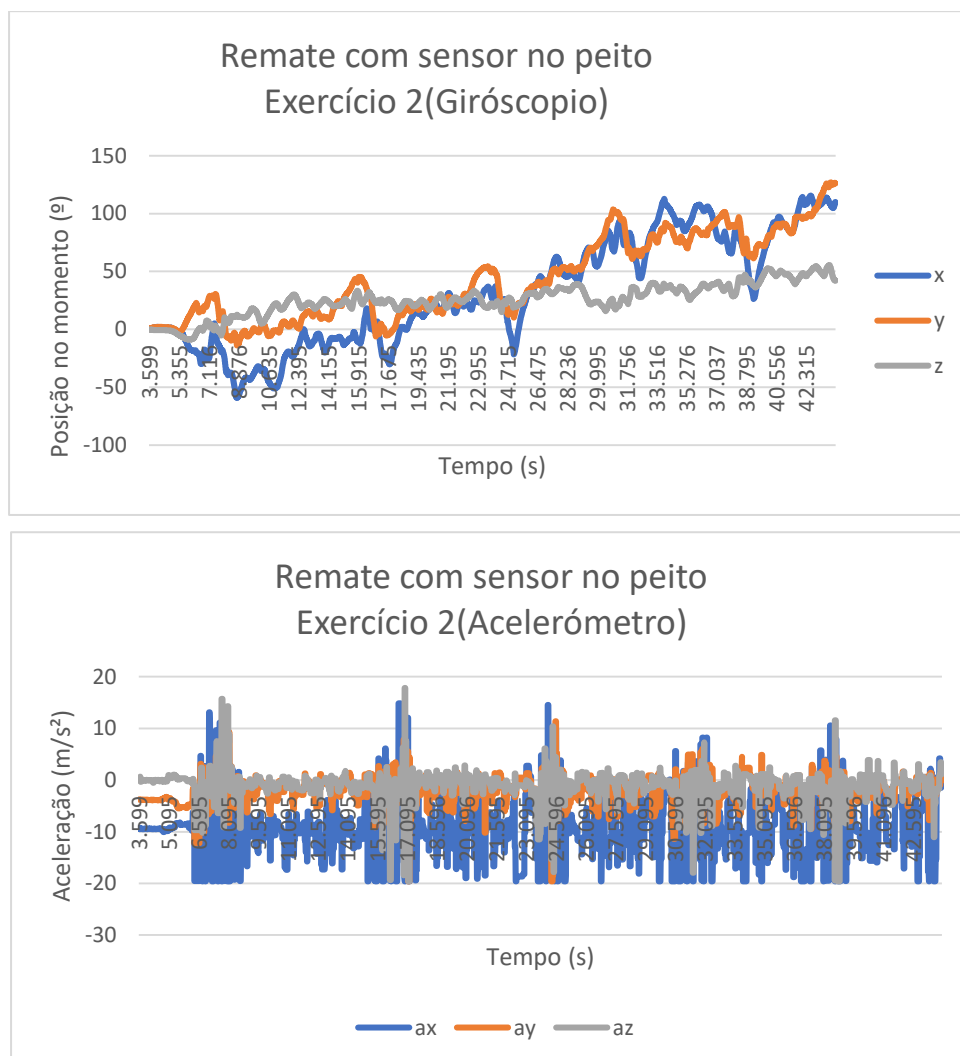


Figura 21 – Medições sobre os 3 eixos do giroscópio (cima) e acelerómetro (meio) e eixo (baixo)  
Os remates são realizados aproximadamente nos seguintes segundos: 7, 16, 23, 30, 37, 43

#### 4.5.1 Resultado do Giroscópio

Neste exercício os valores do giroscópio não são tão fáceis de interpretar, excluindo a facilidade com que se observa o momento dos remates que são graficamente observados nos picos do gráfico 21(meio) e que coincidem com os segundos apresentados anteriormente dos momentos dos remates. Em relação aos restantes dados e à sua difícil interpretação, deve-se ao fato das bolas estarem espaçadas umas das outras e isto faz com que o atleta se movimente sempre para a sua direita, pois aí estará a próxima bola para efetuar o movimento deste exercício. Isto significa que o movimento começa da esquerda para a direita do atleta, e irá ser realizado quando o atleta se sentir preparado para efetuar o movimento, não tendo assim intervalos regulares, como podemos comprovar no parágrafo anterior em que dá estimativas dos segundos em que foram realizados os remates ou graficamente.

Neste gráfico (figura 21(cima)) podemos observar como esperado, pelo menos para os 3 primeiros remates que o eixo y começa nos zero graus pois o corpo está em repouso e ao aproximar-se do remate o corpo do atleta começa a inclinar-se ligeiramente para trás para executar o movimento e depois do remate concluído volta aos zero graus e isto repetidamente em cada remate, como podemos ver graficamente, tendo em conta que os remates ocorrem nos intervalos acima mencionados, também podem ser visto graficamente como os picos que ocorrem ao longo do tempo.

Em relação ao eixo z, podemos observar que os resultados não apresentam grandes variações e estão predominantemente no semiplano positivo devido ao atleta ser destro e as bolas estarem também à sua direita, isso influencia o seu movimento neste exercício. De notar que apesar de estar a maior parte do tempo no semiplano positivo o seu início é no semiplano negativo e isto acontece devido à maneira como o atleta corre para a bola, pois primeiro faz uma ligeira rotação à esquerda em relação ao sensor para depois se posicionar e a partir daí o restante movimento é maioritariamente para a direita. Portanto notamos as descidas neste eixo como o momento em que o atleta se prepara para “atacar” a bola.

Em relação ao eixo x o jogador puxa sempre o seu braço direito atrás de maneira a ganhar momento e larga no momento do remate o seu braço esquerdo de modo a poder chutar com mais força, daí os picos no momento do remate que podemos observar graficamente. O desvio que o eixo sofre tem muitas influências, uma delas como poderemos ver na análise dos outros exercícios tem a ver com a fiabilidade do sensor e dos seus resultados ao longo do tempo, que começam a se deteriorar provavelmente devido ao *drift* presente no sensor. Outras das condicionantes tem a ver com o facto de o jogador ser destro que influencia o exercício e consequentes movimentos, finalmente e não menos importante há o fator das bolas e da escolha das mesmas no momento do remate, neste caso é escolhido a bola mais à esquerda do jogador e continua esse movimento em cada repetição subsequente.

Observamos neste exercício que o eixo x acompanha o eixo y em relação ao giroscópio (figura 21(cima)), pois o movimento nestes eixos tem uma componente preponderante na altura do remate, através da rotação do corpo no momento do remate, por isso é facilmente observado graficamente nos momentos mencionados anteriormente.

#### 4.5.2 Resultado Acelerómetro

Neste gráfico podemos observar os picos de aceleração (figura 21 (meio)) nos momentos em que são realizados os remates deste exercício. Mas iremos usar outras representações alternativas que nos permitam ver outro tipo de dados mais facilmente como no exercício anterior.

