



# **Avaliação Biomecânica no ato de um lançamento de uma bola de Basquetebol**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

**Autor**

**Pedro Mourão Santos**

**Orientadores**

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Ana Paula Bettencourt Martins Amaro**

**Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Roseiro**

**Júri**

<b>Presidente</b>	<b>Professora Doutora Maria Augusta Neto</b> <b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b>
<b>Vogais</b>	<b>Professor Doutor Carlos José de Oliveira Pereira e Jorge Alcobia</b> <b>Professor Adjunto no Instituto superior de Coimbra</b>
<b>Orientador</b>	<b>Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins Amaro</b> <b>Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra</b>

**Coimbra, Junho, 2014**



Aos meus pais.



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar não posso deixar de agradecer aos meus pais *José Santos* e *Maria Mourão* pelos princípios que me transmitiram, pela amizade e pelo apoio e esforço que fizeram questão de realizar ao investir no meu futuro. A eles fica nesta tese o meu enorme agradecimento.

Agradeço

Aos meus amigos, pela amizade, compreensão, e pelo apoio incansável, principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos meus orientadores *Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Paula Bettencourt Martins Amaro* e *Prof. Dr. Luis Manuel Ferreira Roseiro*, pela amizade, e pela constante disponibilidade para me apoiar e orientar ao longo da realização desta tese.

À *Professora Cristina Ferreira* e a toda a equipa sub-16 feminina da Associação Académica de Coimbra por toda a disponibilidade e prontidão em participarem nesta dissertação, tal como à equipa de voleibol de desporto descolar da Escola Secundária Avelar Brotero e aos seus *Treinadores António Gomes e António Tendeiro*

Ao Eng. *Vitor Maranhã*, pelo apoio e tempo disponibilizado que me deu no ISEC.

A todos o meu mais sincero e profundo, obrigado.



## Resumo

No desporto em geral, o corpo humano é posto à prova das mais diversas formas. Embora a sua prática seja considerado um ato saudável, existem solicitações limite a que o corpo humano pode ser submetido. Nesses casos os benefícios do desporto podem transformar-se em problemas para a saúde do atleta. Nesta tese é realizada uma avaliação biomecânica de uma equipa de basquetebol durante a prática do mesmo. Esta avaliação incide principalmente na análise da exposição a vibração no sistema mão-braço, segundo a norma internacional ISO 5349. Os valores obtidos são comparados com valores de referência internacionais, indicados pela diretiva nº 2002/44/CE, atualmente em vigor em território nacional.

O método experimental adotado passou pela instrumentação de uma luva de desporto, nomeadamente com um acelerómetro colocado na mesma através de um encaixe produzido propositadamente, tendo sido adquiridos desta forma valores de aceleração para a avaliação da exposição à vibração. Foram ainda feitos uns ensaios a nível de voleibol e depois comparados com os de basquetebol.

Os principais resultados e conclusões deste trabalho indicam que, muito dificilmente são ultrapassados os valores diários recomendados de exposição à vibração. Sendo que, a ocorrência de impactos e vibrações conduz à alguma solicitação musculoesquelética, nomeadamente ao nível de braços, punhos e joelhos. Para exposição frequente e prolongada aos níveis de vibração, são referidos como prováveis efeitos negativos para a saúde destes atletas as lombociatalgias, hérnias discais, condromalácia patelar, síndrome de túnel cárpico, epicondilites e problemas vasculares.

Contudo a exposição dos praticante de basquetebol a estas condições não acontece e nem tanto é diária, devendo ser considerado um fator de recuperação, inerente ao período em que este não é exposto. No entanto ainda não existe muita informação para o cálculo deste fator, pelo que, não foi tomado em conta na presente avaliação.

**Palavras-chave:** Vibração Corpo Humano, Basquetebol, Saúde, Praticante



## Abstract

In sports, the human body is put to the test in many different ways. Although his practice is considered an healthy act, there are a limit to the solicitations that the human body can be subjected. In these cases the benefit of sport can turn into problems for the athlete's health. This thesis conducted a biomechanical evaluation of a basketball team during the practice of the same. This review focuses mainly on the assessment of exposure to vibration in the hand-arm system, according to international standard ISO 5349. The values obtained are compared with international benchmarks, indicated by directive No. 2002/44/EC currently in use in the country.

The experimental method adopted was the instrumentation of a sports glove, namely with accelerometers that is attached to it, which acquired acceleration values for the evaluation of exposure to vibration. It was made also some tests with some volleyball players and then the values were comparated with the ones on basketball.

The main results and conclusions of this experiment indicate that the recommended values of daily exposure to vibration are not exceeded. The occurrence of impacts and vibrations leads to high musculoskeletal solicitations of the athlete, especially at the arms, wrists and knees. For frequent and prolonged exposure to the vibrations and the effort presented in this work, are listed as probable negative effects on the health of the players, sciaticas, hernias, chondromalacia patella, carpal tunnel syndrome, epicondylitis and vascular problems.

However, the exposure of an basketball player is not happen and it is not daily rate, and should be considered a recovery factor in the period in which this athlete is not exposed. Nevertheless, there isn't much information to calculate this factor, so, it was not taken into account in this evaluation.

**Keywords** Human Vibration, Basketball, Health, Player



---

## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE TABELAS .....	xiii
SIMBOLOGIA E SIGLAS.....	xv
SIMBOLOGIA .....	xv
SIGLAS .....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Relevância do trabalho.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Contribuição do autor .....	3
1.4. Estrutura do trabalho.....	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	5
2.1. Noções teóricas sobre vibrações .....	5
2.2. Exposição do corpo humano a vibrações.....	8
2.3. Testes feitos a nível de vibrações no desporto.....	11
2.4. Efeitos provocados pela exposição à vibração .....	13
2.5. Avaliação da exposição humana à vibração .....	15
2.5.1. Vibrações no Sistema Mão-Braço .....	16
2.5.2. Limites segundo as normas e diretrizes internacionais .....	20
3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL .....	23
3.1. Metodologia .....	23
3.2. Equipamentos utilizados na aquisição de dados .....	27
3.2.1. Luva.....	27
3.2.2. Placas de Aquisição.....	28
3.2.3. Acelerómetro piezoelétrico .....	29
3.2.4. Chassis wireless NI WLS 9163 .....	30
3.3. Aquisição e processamento de dados.....	31
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	34
4.1. Análise da exposição no sistema Mão-Braço .....	34
4.1.1. Análise de exposição no sistema VMB para o piso com caixa-de-ar.....	34
4.1.2. Análise de exposição no sistema VMB para o piso sem caixa-de-ar.....	47
4.1.3. Comparação entre os dois tipos de piso .....	49
4.2. Comparação entre o Voleibol e o Basquetebol.....	51
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	53
5.1. Sugestões Futuras para outros Trabalhos.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Campo de Basquetebol e as suas dimensões globais e marcações ( <a href="http://avaedfisica.pbworks.com/w/page/6366435/Basquetebol">http://avaedfisica.pbworks.com/w/page/6366435/Basquetebol</a> ) .....	1
Figura 2.1 - Parâmetros característicos de um sinal vibratório (diretiva 2002/44/CE) .....	6
Figura 2.2 - Decomposição de sinal vibratório através da aplicação de transformada rápida de Fourier (FFT) (Costa e Mathias, 2008). .....	7
Figura 2.3 - Representação geral das principais frequências de ressonância do corpo humano (Anflor, 2003).....	9
Figura 2.4 - Sistema de coordenadas utilizadas na avaliação da exposição à vibração no sistema mão-braço (ISO 5349-1, 2001) .....	17
Figura 2.5 - Curva de ponderação em frequência utilizado para avaliar o nível de vibração no sistema mão-braço (ISO 5349-1, 2001) .....	18
Figura 2.6 - Relação entre a exposição diária de vibração e o tempo, em anos (ISO 5349-1, 2001).....	20
Figura 3.1 - Bola usada nos ensaios .....	23
Figura 3.2 - Drible Normal .....	24
Figura 3.3 - Drible Baixo.....	24
Figura 3.4 - Lançamento.....	25
Figura 3.5 - Recepção .....	25
Figura 3.6 - Serviço .....	26
Figura 3.7 - Passe .....	26
Figura 3.8 - Remate .....	26
Figura 3.9 - Luva e encaixe feito em CNC para encaixar o acelerómetro .....	28
Figura 3.10 - Condicionador de sinal da National Instruments NI 9234 ( <a href="http://www.ni.com/products/pt/">http://www.ni.com/products/pt/</a> ).....	28
Figura 3.11 - Acelerómetro piezoelétrico ICP tri-axial ( <a href="http://www.bksv.com/">http://www.bksv.com/</a> ). .....	30
Figura 3.12 - Chassi wireless WLS 9163 da National Instruments. ( <a href="http://www.ni.com/products/pt/">http://www.ni.com/products/pt/</a> ).....	30
Figura 3.13 - Painel frontal de Labview .....	31
Figura 3.14 - Programa desenvolvido em LabVIEW destinado a gravação da aceleração em três dos canais do módulo 9234. ....	32
Figura 3.15 - Programa desenvolvido para a análise temporal da aceleração .....	33
Figura 4.1 - Médias de A(8) e Aceleração por exercício.....	37