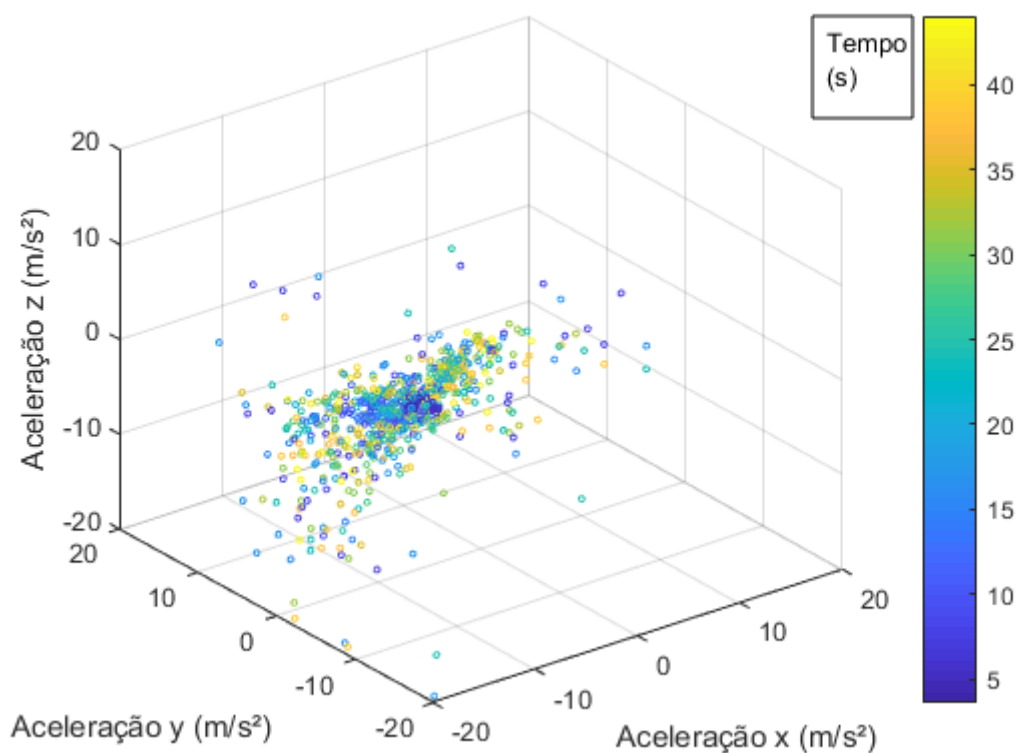


Figura 22 - Gráfico scatter 3d do exercício 2

Graças ao gráfico de scatter 3d (figura 22) podemos observar o tipo predominante de movimento ao longo do tempo (oscilação horizontal por parte do atleta ao longo do eixo x) que é feito neste exercício, neste caso, o movimento de preparação para o remate, o remate e depois o movimento de retorno à posição que permite executar o próximo remate. O tempo é visto no gradiente que começa em azul e termina em amarelo, como podemos ver na paleta à direita do gráfico com a identificação dos segundos em relação à cor. Que acaba por estar relativamente bem distribuído apesar de os remates serem feitos em posições e momentos diferentes, assegurando assim uma boa sobreposição ao longo do tempo.

#### 4.6 Exercício 2 segunda Repetição

Foi efetuada uma segunda repetição do mesmo exercício com o mesmo número de repetições de modo a termos dados mais consistentes e os resultados obtidos nessa segunda repetição foram os seguintes observados na figura 23(cima e meio) e figura 24. Esta análise será mais superficial, pois o exercício é o mesmo e serve apenas como forma de comparação e solidificação do trabalho e dos dados recolhidos pelo sensor, logo a prioridade será as diferenças encontradas entre estes dados e os dados recolhidos no subcapítulo anterior.

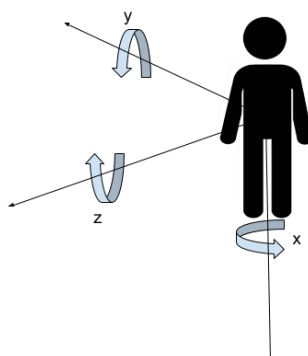
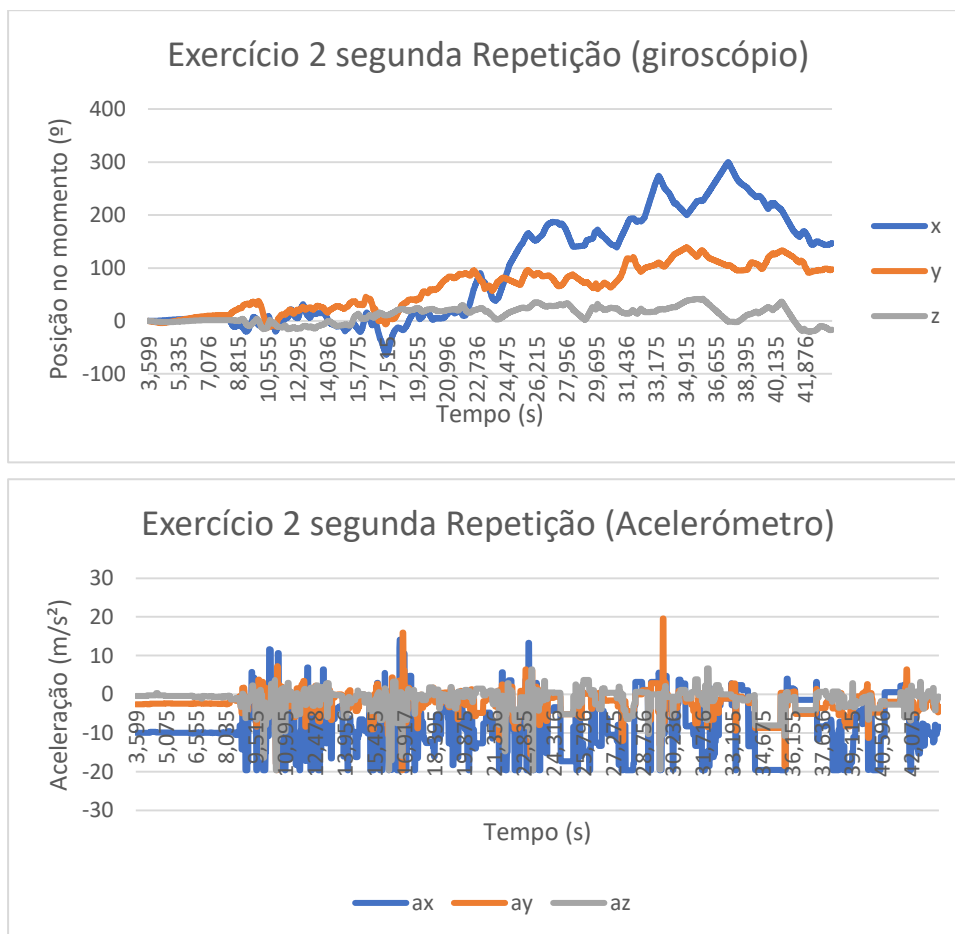


Figura 23 - Resultados do giroscópio (cima) e acelerómetro (meio) e eixo (baixo)

Neste exercício os momentos aproximados dos remates foram: 9, 16, 22, 29, 34, 40 segundos

#### 4.6.1 Resultados do Giroscópio

Em relação aos dados obtidos anteriormente os dados são relativamente semelhantes quando falamos nos eixos y e z, mas em relação ao eixo x obtemos valores maiores que podem ser derivados às condicionantes mencionadas na análise anterior. De notar que apesar de os valores serem mais elevados a nível do eixo x, o mesmo eixo continua a seguir o movimento do eixo y, da mesma maneira que a primeira repetição do exercício.