Figura 4.2 - Comparação dos valores de RMS para cada exercício .....	38
Figura 4.3 - Comparação dos Valores de Fator de Crista para cada exercício.....	39
Figura 4.4 - Comparação dos Valores de Nível de Pico para cada exercício.....	40
Figura 4.5 – Média por posição dos Valores de RMS (X) – Mão Direita.....	41
Figura 4.6 - A(8) e Aceleração - Média dos exercícios para cada posição .....	42
Figura 4.7 - A(8) e Aceleração consoante cada exercício .....	43
Figura 4.8 - A(8) e Aceleração – Média dos exercícios consoante a posição, mão esquerda .....	44
Figura 4.9 - Relação do A(8) e da Aceleração para cada exercício.....	45
Figura 4.10 - Comparação entre os fatores de A(8) e de Aceleração entre a mão esquerda e a direita.....	46
Figura 4.11 - Média do A(8) e Aceleração para cada posição .....	48
Figura 4.12 - Comparação para os 2 pisos no exercício drible normal direito.....	50
Figura 4.13 - Comparação de parâmetros entre o Voleibol e o Basquetebol .....	51

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - - Frequências de ressonância das várias partes do corpo humano (Anflor, 2003).....	10
Tabela 2.2 - Normas em que são expostos os limites de vibração .....	16
Tabela 2.3 - Limites de exposição à vibração (Official Journal of the European Communities, 2002).....	21
Tabela 4.1 - Ficha de dados das atletas .....	35
Tabela 4.2 - Tempo de Exposição .....	35
Tabela 4.3 - Limites máximos do fator A(8) (ISO 5349-1, 2001) .....	36
Tabela 4.4 - Valores Máximos para a Aceleração (Vendrame, 2008) .....	36
Tabela 4.5 - Média do Índice de Massa Corporal para cada posição .....	37
Tabela 4.6 - Média antropométrica consoante cada posição .....	41
Tabela 4.7 - Comparação entre os 2 pisos para o exercício de drible normal direito .....	49
Tabela 4.8 - Diferenças dos parâmetros para o vôlei e basquete.....	52



---

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### SIMBOLOGIA

$\alpha_{hv}$  – Aceleração eficaz total ponderada em frequência

$\alpha_{rms,hw}$  – Aceleração eficaz ponderada em frequência para VMB

$\alpha_{hwx,hwy,hwz}$  – Acelerações eficazes ponderadas segundo os eixos (X, Y e Z)

$\alpha_{hw}(t)$  – Aceleração instantânea ponderada em frequência

$i$  – Exposição em análise

$n$  – Número de exposição com magnitudes distintas

$A(\mathbf{8})$  – Aceleração eficaz ponderada normalizada para um período de oito horas

$D$  – Número de anos de exposição

$T$  – Duração da medição

$T_i$  – Duração da exposição

$T_0$  – Período de referência de 8 horas

$W_h$  – Fator de ponderação em frequência para análise de VMB

### SIGLAS

FFT – Fast Fourier Transform

ICP® – Integrated Circuit Piezoelectric

IEPE – Integrated electronic piezoelectric accelerometers

rms – Root mean square

SVMB – Síndrome da vibração mão-braço

VCI – Vibração corpo inteiro

VCT – Vibração corpo todo

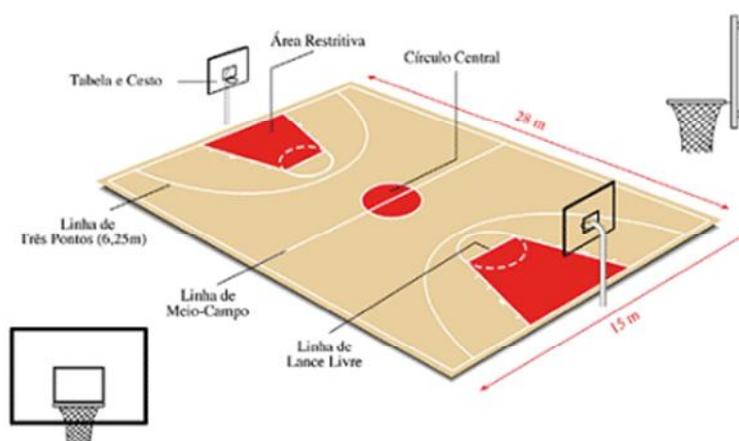
VMB – Vibração mão-braço



# 1. INTRODUÇÃO

O basquetebol é um desporto mundialmente conhecido praticado um pouco por todo o mundo por todas as faixas etárias, desde os 8 aos 80 anos. O basquetebol já conta com mais de um século de existência tendo sido inventado pelo professor de educação física James Naismith em 1891. O basquetebol é um desporto olímpico desde os Jogos Olímpicos de Berlim 1936 para os homens e de 1976 para as mulheres. Cada equipa pode apresentar até 12 elementos, em que 5 estão em jogo e 7 são suplentes. São 5 as posições em jogo, as quais podem ser agrupadas de forma simples em 3 posições: os bases que são os “cérebros” da equipa, são eles que saem a jogar e organizam a equipa, os extremos e os postes que são normalmente os mais fortes fisicamente.