#### 4.6.2 Resultados do Acelerómetro

Os resultados a nível do acelerómetro estão também homogéneos com o mesmo tipo de dados anteriores apenas com a exceção dos últimos 10 segundos em que ocorrem valores que não eram esperados em relação ao movimento que foi realizado.

Ou seja, aqui (figura 23 (meio)) observamos bem os 4 primeiros picos como os 4 primeiros remates, mas os últimos 2 remates não aparecem bem representados na figura pois como é observado ao longo deste trabalho a fiabilidade do sensor e dos seus dados decresce quanto maior for o tempo em que este está em utilização, devido a correntes de fuga e outros erros do sensor.

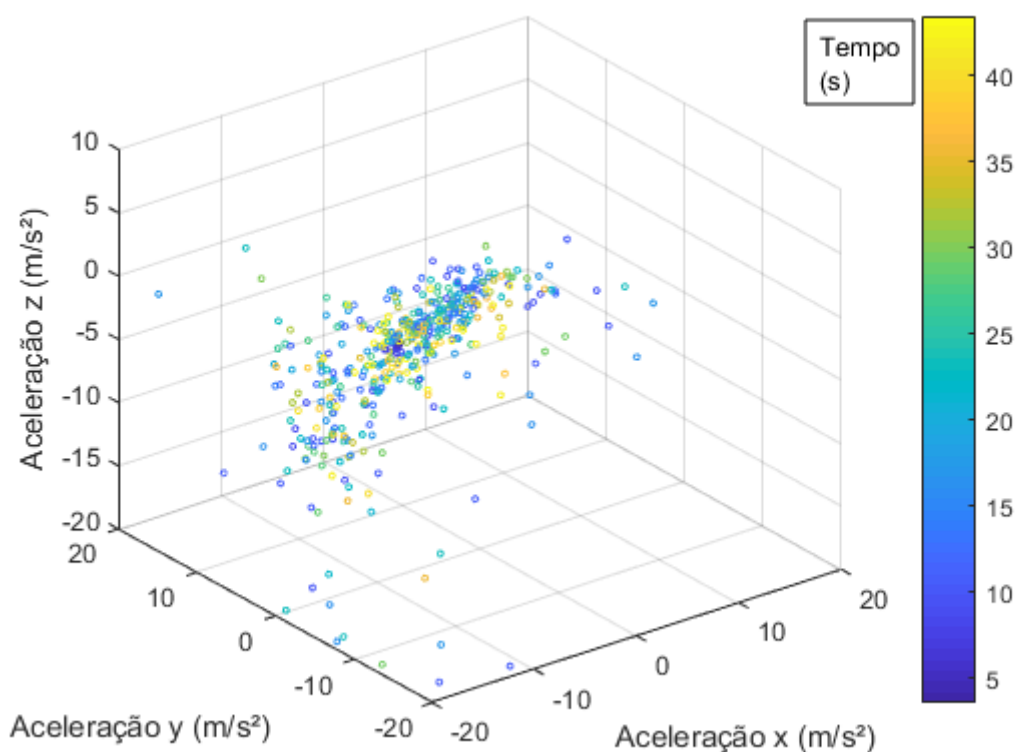


Figura 24 - Representação scatter 3d do exercício 2

Como foi observado anteriormente, os máximos relativos gráficos e mesmo na representação dos resultados do acelerómetro na figura 23(cima) são fáceis de observar os primeiros 4 remates, mas depois os últimos 2 remates não aparecem apresentados graficamente devido ao mau funcionamento do sensor nos últimos instantes do exercício.



Em relação à representação em 3d (figura 24) por parte do acelerómetro temos dados relativamente semelhantes com os obtidos anteriormente, apenas com o realce que neste caso os valores estão apenas um pouco mais dispersos, isto devido aos maus resultados que foram obtidos principalmente nos últimos instantes do exercício, mas a principal característica do movimento mantém-se devido à maioria dos dados serem homogéneos com a repetição anterior.

## 4.7 Remate com sensor na perna dominante (Exercício 3)

O terceiro exercício consiste numa variação do segundo exercício, sendo essa variação a posição do sensor. O sensor nesta atividade está colocado entre o pé e o joelho do atleta e o restante exercício e o número de repetições é exatamente igual ao anterior visto no subcapítulo 4.3.

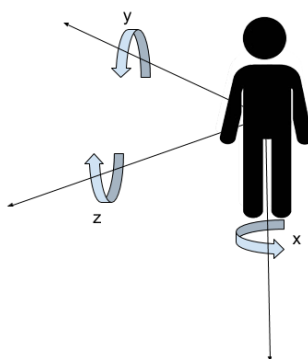
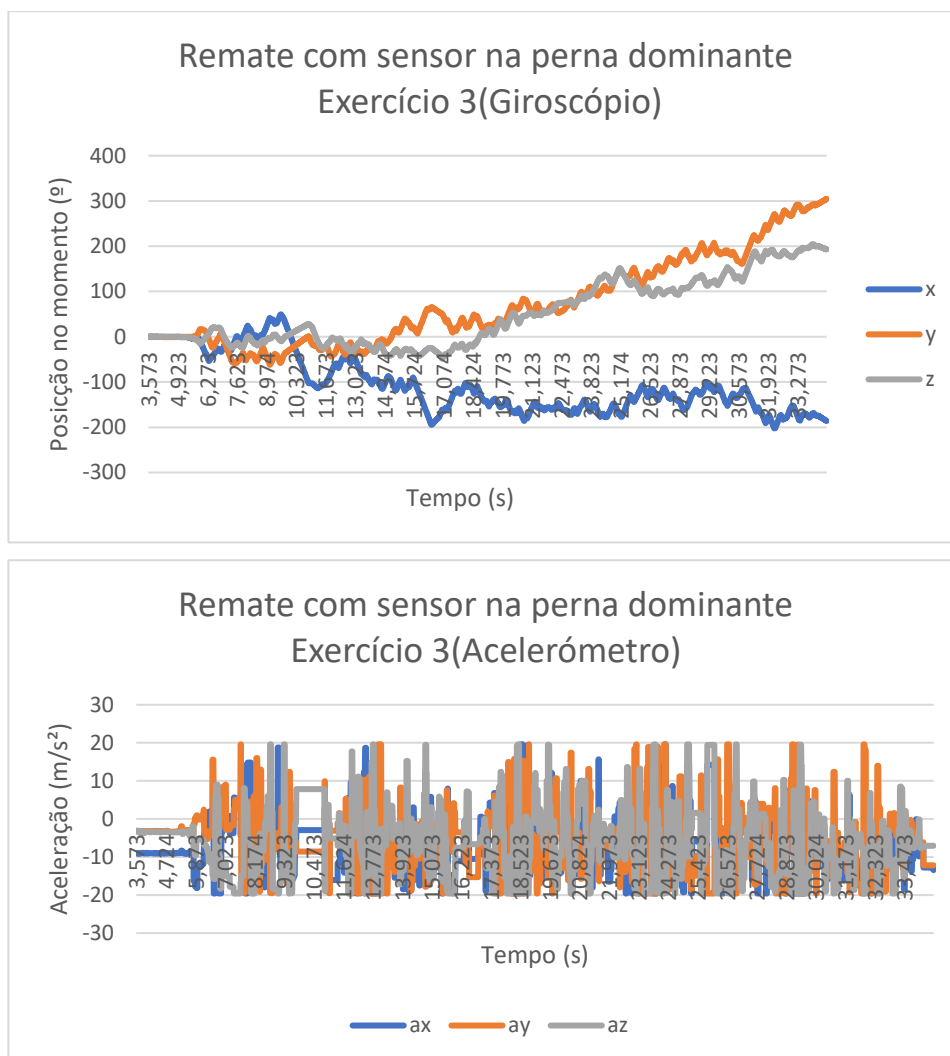