O basquetebol pode ser praticado em todo o lado, tanto em ginásios como ao ar livre. A prática do basquetebol requer dos praticantes uma grande preparação física, pois o seu desempenho e resistência podem determinar o vencedor do jogo. Um jogo divide-se em quatro períodos com 10 minutos jogáveis cada um (com exceção da Liga Norte Americana (NBA) em que cada período tem 12 minutos). A figura 1.1 ilustra as dimensões globais e as marcações de um campo de Basquetebol.



**Figura 1.1** - Campo de Basquetebol e as suas dimensões globais e marcações (<http://avaedfisica.pbworks.com/w/page/6366435/Basquetebol>)

Tal como referido atrás, o basquetebol é um desporto mundialmente conhecido, tendo por isso despertado o interesse de alguns investigadores num melhor conhecimento do efeito da prática desta modalidade no bem-estar de cada atleta. Assim, já existem vários testes realizados sobre este desporto sendo a sua maioria direcionada para o estudo ao nível dos membros inferiores. Atendendo a que no sistema mão-braço não existem muitos estudos realizados, entendeu-se como adequado enquadrar este trabalho na avaliação biomecânica de uma equipa de basquetebol, em particular a exposição a vibrações induzidas no sistema mão-braço durante os treinos e os jogos associados à solicitação músculo-esquelética exigida neste desporto.

### **1.1. Relevância do trabalho**

De acordo com o referido no ponto anterior, e após uma revisão da literatura no que diz respeito ao impacto das vibrações induzidas na prática do basquetebol no corpo humano, verificou-se a carência de estudos direcionados para o sistema mão-braço. Os estudos sobre o impacto das vibrações no corpo humano têm vindo a alcançar particular atenção por parte da comunidade científica, particularmente a nível ocupacional. Assim, torna-se relevante efetuar estudos também noutras áreas como sendo a do desporto onde o impacto das vibrações pode ser igualmente prejudicial.

Estando um praticante de basquetebol normalmente exposto a vibrações e esforço físico na prática da sua atividade, seja esta de caráter profissional ou apenas como atividade de lazer, realizar um estudo experimental neste campo contribui para o enriquecimento do conhecimento científico.

### **1.2. Objetivos**

Os objetivos desta dissertação incluem para a prática de basquetebol:

- ✓ Enunciar efeitos da vibração no corpo humano e potenciais problemas de saúde;
- ✓ Identificar as principais fontes de transmissão de vibrações;
- ✓ Determinar e avaliar o impacto das vibrações sobre os praticantes;

- ✓ Quantificar os níveis de esforço associados à prática de basquetebol;
- ✓ Identificar os principais riscos que a prática do basquetebol pode ter para a saúde.

### **1.3. Contribuição do autor**

Com este estudo pretende-se quantificar os níveis de vibração induzidos no sistema mão-braço de um praticante de basquetebol. O conhecimento dos referidos valores permite fazer uma analogia entre os níveis de vibração ocupacionais aceitáveis definidos por normas internacionais e os valores a que um praticante de basquetebol pode estar exposto.

Este estudo pretende contribuir para que a investigação científica neste campo seja ampliada, possibilitando assim a evolução de tecnologia e equipamentos que possam, caso necessário, proteger a saúde do praticante deste desporto.

### **1.4. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos: introdução, fundamentação teórica, desenvolvimento experimental, apresentação e discussão de resultados, conclusões e sugestões para trabalhos futuros. Na introdução apresenta-se uma breve descrição do tema em estudo, realçando-se a justificação e relevância do trabalho, bem como os principais objetivos do mesmo. No capítulo da fundamentação teórica são descritos os conceitos de base, salientando a exposição do corpo humano a vibrações e eventuais efeitos sobre a saúde humana, realizando-se uma avaliação das vibrações no corpo inteiro (a título de curiosidade) e no sistema mão-braço com base na revisão da literatura. O capítulo três aborda o procedimento experimental, onde se descrevem em pormenor os equipamentos utilizados para a medição da vibração, e o modo como foi realizada a aquisição e tratamento dos dados. No capítulo quatro, é feita a apresentação e discussão dos resultados obtidos neste trabalho. No último capítulo expõem-se as conclusões e apresentam-se algumas sugestões para trabalhos futuros.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo é apresentado a fundamentação teórica que vai estar na base deste estudo.

### 2.1. Noções teóricas sobre vibrações

Segundo Fernandes (2000) um corpo está em vibração quando descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto de referência, sendo que o movimento da vibração pode ser regular (uma única frequência) ou irregular (várias frequências).

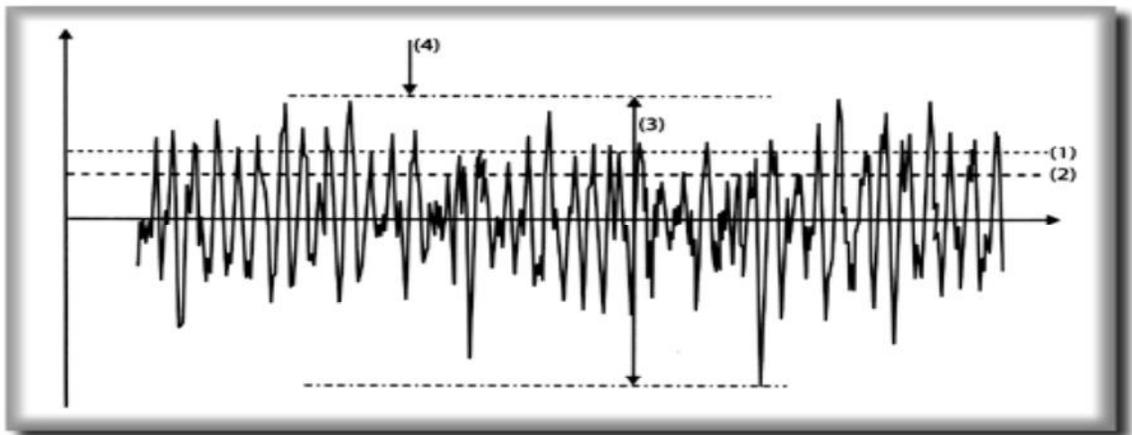
Saliba (2009) define vibração como “qualquer movimento que se repete regular ou irregularmente, depois de um intervalo de tempo” estando esta “inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade”.

Sendo assim e por aceção, todo o corpo dotado de massa e elasticidade está em vibração quando descreve um movimento oscilatório em torno de uma posição de referência ou de equilíbrio. A esse movimento, está associada uma troca alternada entre energia cinética e potencial. A frequência do movimento é referida como sendo o número de ciclos que o corpo completa em torno da posição de referência, durante um segundo, sendo expressa em Hertz [Hz].

A vibração de um corpo pode ser caracterizada de diferentes formas, nomeadamente através do deslocamento, velocidade ou da sua aceleração. Geralmente, a vibração é exibida em unidades métricas segundo as normas ISO, sendo comum caracterizar a vibração através da quantificação dos níveis de aceleração que lhe estão associados, em metros por segundo ao quadrado [ $m/s^2$ ]. No entanto, podem também ser utilizadas escalas logarítmicas em decibel [dB] quando se pretende analisar sinais vibratórios em que se verifiquem amplitudes de vibração com diferentes ordens de grandeza.

Para uma completa análise de um sinal vibratório, devem ser tidos em conta os seguintes parâmetros: valor de pico, valor médio, valor de pico-a-pico, valor “rms” (root mean square), fator de forma e fator de crista. O valor de pico corresponde ao valor máximo do sinal, tendo particular importância em análises de impacto de curta duração. O valor médio representa a média aritmética do sinal, sendo utilizado quando se pretende uma quantificação física da vibração num determinado período. O valor pico-a-pico caracteriza a amplitude máxima do movimento, tendo particular importância em elementos de máquina, onde as tensões geradas por amplitudes/deslocamentos vibratórios elevados podem comprometer o funcionamento dos mesmos. O valor “rms” ou valor eficaz representa a média quadrática do sinal, ou seja, a magnitude da energia contida no movimento vibratório. O fator de forma e fator de crista fornecem indicações sobre a homogeneidade do sinal vibratório, servindo como indicadores de picos anómalos resultantes de fenómenos que se repetem em intervalos regulares (Fernandes, 2000).

Na figura 2.1 estão representados os principais parâmetros para a caracterização de um sinal vibratório não periódico onde (1) indica o valor rms, (2) indica o nível médio, (3) indica o valor de pico a pico e (4) indica o valor de pico.



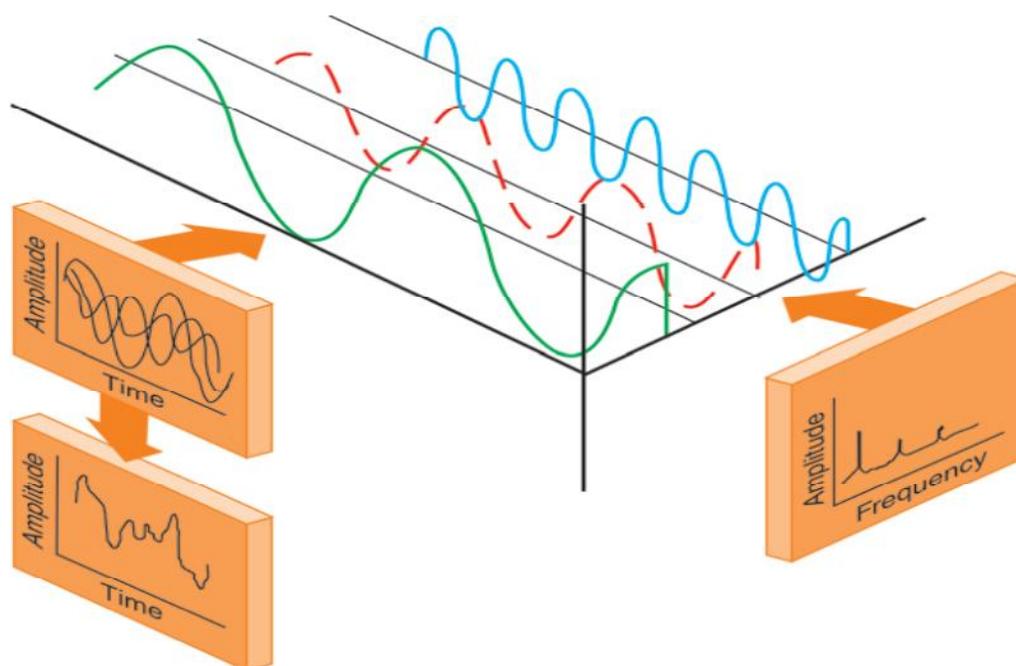
**Figura 2.1** - Parâmetros característicos de um sinal vibratório (diretiva 2002/44/CE)

O movimento vibratório de um corpo pode ocorrer numa única frequência, sendo nesse caso designado de movimento harmónico. Contudo, na maioria dos casos práticos, a vibração ocorre simultaneamente em várias frequências e de forma não periódica. Nesses casos a análise no domínio temporal (amplitude-tempo) pode não fornecer informação necessária pelo

que, usualmente, é utilizada uma análise em frequência (amplitude de vibração-frequência). A transferência, sem perda de informação, de um conjunto de dados do domínio do tempo para o domínio da frequência é possível graças a Jean Baptiste Joseph Fourier, matemático e físico francês do século XIX responsável por iniciar a investigação sobre a decomposição de funções periódicas em séries trigonométricas convergentes designadas por séries de Fourier.

Franchini (2007) afirma que a série de Fourier e a sua transformada rápida “devem, certamente estar entre as descobertas mais importantes do século XIX. Simples, mas extraordinária, a descoberta abriu um campo incrível e rico na matemática e nas aplicações em engenharia e ciência”.

Na figura 2.2 é apresentado de forma simplificada a decomposição de um sinal vibratório, não harmónico, nos vários harmónicos que constituem o sinal original, através da aplicação da transformada rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transform). Nesta mesma figura é ainda possível visualizar o espectro de frequência e associar uma frequência e amplitude a cada um dos sinais constituintes.



**Figura 2.2** - Decomposição de sinal vibratório através da aplicação de transformada rápida de Fourier (FFT) (Costa e Mathias, 2008).

## 2.2. Exposição do corpo humano a vibrações

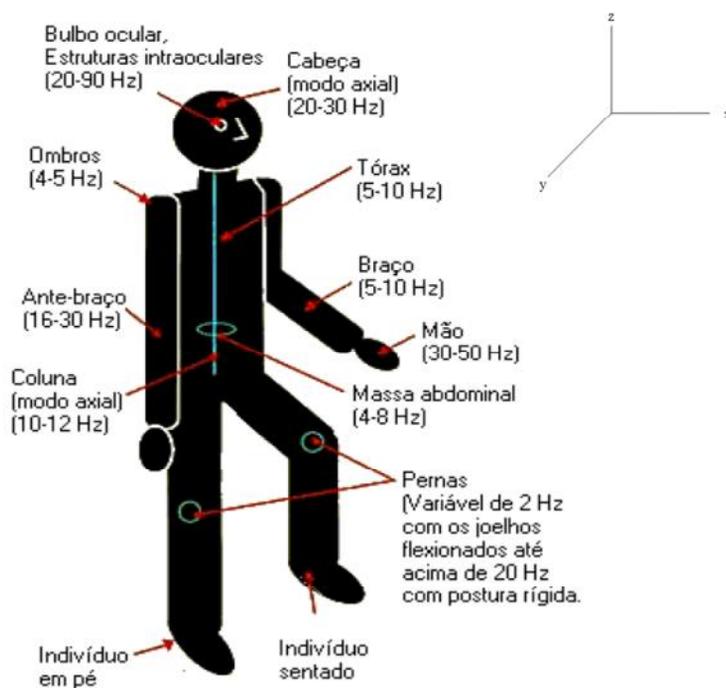
O corpo humano é um sistema complexo, tanto a nível físico como a nível biológico, sendo habitualmente simplificado num sistema biomecânico que incorpora componentes lineares e não lineares que diferem de pessoa para pessoa (Fernandes, 2000). Segundo Griffin (1990) quando se analisa o corpo humano relativamente às vibrações podemos considerá-lo como um sistema biomecânico.