Figura 25 – Resultados do giroscópio(cima) e acelerómetro(meio) e eixo (baixo)

#### **4.7.1 Resultado do Giroscópio**

Segundos (aproximação) em que o remate é executado: 7, 11, 17, 23, 27, 34, 40

O movimento é feito como no exercício 2, da esquerda para a direita do jogador e com as bolas a serem 7 em vez de 6. De lembrar que o movimento desejado é o mesmo e que os dados irão ser diferentes pois o sensor desta vez está localizado na canela do jogador em vez do seu peito como nos exercícios anteriores.

Apesar do exercício só terminar perto de 45 segundos após ter sido iniciado o vídeo, os dados só são estão disponíveis até aos cerca de 35 segundos provavelmente devido a um mau funcionamento do sensor, em que ocorre um “freeze” e todo os dados observados no intervalo acima mencionado permanecem iguais, logo não fazem parte das análises seguintes.

Observamos o mesmo tipo de exercício que os 2 subcapítulos anteriores, mas com resultados diferenciadores apenas devido à diferença do lugar em que está colocado o sensor.

Em relação ao eixo x(figura 24 (A)) apesar de ter um movimento contrário em relação eixo y, continuam a estar relacionados e acompanham o mesmo movimento, em relação ao sinal ser contrário o mesmo se explica facilmente e é devido ao fato da canela do jogador fazer um movimento para o lado contrário ao que era feito com o peito em relação ao eixo x e aos 2 exercícios anteriores.

Os valores convergem para valores muito elevados devido provavelmente às condicionantes proporcionadas igualmente nos restantes exercícios, mas aqui com maior acentuação devido à posição em que o sensor está colocado ser mais sensível a variações.

Este novo posicionamento do sensor, para além das condicionantes já propostas serem mais elevadas também tem como desvantagem ter mais impacto em si mesmo no decorrer do movimento do exercício que, faz com que os resultados não sejam tão fiáveis como os anteriores.

#### **4.7.2 Resultado Acelerómetro**

Em relação aos gráficos que representam o mesmo movimento para os exercícios anteriores (figura 23(meio)) obtemos aqui (figura 25(meio)) uma interpretação completamente distinta, pois neste caso os remates ocorrem não no período em que se observam os picos graficamente, mas no momento em que a aceleração está perto de zero. Estes momentos são facilmente observados nos primeiros remates, mas devido a ineficiência do sensor nos últimos segundos do exercício e neste caso particular devido à falta de dados a partir dos 35 segundos não é possível observar graficamente os 2 últimos remates.

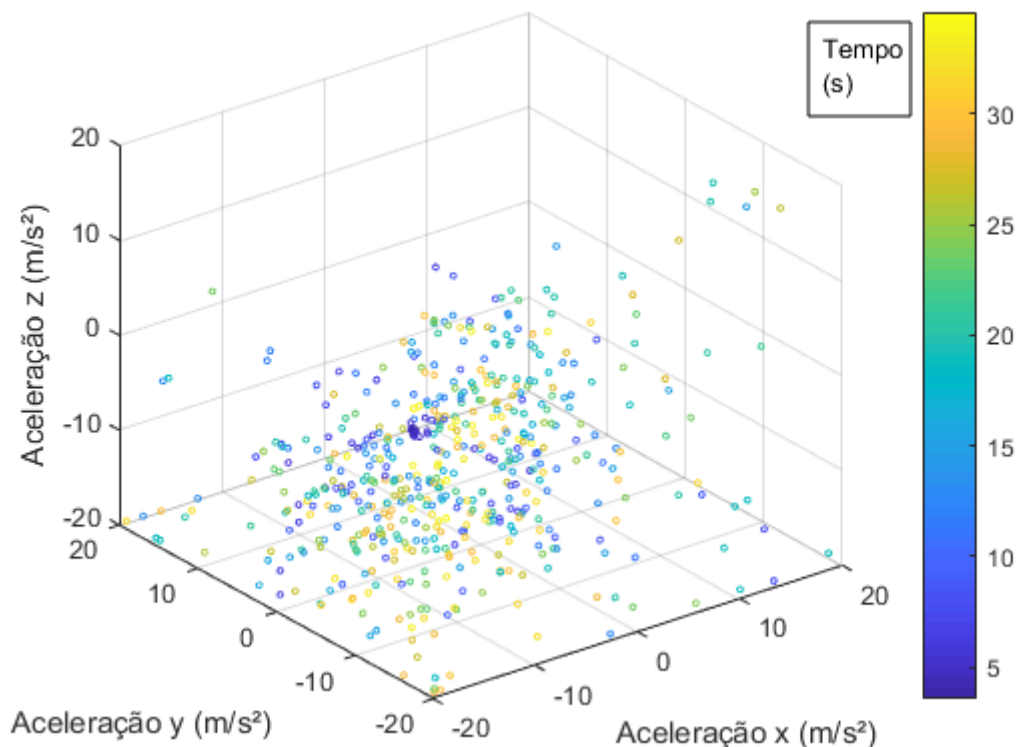


Figura 26 – gráfico de scatter 3d do exercício 3 em relação aos dados do acelerómetro

Em relação aos restantes gráficos de scatter 3d que foram observados neste trabalho, podemos verificar que neste (figura 26), como os pontos estão muito dispersos não é possível distinguir um movimento preponderante que seja fácil de seguir. Isto acontece porque como o sensor é colocado na canela do jogador, o movimento neste local induz vários impactos entre o Pikku e a canela, e nem o remate é distinguível pois o intervalo de tempo é muito pequeno neste tipo de análise para poder ser tirado qualquer tipo de padrão ou conclusão.

#### 4.8 Conclusão

Em relação aos resultados podemos observar que o sensor inicia normalmente com bons resultados nas primeiras repetições, ou seja, resultados similares aos esperados, mas depois começa a ter resultados um pouco inesperados, provavelmente devido ao *drift* que o sensor tem, que faz com que quanto mais tempo em que esteja a ser utilizado tenha resultados menos consistentes.

A nível dos abdominais os resultados são satisfatórios, excluindo a parte que foi referida no parágrafo anterior acerca do *drift* do dispositivo, o que significa que o sensor acaba por ser uma boa solução para este tipo de exercícios, principalmente com a vantagem de poderem ser feitos num ambiente mais controlado, desde que seja controlado então o *drift* do sensor. É necessário dizer que a calibração não é usada nas experiências e apenas na parte de teste, sendo assim outro dos contribuidores para alguns dos resultados menos bons por parte do Pikku.

Em relação aos remates temos novamente a mesma análise que tivemos em relação ao primeiro exercício (abdominais), isto em relação aos remates com o dispositivo no peito a observar a postura. Observamos que apesar de conseguirmos observar e controlar a postura, o remate será sempre algo mais complexo a controlar pois irá depender de outras características que apenas um sensor neste momento não consegue controlar. Algumas dependências que nos ajudariam neste caso seriam então o movimento do pé tanto do dominante como o que suporta o corpo e até o movimento da perna.

Os resultados do remate com o sensor na perna não são tão precisos como os anteriores e podem ser explicados devido a várias razões. Algumas destas razões vêm do facto que o sensor nesta posição irá ter mais impactos fazendo com que haja mais oscilações e outra razão advém do *drift* inerente ao sensor. Estes resultados chegam a ser inconclusivos em algumas representações gráficas e de difícil interpretação noutras, fazendo deste exercício o mais fraco a nível de conclusões e resultados neste trabalho. O que implica que quanto mais instável a posição em que for colocado o sensor, pior irão ser os resultados obtidos.

Concluindo de uma maneira geral, desde que o sensor esteja numa posição estável e num ambiente relativamente controlado, os resultados irão ser satisfatórios nos primeiros instantes. E que apesar de os resultados serem satisfatórios e suficientes para exercícios de carácter mais geral e simples como os abdominais, para exercícios mais complexos e de índole mais específica, neste caso do futebol, iremos necessitar de observar mais características de modo a poder observar de forma mais precisa algo como o remate, o passe e até outros movimentos técnicos.



## 5 Conclusão

Um dos objetivos deste trabalho era explorar a utilização de sensores simples e de baixo custo (acelerómetro e giroscópio) na monitorização do movimento dos atletas durante a execução de exercícios com foco na aceleração e diferença de ângulos de certas partes do corpo. Como resultado obtivemos o sistema Pikku.

O Pikku foi avaliado como uma possível solução para fornecer uma quantificação mais objetiva no acompanhamento dos futebolistas, seja ao nível do trabalho mais generalizado, seja durante tarefas específicas ao longo de treinos com foco no remate não esquecendo alguns requisitos fundamentais:

1. Custo e acessibilidade;
2. Facilidade de utilização nomeadamente na utilização frequente e de modo a que não obstrua o movimento ou influencie o exercício que se pretende analisar;
3. Utilidade real no seguimento do desempenho dos atletas.

Em relação aos requisitos estabelecidos, o baixo custo e a acessibilidade do Pikku mantêm-se intatos, principalmente com a opção do smartphone como solução de processamento e recolha de dados e do seu sistema operativo, apesar de em trabalho futuro queremos alargar esta acessibilidade com a possibilidade de usar o sistema operativo IOS. A nível de facilidade de utilização e ergonomia o sistema foi utilizado nos exercícios sem qualquer tipo de problema ou entrave no movimento dos atletas à exceção do último exercício devido ao posicionamento do Pikku numa parte do corpo crítica à execução do movimento. O último objetivo, o acompanhamento do desempenho só pode ser verificado com mais exercícios ao longo de um intervalo de tempo maior, mas reúnem-se todas as características para tal poder ser possível.

Para além de poder ser utilizado no futebol como inicialmente concebido e pensado, o Pikku (nome do sistema) pode ser usado com melhores resultados dentro de casa (ambiente mais controlado) para exercícios de reabilitação e/ou exercícios de condicionamento e fortalecimento do corpo. Para espaços controlados, como o interior de um ginásio ou na comodidade da sua própria casa, provavelmente com melhores resultados devido ao fato de o espaço ser mais pequeno e controlado ficando favorecido em relação à área ao ar livre tendo em conta as características do Pikku e da sua comunicação com o aparelho que irá processar os dados, principalmente o seu relativamente curto alcance. Devido ao curto alcance do sensor provavelmente até será mais útil em exercícios de força/ginásio em que os dados gerados pelo giroscópio e o acelerómetro serão extramente úteis para prevenir lesões e/ou corrigir posições de modo a maximizar os benefícios do exercício.

A nível do remate temos imensas condicionantes, como o tipo do remate, a força, a zona em que a bola é pontapeada e muitos mais, de modo que apesar da postura ser um fator importante para o resultado da altura do remate, não é o suficiente para determinar só por si o resultado desejado devido à falta das restantes características que influenciam também o resultado final.

Existe também a possibilidade de resultados diferentes com outras faixas etárias ou outro tipo de público alvo, pois os resultados obtidos são retirados dum grupo homogéneo de jogadores de futebol com idades

compreendidas entre os 17 e os 19, que estão habituados a praticar desporto e já têm um certo hábito a este tipo de movimentos e técnicas.

Mesmo sem nos permitir observar o remate da maneira desejada, os resultados mostram que esta pode ser uma boa solução para poder observar e futuramente controlar a postura no futebol e eventualmente noutros desportos.

## 5.1 Trabalho futuro

Como podemos ver na conclusão algumas características adicionais melhorariam o acompanhamento da maioria dos gestos técnicos usados no futebol, poder ser corrida a aplicação num sistema operativo adicional também seria algo que melhoraria a acessibilidade ao trabalho.

Apesar do foco neste trabalho ser a postura, é visto também alguns exercícios com realce nos membros inferiores e num futuro trabalho pode ser um ponto a ser observado com mais detalhe, de modo a prevenir outro tipo de lesões e até a melhorar a técnica ou nível de força a nível individual.

Algumas das novas características que possivelmente podiam ser integradas seriam além de terem como intuito o controlo, como frequência cardíaca e até a temperatura corporal, o objetivo de controlo de bem-estar e estado psicológico do jogador, pois é uma parte importante e não inferior à parte física, para o desenvolvimento e melhor rendimento do atleta. Para a parte física e técnica algo que observasse o movimento do pé, principalmente no momento do remate e a restante resposta da perna, para além claro de algo que pudesse monitorizar a trajetória da bola e então poder comparar ambos e criar uma relação ou padrão que permitiria melhorar esse movimento a nível individual.