“A biomecânica é a base da função musculoesquelética. Os músculos produzem forças que agem através de sistemas de alavancas ósseas. O sistema ósseo ou move-se ou age estaticamente contra uma resistência. O arranjo de fibras de cada músculo determina a quantidade de força que o músculo pode produzir e o comprimento no qual os músculos podem contrair-se. Dentro do corpo, os músculos são as principais estruturas controladoras da postura e do movimento. Contudo, ligamentos cartilagens e outros tecidos moles também ajudam no controle articular ou são afetados pela posição ou movimento” (Whiting e Zernicke *apud* Machado, 2004)

O funcionamento do corpo humano e todas as suas atividades envolvem alguma forma de vibração. De uma forma muito simples, os nossos sentidos são motivados por vibrações, pois ouve-se porque o tímpano vibra, vê-se porque existe propagação de ondas e a vibração das cordas vocais possibilita a fala. Até internamente o corpo humano necessita da vibração para funcionar, a respiração só é possível associada à vibração dos pulmões e os batimentos cardíacos associados à vibração do coração (Soeiro, 2011).

Segundo Tavares (2000) qualquer corpo possui uma ou mais frequências próprias de vibração, estas estão diretamente relacionadas com a massa do corpo e com a constituição química, física, forma e ajuste do mesmo. De uma forma simplificada a frequência própria de vibração de um corpo está relacionada com a sua massa e com a sua rigidez. O corpo humano expõe valores de frequência natural distintos para cada uma das suas partes. Quando um corpo ou um sistema é excitado a uma frequência, a qual seja a sua frequência natural, diz-se então que está em ressonância. A ressonância no meio mecânico leva qualquer estrutura, dependendo da sua magnitude de excitação, ao colapso. Quando em contacto com qualquer sistema mecânico externo ao corpo humano, este recebe vibrações de amplitudes e

frequências diversas. O corpo humano é considerado um sistema mecânico, porém um sistema heterogêneo, ou seja, formado por vários segmentos com faixas de frequências naturais distintas como apresentado na figura 2.3.



**Figura 2.3** - Representação geral das principais frequências de ressonância do corpo humano (Anflor, 2003)

Na tabela 2.1 apresenta-se as principais frequências de ressonância para cada parte do corpo humano.

**Tabela 2.1** - - Frequências de ressonância das várias partes do corpo humano (Anflor, 2003)

Posição	Parte do corpo	Direção da vibração	Escala de frequência de ressonância [Hz]
Deitado	Pés	X	16 – 31
	Joelhos	X	4 – 8
	Abdômen	X	4 – 8
	Tórax	X	6 – 12
	crânio	X	50 – 70
	Pés	Y	0,8 – 3
	Abdômen	Y	0,8 – 4
	Cabeça	Y	0,6 – 4
	Pés	Z	1 – 3
	Abdômen	Z	1,5 – 6
	Cabeça	Z	1 – 4
	Em pé	Joelhos	X
Ombros		X	1 - 2
Cabeça		X	1 – 2
Corpo inteiro		Z	4 – 7
Sentado	Tronco	Z	3 - 6
	Tórax	Z	4 – 6
	Espinha	Z	3 – 5
	Ombros	Z	2 – 6
	Estômago	Z	4 – 7
	Olhos	Z	20 – 25

As vibrações quando atingem o corpo humano podem propagar-se por diversos eixos e direções, nomeadamente a nível transversal (eixo x ou y - tórax e braços) e longitudinal (ao longo do eixo z - coluna vertebral).

Dependendo da zona do corpo submetida a vibrações, estas podem ser classificadas em dois tipos: vibração corpo inteiro (VCI) e vibração no sistema mão-braço (VMB).

As vibrações corpo inteiro são transmitidas a partir das superfícies de suporte tais como: os pés numa pessoa em pé; as costas, os pés e as nádegas para uma pessoa sentada. As VCI são de baixa frequência e elevada amplitude situando-se entre 1 e 80 (Hz). Quando o corpo é atingido por vibrações acima dos 80 Hz, outros fatores, tais como o ponto de aplicação, direção, posição, área e amortecimento do sítio atingido, têm uma maior influência na resposta da pele e tecidos a essa vibração (Fernandes, 2000); (ISO 2631, 1997).

As vibrações no sistema mão-braço são transmitidas a certas partes do corpo como mão e braços, sendo geralmente de baixa amplitude e frequências entre os 6,3 Hz e os 1250 Hz (ISO 5349, 2001). Nesta tese apenas se irá tratar vibrações no sistema mão-braço.

### **2.3. Testes feitos a nível de vibrações no desporto**

Segundo (Hunt, 2012) em 2011, na Liga Nacional de Hóquei (NHL), todos os guarda-redes (à exceção de dois) usaram sticks de madeira enquanto os outros usaram sticks de fibra de carbono. A razão para esta tendência é porque os guarda-redes não gostaram da vibração sentida pelos sticks de compósitos. O objetivo deste estudo consistiu em colocar um absorvente de vibração que eliminava as vibrações indesejadas nos sticks de compósitos melhorando a sensação para os guarda-redes. Os sticks de madeira são sólidos, tornando-os mais pesados que os de fibra de carbono, mas que vibram menos, daí a preferência pela madeira por parte dos guarda-redes. Para fazer os ensaios foi utilizado o método dos elementos finitos para obter os modos de vibração natural do stick, testes de flexão estática para fornecer perfis de carga e análise modal (estudo das propriedades dinâmicas sob excitação por vibrações) para obter as propriedades mecânicas. A análise modal mostrou que havia modos que combinavam flexão e torção. A força mais importante ocorre no local inferior da mão. Foram realizados três testes de amortecimento no stick.

No primeiro teste o stick foi apoiado por bandas de borracha num banco e um acelerómetro foi colocado na parte superior do dedo. Houve uma média de quatro impactos em cada stick. Este teste foi feito para adquirir uma taxa de amortecimento.

O segundo teste de amortecimento foi feito para adquirir uma taxa de decaimento, mostrando como a amplitude de vibração diminui com o tempo devido ao amortecimento. O stick foi suspenso entre o polegar e o dedo indicador usando elásticos. O stick foi largado rapidamente e assim que a lâmina bate no chão exerce vibração na mesma. A análise foi configurada segundo um espectro em cascata (modelo de desenvolvimento de software, na qual o desenvolvimento é visto como o fluir constante para a frente (cascata) através das fases de análise de requisitos, projeto, implementação, testes (validação), integração e software), em uma banda de oitava (espectro de frequências), 1/12, e o sinal gravado durante 10

segundos. O acelerómetro foi novamente colocado na parte superior do dedo é medido a aceleração do stick em função do tempo após o impacto com o chão.

O último teste de amortecimento foi analisar o sinal de amortecimento para frequências específicas. O stick foi suspenso em bandas de borracha como para o primeiro teste de amortecimento com o acelerómetro no dedo e o stick sofre o impacto através de um martelo. O sinal do acelerómetro foi filtrado em banda de oitava, 1/12, centradas em 200 HZ, 250 HZ e 315 HZ. Os resultados entre um stick de madeira e um em fibra de carbono, mostram que há mais amortecimento no stick de madeira que no de fibra de carbono, especialmente em frequências altas onde há 3 a 4 vezes mais amortecimento no stick de madeira. A taxa de decaimento é também maior para a madeira.

A solução encontrada foi colocar no stick de madeira um absorvente, que é uma inserção de borracha entre o ramo/pé e o eixo no stick do guarda-redes. Após compararem o stick com amortecimento com um sem amortecimento o feedback dos jogadores tem sido positivo e todos preferem o stick com amortecimento.