Otimização do tipo de ficheiros armazenados de modo a consumir menos espaço e ter a possibilidade de escolher entre maior resolução e qualidade de imagem ou menor tamanho da parte do vídeo, pois os ficheiros de dados são já relativamente pequenos.

Ao longo deste estudo tentamos isolar os exercícios de modo a termos um ambiente mais controlado e fácil de interpretar, ao sabermos que espécie de resultados esperar. Um dos objetivos futuros passa por integrar o sensor num treino livre e absorver o máximo de informação possível, possivelmente já com mais dados e características disponíveis, visto que os sensores estão sempre a evoluir e a ter mais características que ajudem na compreensão da evolução e bem-estar do atleta.

Implementar feedback com escolha entre tátil e áudio, áudio pois é um sentido que em princípio não vai estar a ser usado na execução dos movimentos e exercícios realizados, ou seja, não impede ou dificulta a realização dos mesmos. Tátil, porque hoje em dia a maioria dos atletas ao realizar exercícios específicos ou de carácter controlado gosta de ouvir música e assim não interrompe essa opção.

Utilização de *machine learning* para análise em tempo real, pode ser uma boa solução de forma a tornar o efeito de feedback uma maneira mais eficiente e fluída, ou para exercícios mais complexos. Para isso seriam necessários vários exemplos e testes para assegurar o correto funcionamento do processo de *machine learning*.



Obtenção de resultados e gráficos através da aplicação, visto que neste momento a aplicação apenas captura e armazena os dados, ficando então nas mãos do utilizador o tratamento dos dados e posterior interpretação gráfica.

Observar um número maior de atletas, principalmente com características diferentes como o pé dominante. E continuar o acompanhamento a ver se é possível criar um padrão para prevenir lesões e poder seguir o desenvolvimento do jogador.



## 6 Referências

- adidas SMART BALL - White* / *adidas US* (no date). Available at: <https://www.adidas.com/us/smart-ball/G83963.html> (Accessed: 2 June 2018).
- Aggarwal, P. *et al.* (2008) 'A Standard Testing and Calibration Procedure for Low Cost MEMS Inertial Sensors and Units', *Journal of Navigation*. Cambridge University Press, 61(02), pp. 323–336. doi: 10.1017/S0373463307004560.
- Alahakone, A. U. and Senanayake, S. M. N. A. (2009) 'A Real Time Vibrotactile Biofeedback System for Improving Lower Extremity Kinematic Motion during Sports Training', in *2009 International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition*. IEEE, pp. 610–615. doi: 10.1109/SoCPaR.2009.120.
- Bachynski, K. E. (2012) 'Playing hockey, riding motorcycles, and the ethics of protection.', *American journal of public health*. American Public Health Association, 102(12), pp. 2214–20. doi: 10.2105/AJPH.2012.300721.
- Baker, D. A. (2016) 'The "Second Place" Problem: Assistive Technology in Sports and (Re) Constructing Normal', *Science and Engineering Ethics*. Springer Netherlands, 22(1), pp. 93–110. doi: 10.1007/s11948-015-9629-1.
- Bassett, S. F. (2003) 'The assessment of patient adherence to physiotherapy rehabilitation', *NZ Journal of Physiotherapy* – July, 31(2). Available at: <https://www.researchgate.net/publication/284411604> (Accessed: 2 June 2018).
- Bateni, H. (2012) 'Changes in balance in older adults based on use of physical therapy vs the Wii Fit gaming system: a preliminary study.', *Physiotherapy*. Elsevier, 98(3), pp. 211–6. doi: 10.1016/j.physio.2011.02.004.
- Bekris, E. *et al.* (2012) 'Proprioception and balance training can improve amateur soccer players' technical skills', *Journal of Physical Education and Sport*, 12, pp. 81–89.
- Burkett, B. (2010) 'Technology in Paralympic sport: performance enhancement or essential for performance?', *British Journal of Sports Medicine*. British Association of Sport and Exercise Medicine, 44(3), pp. 215–220. doi: 10.1136/bjism.2009.067249.
- Carr, C. L. (2008) 'Fairness and Performance Enhancement in Sport', *Journal of the Philosophy of Sport*. Taylor & Francis Group, 35(2), pp. 193–207. doi: 10.1080/00948705.2008.9714738.
- Casamassima, F. *et al.* (2014) 'A Wearable System for Gait Training in Subjects with Parkinson's Disease', *Sensors*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 14(4), pp. 6229–6246. doi: 10.3390/s140406229.
- Chambers, R. *et al.* (2015) 'The Use of Wearable Microsensors to Quantify Sport-Specific Movements', *Sports Medicine*. Springer International Publishing, 45(7), pp. 1065–1081. doi: 10.1007/s40279-015-0332-9.

- Collins, H. and Evans, R. (2008) 'You cannot be serious! Public understanding of technology with special reference to "Hawk-Eye"', *Public Understanding of Science*. SAGE PublicationsSage UK: London, England, 17(3), pp. 283–308. doi: 10.1177/0963662508093370.
- Collins, H. and Evans, R. (2012) 'Sport-decision aids and the "CSI-effect": Why cricket uses Hawk-Eye well and tennis uses it badly', *Public Understanding of Science*. SAGE PublicationsSage UK: London, England, 21(8), pp. 904–921. doi: 10.1177/0963662511407991.
- Crowell, H. P. *et al.* (2010) 'Reducing Impact Loading During Running With the Use of Real-Time Visual Feedback', *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. JOSPT, Inc. JOSPT, 1033 North Fairfax Street, Suite 304, Alexandria, VA 22134-1540 , 40(4), pp. 206–213. doi: 10.2519/jospt.2010.3166.
- Dai, J. *et al.* (2010) 'Mobile phone-based pervasive fall detection', *Personal and Ubiquitous Computing*. Springer-Verlag, 14(7), pp. 633–643. doi: 10.1007/s00779-010-0292-x.
- Dvorak, J. *et al.* (2004) 'Editorial', *The American Journal of Sports Medicine*, 32(1\_suppl), pp. 3–4. doi: 10.1177/0363546503262283.
- Dyer, B. (2015) 'The controversy of sports technology: a systematic review', *SpringerPlus*. Nature Publishing Group, 4(1), p. 524. doi: 10.1186/s40064-015-1331-x.
- Dyer, B. T. J. *et al.* (2010) 'The design of lower-limb sports prostheses: fair inclusion in disability sport', *Disability & Society*, 25(5), pp. 593–602. doi: 10.1080/09687599.2010.489309.
- Edis, Ç., Vural, F. and Vurgun, H. (2016) 'The Importance of Postural Control in Relation to Technical Abilities in Small-Sided Soccer Games', *Journal of Human Kinetics*, 53(1), pp. 51–61. doi: 10.1515/hukin-2016-0010.
- Ekstrand, J., Hägglund, M. and Waldén, M. (2011) 'Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study.', *British journal of sports medicine*. British Association of Sport and Exercise Medicine, 45(7), pp. 553–8. doi: 10.1136/bjism.2009.060582.
- El-Diasty, M. and Pagiatakis, S. (2008) 'Calibration and Stochastic Modelling of Inertial Navigation Sensor Errors', *Journal of Global Positioning Systems*, 7(2), pp. 170–182. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.897.9389&rep=rep1&type=pdf> (Accessed: 2 June 2018).
- El-Sheimy, N., Hou, H. and Niu, X. (2008) 'Analysis and Modeling of Inertial Sensors Using Allan Variance', *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(1), pp. 140–149. doi: 10.1109/TIM.2007.908635.
- Elferink-Gemser, M. T. *et al.* (2015) 'Importance of Peak Height Velocity Timing in Terms of Injuries in Talented Soccer Players', *Article in International Journal of Sports Medicine*. doi: 10.1055/s-0034-1385879.

- Ellis, T. *et al.* (2011) ‘Which measures of physical function and motor impairment best predict quality of life in Parkinson’s disease?’, *Parkinsonism & related disorders*. Elsevier, 17(9), pp. 693–7. doi: 10.1016/j.parkreldis.2011.07.004.
- Fernando, C. K. and Basmajian, J. V. (1978) ‘Biofeedback in physical medicine and rehabilitation’, *Biofeedback and Self-Regulation*. Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers, 3(4), pp. 435–455. doi: 10.1007/BF00998946.
- Friedrich, M., Cermak, T. and Maderbacher, P. (1996) ‘The Effect of Brochure Use Versus Therapist Teaching on Patients Performing Therapeutic Exercise and on Changes in Impairment Status’, *Physical Therapy*. Oxford University Press, 76(10), pp. 1082–1088. doi: 10.1093/ptj/76.10.1082.
- Fung, V. *et al.* (2012) ‘Use of Nintendo Wii Fit™ in the rehabilitation of outpatients following total knee replacement: a preliminary randomised controlled trial.’, *Physiotherapy*. Elsevier, 98(3), pp. 183–8. doi: 10.1016/j.physio.2012.04.001.
- Le Gall, F. *et al.* (2006) ‘Incidence of Injuries in Elite French Youth Soccer Players’, *The American Journal of Sports Medicine*, 34(6), pp. 928–938. doi: 10.1177/0363546505283271.
- Gelberg, J. N. (1995) ‘The Lethal Weapon: How the Plastic Football Helmet Transformed the Game of Football, 1939-1994’, *Bulletin of Science, Technology & Society*. SAGE PublicationsSage CA: Los Angeles, CA, 15(5–6), pp. 302–309. doi: 10.1177/0270467695015005-612.
- Giggins, O. M., Sweeney, K. T. and Caulfield, B. (2014) ‘Rehabilitation exercise assessment using inertial sensors: a cross-sectional analytical study’, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. BioMed Central, 11(1), p. 158. doi: 10.1186/1743-0003-11-158.
- Goetz, C. G. *et al.* (2007) ‘Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson’s Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): Process, format, and clinimetric testing plan’, *Movement Disorders*. Wiley-Blackwell, 22(1), pp. 41–47. doi: 10.1002/mds.21198.
- Hangai, M. *et al.* (2009) ‘Lumbar Intervertebral Disk Degeneration in Athletes’, *The American Journal of Sports Medicine*, 37(1), pp. 149–155. doi: 10.1177/0363546508323252.
- van Hilvoorde, I., Vos, R. and de Wert, G. (2007) ‘Flopping, Klapping and Gene Doping’, *Social Studies of Science*. Sage PublicationsSage CA: Thousand Oaks, CA, 37(2), pp. 173–200. doi: 10.1177/0306312706063784.
- Huang, H., Wolf, S. L. and He, J. (2006) ‘Recent developments in biofeedback for neuromotor rehabilitation’, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. BioMed Central, 3(1), p. 11. doi: 10.1186/1743-0003-3-11.
- Hummel, R. L. and Foster, G. S. (1986) ‘A Sporting Chance: Relationships Between Technological Change and Concepts of Fair Play in Fishing’, *Journal of Leisure Research*. Routledge, 18(1), pp. 40–52. doi: 10.1080/00222216.1986.11969644.

- Hutzler, Y. (2008) 'Ethical Considerations in Adapted Physical Activity Practices', *Sport, Ethics and Philosophy*. Routledge , 2(2), pp. 158–171. doi: 10.1080/17511320802222073.
- Iwamoto, J. *et al.* (2004) 'Relationship between Radiographic Abnormalities of Lumbar Spine and Incidence of Low Back Pain in High School and College Football Players', *The American Journal of Sports Medicine*, 32(3), pp. 781–786. doi: 10.1177/0363546503261721.
- Jiang, C. *et al.* (2012) 'Signal Processing of MEMS Gyroscope Arrays to Improve Accuracy Using a 1st Order Markov for Rate Signal Modeling', *Sensors*. Molecular Diversity Preservation International, 12(2), pp. 1720–1737. doi: 10.3390/s120201720.
- Josefsson, T. (1999) 'Motion Analysis System'. Available at: <https://patents.google.com/patent/US6437820B1/en> (Accessed: 2 June 2018).
- Kos, A., Tomažič, S. and Umek, A. (2016) 'Suitability of smartphone inertial sensors for real-time biofeedback applications', *Sensors (Switzerland)*, 16(3). doi: 10.3390/s16030301.
- Kostopoulos, N. *et al.* (2012) 'The effect of a balance and proprioception training program on amateur basketball players' passing skills.', *Physical Education and Sport*, 12, pp. 316–323.
- Lange, B. *et al.* (2011) 'Development and evaluation of low cost game-based balance rehabilitation tool using the microsoft kinect sensor', in *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, pp. 1831–1834. doi: 10.1109/IEMBS.2011.6090521.
- Lieberman, J. . and Breazeal, C. . (2007) 'TIKL: Development of a Wearable Vibrotactile Feedback Suit for Improved Human Motor Learning', *IEEE Transactions on Robotics*, 23(5), pp. 919–926. doi: 10.1109/TRO.2007.907481.
- Miah, A. (2005) 'From anti-doping to a "performance policy" sport technology, being human, and doing ethics', *European Journal of Sport Science*. Taylor & Francis Group , 5(1), pp. 51–57. doi: 10.1080/17461390500077285.
- Miah, A. (no date) "'New balls please": Tennis, technology, and the changing game'. Available at: <https://philpapers.org/rec/MIANBP> (Accessed: 2 June 2018).
- Mobile Operating System Market Share Portugal | StatCounter Global Stats* (no date). Available at: <http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/portugal/#monthly-200901-201802> (Accessed: 3 June 2018).
- Mobile Operating System Market Share Worldwide | StatCounter Global Stats* (no date). Available at: <http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide/#monthly-200901-201802> (Accessed: 3 June 2018).