No caso do baseball (Russel, 2006) e sendo dolorosas sensações de picadas na mão de um jogador que segura o taco podem ser um impedimento para desfrutar do jogo, especialmente para jovens jogadores. Vários mecanismos para reduzir a vibração foram implementados em tacos de baseball com o intuito de reduzir a dor. Acontece principalmente em jogadores novos que sentem picadas maiores, o que pode levar em muitos casos ao abandono da prática desportiva.

Várias medidas foram tomadas ao longo dos anos para evitar estas picadas, entre elas testes de amortecimento em vários tipos de tacos. Russel chegou à conclusão que o melhor é usar luvas de borracha grossas para estas absorverem algumas vibrações e usar tacos de madeira, uma vez que os de alumínio tendem a doer mais que os tacos de madeira.

Quanto ao basquetebol apenas existiam testes a nível de vibrações para os membros inferiores, para calcular e explorar as forças de impacto e vibrações dos tecidos moles durante uma queda inesperada. Doze atletas foram instruídos para usar dois tipos de sapatos (com e sem amortecimento) para o contacto com o solo após um salto. Os resultados mostram que os sapatos influenciam as características da força de impacto e vibrações nos tecidos moles durante o salto. Contrariamente o sapato com fortes propriedades de

amortecimento pode reduzir substancialmente o impacto, tal como pode diminuir a frequência e as lesões a nível de joelhos, tornozelos e quadril.

## **2.4. Efeitos provocados pela exposição à vibração**

Na exposição humana à vibração deve-se ter em conta a amplitude e a frequência da vibração, o tempo de exposição e a suscetibilidade de cada pessoa (Rehn *et al.* 2002).

Segundo Braga (2007) os efeitos das vibrações no corpo humano atuam de uma forma gradual e, de acordo com a sua intensidade. A probabilidade de existência de lesões fisiológicas e patológicas aumenta com a intensidade e duração da exposição a vibrações. De acordo com o referido autor “Para baixos níveis de vibração haverá desconforto e redução da eficiência. Para altos níveis e longos períodos de exposição poderão ocorrer doenças que afetam os vasos sanguíneos e a circulação”.

Relativamente à vibração corpo inteiro (VCI) podem ocorrer enjoos, redução da capacidade visual, náuseas, aumento da frequência cardíaca, dores na região dorsal, lombar e pescoço, sendo estes problemas de saúde apresentados, muitas vezes, por condutores de veículos todo-o-terreno (Rehn, 2002).

Segundo Soeiro (2011) quando o corpo humano está diariamente exposto a vibrações excessivas, a curto ou longo prazo, estas vão prejudicar e deteriorar a saúde do indivíduo exposto, nomeadamente a nível do sistema nervoso. Alguns dos sinais e sintomas observados são a fadiga, tonturas, respiração irregular, sonolência, dor de cabeça e tremores. Estes efeitos acontecem, principalmente nos condutores de veículos expostos diariamente a vibrações.

Rehn (2002) concluiu que “a magnitude de exposição a vibrações de corpo inteiro é um resultado da combinação de vários fatores, como técnicas de operação, tipo de veículo, tipo de terreno e suspensão do assento. A vibração transmitida ao corpo todo num veículo é conduzida do assento, do encosto e do apoio de pés e pode ter um efeito adverso no sistema neuro-esquelético”. Ainda, no mesmo estudo, estes autores verificaram que a existência de sintomas músculo-esqueléticos no pescoço está muitas vezes associada aos planos (vertical e horizontal) em que ocorrem as vibrações, uma vez que são os músculos do pescoço que têm a função de manter o equilíbrio e realizar simultaneamente o trabalho de alavanca. De acordo

com Furness e Maschette (2009) “o produto da amplitude e frequência é a aceleração. A manipulação da amplitude ou frequência pode afetar a taxa de variação de VCT (aceleração) que atua num indivíduo”, visto que a posição espacial do corpo humano não é constante, é o sistema neuromuscular de cada pessoa que tem de perceber e controlar as mudanças de posição para otimizar a performance e o conforto do corpo humano durante a exposição VCI.

Heisler (2010) demonstrou através de estudos biodinâmicos que “ a exposição a VCT combinada com uma postura sentada forçada pode pôr o disco intervertebral lombar em risco de falha”. No mesmo estudo, os referidos autores mostraram que a exposição a VCT na postura sentada provoca um sobrecarga mecânica e excessiva fadiga muscular podendo afetar a coluna vertebral. No caso da condução de veículos todo-o-terreno em posição sentada, o condutor, involuntariamente, inclina-se para a frente, fazendo flexão excessiva dos braços, o que obriga a uma atividade muscular estática por parte de toda a área do pescoço e ombros, com a finalidade de manter o peso da cabeça numa posição neutra. Esta posição conduz à referida fadiga quando o tempo de exposição é excessivo, Rehn (2002) e Heisler (2010). Já anteriormente, estes autores, num estudo realizado em condutores profissionais de todo-o-terreno provaram que a ocorrência de distúrbios músculo-esqueléticos no pescoço, ombros e parte cervical prevalecia em duas ou três vezes mais neste grupo de condutores do que nos condutores que não usavam viaturas de todo-o-terreno (Rehn., 2002).

Na prática de basquetebol, as regiões do corpo onde articulações e músculos são mais afetados pelo efeito da vibração, impacto e esforço são: as mãos e joelhos, tornozelos e quadril. Ao nível dos joelhos, a flexão prolongada, juntamente com a força exercida pelos membros inferiores, leva a que exista um contato incorreto entre as cartilagens do joelho, podendo conduzir ao seu desgaste. Num estado inicial esse desgaste, é designado de condromalácia patelar, podendo evoluir até à fissuração da cartilagem, sendo nesses casos irreversível.

Autores como Soeiro (2011) referem que as vibrações no sistema mão-braço (VMB) afetam principalmente o sistema vascular, neurológico, osteoarticular e muscular. No caso de vibrações de frequência inferior a 30 Hz observam-se perturbações osteoarticulares nos punhos, cotovelos e ombros. Por outro lado os problemas vasculares são frequentes em frequências entre 40 Hz a 125 Hz, ocorrendo formigueiro, palidez, cianose e gangrena nas extremidades dos dedos, sendo a doença de Raynaud uma das doenças observadas. Esta

doença é, também, conhecida como doença dos “dedos brancos”, induzida por espasmos que provocam diminuição de circulação sanguínea com início nas extremidades dos dedos e que se podem propagar até à palma das mãos. Em concordância com este autor está Rehn (2002) que se refere ao conjunto de efeitos nocivos provocados pela VMB como sendo o Síndrome de Vibração Mão-Braço (SVMB). A VMB associada à condução de veículos todo-o-terreno tem sido conhecida como a causa de “dedos brancos”, perda temporária da força nas mãos e outros efeitos nas extremidades superiores, ocorrendo assim a síndrome dos dedos brancos ou doença de Raynaud (Heisler, 2010).

## **2.5. Avaliação da exposição humana à vibração**

De acordo com a literatura, os membros do corpo humano respondem de forma distinta a excitações vibratórias externas, sendo as frequências constituintes dessas vibrações um dos parâmetros principais a ter em conta. Assim, as frequências de 1 a 80-100 Hz (baixas frequências) são as mais prejudiciais para o corpo humano pois, como referido anteriormente, é nessa faixa que pode ocorrer ressonância das diferentes partes do corpo. Para frequências superiores não ocorre ressonância, contudo efeitos adversos sobre a saúde não devem ser subestimados, particularmente os danos no segmento mão-braço, que podem ocorrer para frequências entre 6,3 Hz e 1250 Hz com maior predomínio principalmente entre 30 Hz e 125 Hz. Outros fatores como a intensidade, direção, tempo de exposição e áreas de contacto com a fonte de vibração também devem ser considerados na avaliação da exposição à vibração (Anflor, 2003), (ISO 5349, 1979), (ISO 5349, 2001).

No que concerne à análise de vibração no corpo humano, foram expandidas ao longo dos anos normas internacionais com o objetivo de orientar e possibilitar uma metodologia prática uniforme, esperando-se com estas normas a obtenção de resultados prováveis e incentivar o seguimento da investigação nesta área. O estudo das vibrações é, segundo as normas e investigadores, ainda bastante ambíguo no que diz respeito ao estabelecimento de limites e de um procedimento experimental orientado. No entanto, constituem até ao momento, a melhor referência disponível.

Na tabela 2.2 são indicadas as normas internacionais utilizadas neste trabalho, relativas à avaliação da exposição humana à vibração, embora este trabalho incida sobre a vibração no sistema mão braço, fica aqui disponível como complemento as normas utilizadas em corpo inteiro.

**Tabela 2.2** - Normas em que são expostos os limites de vibração

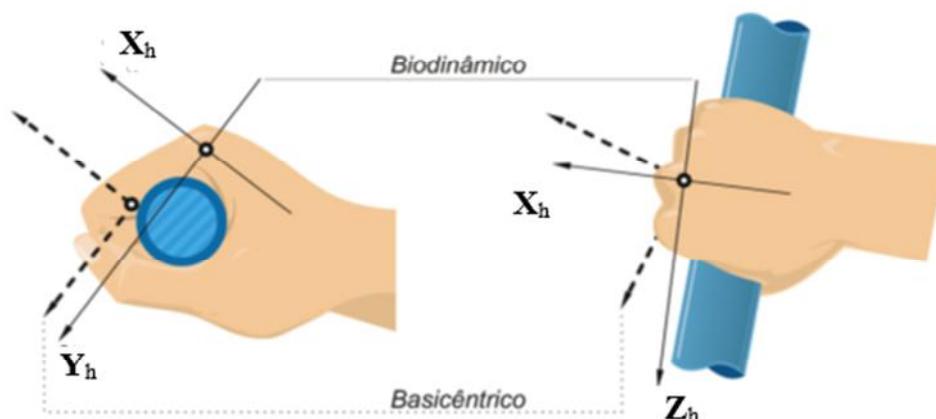
<b>Normas ISO (avaliação da exposição humana a vibrações)</b>	
<b>Vibração corpo inteiro</b>	ISO (2631) -Guia para avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro  ISO (2631-1) -Vibração mecânica e choque – Parte 1: Requisitos gerais
<b>Vibração mão-braço</b>	ISO (5349) -Guia para medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida à mão  ISO (5349-1) - Parte 1: Requisitos gerais  ISO (5349-2) - Parte 2: Guia prático para medição no local de trabalho

### **2.5.1. Vibrações no Sistema Mão-Braço**

As vibrações no sistema mão-braço têm sido, ao longo dos tempos, associadas a efeitos nocivos no corpo humano, havendo sobretudo documentação de casos a nível dos membros superiores (isto em trabalhos de maquinagem como, por exemplo, martelos pneumáticos e não a nível de basquetebol). Entre os vários sintomas relatados, os principais são referidos como a perda parcial da sensibilidade motora, distúrbios circulatórios e musculoesqueléticos. Estes sintomas são referidos na literatura como síndrome da vibração mão-braço ao qual está também fortemente associada a doença de Raynaud como referido anteriormente.

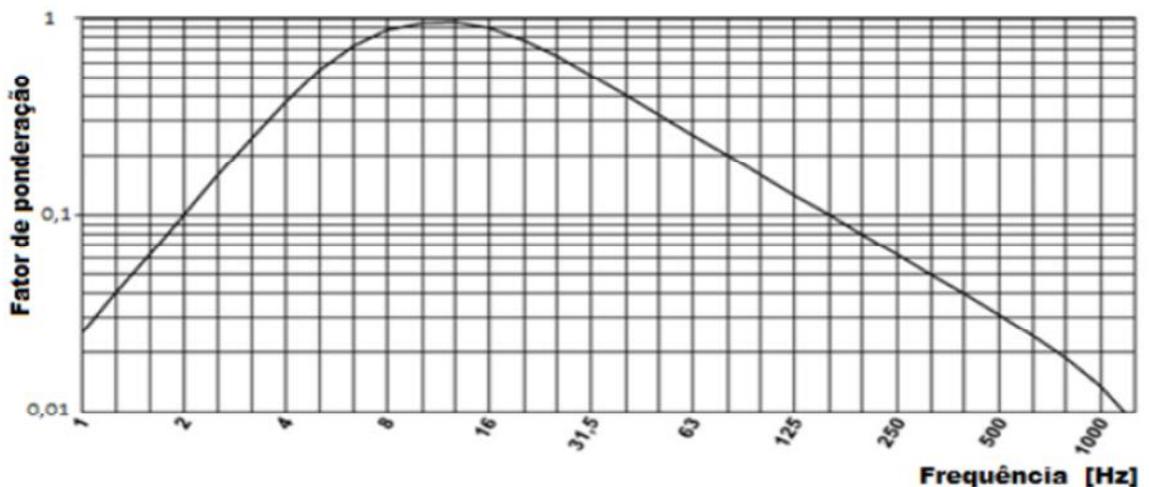
A norma ISO 5349 estabelece diretrizes na quantificação e avaliação da exposição à vibração no sistema mão-braço. Esta norma refere que os parâmetros a ter em conta devem ser a magnitude, o espectro de frequência, a duração de exposição e a duração de exposição acumulada. No entanto, nesta norma não são definidos limites de exposição, existindo apenas a indicação de uma relação dose-resposta para a qual existe uma probabilidade de 10% de aparecimento de dedos brancos. Esta norma aplica-se à vibração periódica, não periódica ou causal e, ainda, em excitações do tipo impacto. Faculta indicações para a medição de vibrações em faixas de um terço de oitava e uma oitava, com frequências centrais compreendidas entre 8 e 1000 Hz.

Segundo a norma ISO 5349-1 a medição da aceleração deve ser realizada tendo como referência um sistema de eixos ortogonais, podendo optar-se por um dos seguintes sistemas: Biodinâmico ou Basicêntrico. No sistema Biodinâmico, a cabeça do terceiro metacarpo é considerada como ponto de origem do sistema de eixos. No sistema basicêntrico, a origem do referencial está localizada na interface entre a mão e a superfície de transmissão de vibração. A orientação dos eixos, relativamente à mão, e o posicionamento da mesma, relativamente à superfície de vibração, é apresentado para cada um dos sistemas na figura 2.4.