- Nafziger, J. A. R. (2004) 'AVOIDING AND RESOLVING DISPUTES DURING SPORTS COMPETITION: OF CAMERAS AND COMPUTERS'. Available at: [http://heinonline.org/hol-cgi-bin/get\\_pdf.cgi?handle=hein.journals/mqslr15&section=8](http://heinonline.org/hol-cgi-bin/get_pdf.cgi?handle=hein.journals/mqslr15&section=8) (Accessed: 2 June 2018).
- Nilsagard, Y. E., Forsberg, A. S. and von Koch, L. (2013) 'Balance exercise for persons with multiple sclerosis using Wii games: a randomised, controlled multi-centre study', *Multiple Sclerosis Journal*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 19(2), pp. 209–216. doi: 10.1177/1352458512450088.
- Nlandu, T. (2012) 'The Fallacies of the Assumptions Behind the Arguments for Goal-Line Technology in Soccer', *Sport, Ethics and Philosophy*. Routledge, 6(4), pp. 451–466. doi: 10.1080/17511321.2012.745896.
- Norris, C. (2011) 'Sport, Craft Or Technique? The Case of competitive aeromodelling', *Sport, Ethics and Philosophy*. Routledge, 5(2), pp. 124–148. doi: 10.1080/17511321.2010.536958.
- Paillard, T. and Noé, F. (2006) 'Effect of expertise and visual contribution on postural control in soccer', *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. Wiley/Blackwell (10.1111), 16(5), pp. 345–348. doi: 10.1111/j.1600-0838.2005.00502.x.
- Pickering Francis, L. (2005) 'Competitive Sports, Disability, and Problems of Justice in Sports', *Journal of the Philosophy of Sport*. Taylor & Francis Group, 32(2), pp. 127–132. doi: 10.1080/00948705.2005.9714677.
- Pompeu, J. E. *et al.* (2012) 'Effect of Nintendo Wii™-based motor and cognitive training on activities of daily living in patients with Parkinson's disease: A randomised clinical trial', *Physiotherapy*, 98(3), pp. 196–204. doi: 10.1016/j.physio.2012.06.004.
- Prikhodko, I. P., Trusov, A. A. and Shkel, A. M. (2013) 'Compensation of drifts in high-Q MEMS gyroscopes using temperature self-sensing', *Sensors and Actuators A: Physical*. Elsevier, 201, pp. 517–524. doi: 10.1016/J.SNA.2012.12.024.
- Sadigursky, D. *et al.* (2017) 'The FIFA 11+ injury prevention program for soccer players: A systematic review', *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 9(1), pp. 1–8. doi: 10.1186/s13102-017-0083-z.
- Sandweiss, J. H. (1985) 'Biofeedback and Sports Science', in *Biofeedback and Sports Science*. Boston, MA: Springer US, pp. 1–31. doi: 10.1007/978-1-4757-9465-6\_1.
- Sato, T. *et al.* (2011) 'Low back pain in childhood and adolescence: assessment of sports activities', *European Spine Journal*, 20(1), pp. 94–99. doi: 10.1007/s00586-010-1485-8.
- SAVULESCU, J. (2006) 'Justice, Fairness, and Enhancement', *Annals of the New York Academy of Sciences*. Wiley/Blackwell (10.1111), 1093(1), pp. 321–338. doi: 10.1196/annals.1382.021.
- Schlachetzki, J. C. M. *et al.* (2017) 'Wearable sensors objectively measure gait parameters in Parkinson's disease', *PLoS ONE*, 12(10), pp. 1–18. doi: 10.1371/journal.pone.0183989.

- Schneider, J. *et al.* (2015) 'Augmenting the Senses: A Review on Sensor-Based Learning Support', *Sensors*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 15(2), pp. 4097–4133. doi: 10.3390/s150204097.
- Sheridan, H. (2006) 'Tennis Technologies: De-Skilling and Re-Skilling Players and the Implications for the Game', *Sport in Society*. Taylor & Francis Group, 9(1), pp. 32–50. doi: 10.1080/17430430500355782.
- Sigrist, R. *et al.* (2013) 'Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review', *Psychonomic Bulletin & Review*. Springer-Verlag, 20(1), pp. 21–53. doi: 10.3758/s13423-012-0333-8.
- Sigrist, R. *et al.* (2015) 'Sonification and haptic feedback in addition to visual feedback enhances complex motor task learning', *Experimental Brain Research*. Springer Berlin Heidelberg, 233(3), pp. 909–925. doi: 10.1007/s00221-014-4167-7.
- Singh, H. (2012) 'In Search of a Level Playing Field: Rules, Morals and the Jurisprudence of Sport.', *International Journal of Sport & Society*, 3(1), pp. 81–90. Available at: <https://web.a.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=21527857&AN=92734138&h=8iJBRy91ZSCL3R4jpmF54qzbyErLpx%2BjjJWfPotR3bqr%2FE9CEjbyDDVGTUuwm7vfkPwuFTkwka2SkxfWKvkajg%3D%3D&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal> (Accessed: 2 June 2018).
- Svantesson, D. J. B. (2014) 'Could technology resurrect the dignity of the FIFA World Cup refereeing?', *Computer Law & Security Review*. Elsevier Advanced Technology, 30(5), pp. 569–573. doi: 10.1016/J.CLSR.2014.07.004.
- Tojima, M. and Torii, S. (2018) 'Difference in kick motion of adolescent soccer players in presence and absence of low back pain', *Gait and Posture*. Elsevier, 59(April 2017), pp. 89–92. doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.10.012.
- Top Countries by Smartphone Penetration & Users | Newzoo* (no date). Available at: <https://newzoo.com/insights/rankings/top-50-countries-by-smartphone-penetration-and-users/> (Accessed: 3 June 2018).
- Toulotte, C., Toursel, C. and Olivier, N. (2012) 'Wii Fit training vs. Adapted Physical Activities: which one is the most appropriate to improve the balance of independent senior subjects? A randomized controlled study', *Clinical Rehabilitation*. SAGE PublicationsSage UK: London, England, 26(9), pp. 827–835. doi: 10.1177/0269215511434996.
- Trabal, P. (2008) 'Resistance to Technological Innovation in Elite Sport', *International Review for the Sociology of Sport*. SAGE PublicationsSage UK: London, England, 43(3), pp. 313–330. doi: 10.1177/1012690208098255.



Tremblay, L. *et al.* (2012) 'Home-based balance training programme using Wii Fit with balance board for Parkinsons's disease: A pilot study', *Journal of Rehabilitation Medicine*, 44(2), pp. 144–150. doi: 10.2340/16501977-0922.

Tunca, C. *et al.* (2017) 'Inertial sensor-based robust gait analysis in non-hospital settings for neurological disorders', *Sensors (Switzerland)*, 17(4), pp. 1–29. doi: 10.3390/s17040825.

Vamplew, W. (2007) 'Playing with the rules: Influences on the development of regulation in sport', *The International Journal of the History of Sport*, 24(7), pp. 843–871. doi: 10.1080/09523360701311745.

Windolf, M., Götzen, N. and Morlock, M. (2008) 'Systematic accuracy and precision analysis of video motion capturing systems--exemplified on the Vicon-460 system.', *Journal of biomechanics*. Elsevier, 41(12), pp. 2776–80. doi: 10.1016/j.jbiomech.2008.06.024.