**Figura 2.4** - Sistema de coordenadas utilizadas na avaliação da exposição à vibração no sistema mão-braço (ISO 5349-1, 2001)

Numa avaliação de exposição a vibração no sistema mão-braço a primeira grandeza a ser medida é a aceleração, que deve ser obtida segundo cada uma das direções, filtrada e ponderada em frequência. A ponderação em frequência é realizada com o objetivo de evidenciar frequências onde existe uma maior probabilidade de ocorrência de danos no segmento mão-braço. O fator de ponderação,  $w_h$ , em função da frequência da vibração é apresentado de forma gráfica na figura 2.5.



**Figura 2.5** - Curva de ponderação em frequência utilizado para avaliar o nível de vibração no sistema mão-braço (ISO 5349-1, 2001)

Como referido no início do capítulo a aceleração eficaz (rms) é o parâmetro mais adequado para quantificar a magnitude da vibração, devendo, segundo a norma (ISO 5349-1), ser determinado para cada um dos eixos e afetado pelo respetivo fator de ponderação em frequência. A aceleração eficaz ponderada em frequência,  $a_{rms,hw}$ , é determinada segundo cada um dos eixos coordenados pela equação 2.1.

$$a_{rms,hw} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_{hw}^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (2.1)$$

Onde:

$a_{rms,hw}$  - Aceleração eficaz ponderada em  $[m/s^2]$ , segundo cada um dos eixos ortogonais

$a_{hw}(t)$  - Aceleração instantânea, em  $[m/s^2]$ , ponderada em frequência

T - Duração da medição em segundos

A utilização da letra, h, serve exclusivamente, para indicar que a avaliação da exposição à vibração é referente ao sistema mão-braço.

Segundo esta norma o valor que deve ser utilizado na avaliação da exposição à vibração deve ser o valor total de aceleração  $a_{hv}$  expresso em  $[m/s^2]$ . Este valor pode ser determinado pela raiz quadrada da soma dos quadrados das acelerações eficazes ponderadas segundo cada um dos eixos x, y e z, respetivamente, como indicado na equação 2.2.

$$a_{hv} = (a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvwz}^2)^{1/2} \quad (2.2)$$

O valor de aceleração total,  $a_{hv}$ , pode ser normalizado para um período equivalente de oito horas  $A(8)$ , equação 2.3. Posteriormente, este valor pode ser utilizado para estimar a duração de exposição  $D$ , em anos, à qual corresponde uma probabilidade de 10% de ocorrência de dedos brancos. Na equação 2.3,  $T$  representa a duração diária de exposição à vibração e  $T_0$  o período normalizado de horas de trabalho, ou seja, oito horas.

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.3)$$

Sempre que a exposição à vibração seja o resultado cumulativo de várias exposições de magnitude e duração distintas, a exposição total equivalente  $A(8)$ , deve ser obtida pela seguinte equação.

$$A(8) = \sqrt{\frac{T}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 \times T_i} \quad (2.4)$$

Sendo  $i$  a exposição em análise,  $T_i$  a duração respetiva e  $n$  o número de exposições com características distintas.

A relação entre o valor  $A(8)$  e o número de anos de exposição  $D$  é definida pela equação 2.5 que é representada na figura 2.6 (tempo necessário para o aparecimento de dedos brancos, com 10% de probabilidades (ISO 5349-1, 2001)).

Esta relação será abordada no capítulo 5, aquando das conclusões do trabalho.

$$D = 31,8 \times [A(8)]^{-1,06} \quad (2.5)$$

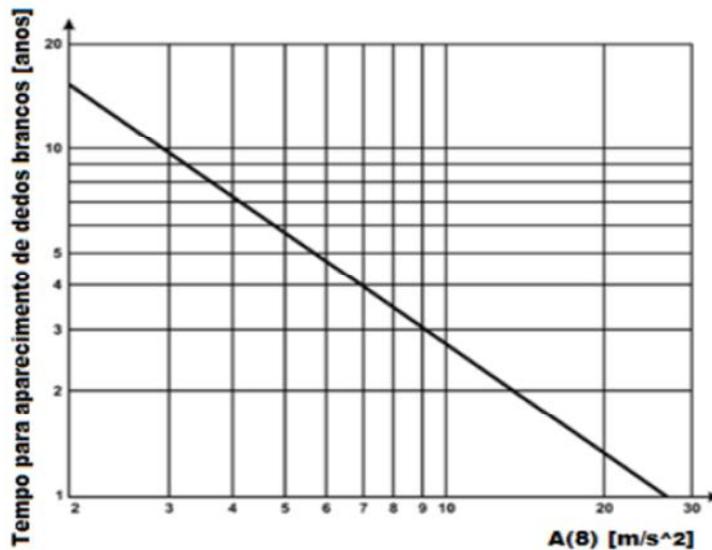


Figura 2.6 - Relação entre a exposição diária de vibração e o tempo, em anos (ISO 5349-1, 2001)

### 2.5.2. Limites segundo as normas e diretrizes internacionais

De acordo com o decreto lei nº 46/2006, do ministério de trabalho e da solidariedade social, publicado em diário de república, em território nacional os limites em vigor para exposição a vibração mecânica são estabelecidos de acordo com a diretiva nº 2002/44/CE do parlamento europeu, que estabelece os limites mínimos de segurança e saúde.

No referido decreto, “valor de ação de exposição”, define-se como valor a partir do qual é essencial adotar medidas precaucionais, “valor limite de exposição”, como o valor que não deve ser excedido, envolvendo a interrupção da exposição até regularização da situação. Estes valores são referentes à exposição de pessoas durante um período. De acordo com o decreto lei nº 46/2006, do ministério de trabalho e da solidariedade social, publicado em diário de república, em território nacional os limites em vigor para exposição a vibração mecânica são estabelecidos de acordo com a diretiva nº 2002/44/CE do parlamento europeu, que estabelece os limites mínimos de segurança e saúde apresentados na tabela 2.3.

**Tabela 2.3** - Limites de exposição à vibração (Official Journal of the European Communities, 2002)

	<b>Vibração corpo inteiro</b>	<b>Vibração mão-braço</b>
<b>Valor de ação de exposição diária</b>	$A(8) = 0,5 [m/s^2]$ $VDV = 9,1 [m/s^{1,75}]$	$A(8) = 2,5 [m/s^2]$
<b>Valor limite de exposição diária</b>	$A(8) = 1,15 [m/s^2]$ $VDV = 21 [m/s^{1,75}]$	$A(8) = 5,0 [m/s^2]$



### 3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo é apresentado a metodologia adotada bem como o equipamento utilizado para a realização do presente estudo.

#### 3.1. Metodologia

Neste trabalho pretendeu-se avaliar os níveis de vibração a que são expostos os praticantes de basquetebol. Deste modo, foi definido um protocolo de ensaios experimentais com o objetivo de abranger as mais diversas situações a que o praticante pode estar sujeito.

Para a realização deste estudo recorreu-se a uma equipa feminina, na categoria Sub-16, pertencente à Associação Académica de Coimbra. Após a competente recolha de autorizações dos encarregados de educação para participação no estudo, foram utilizadas 12 jogadoras com idades compreendidas entre os 12 e os 16 anos, cuja identidade é mantida anónima.

De modo a garantir a coerência dos testes, todos os ensaios foram executados com a mesma bola, uma Molten 6, com o peso de 450 g, diâmetro de 70 cm e com a pressão de 3,9 bar (figura 3.1).



Figura 3.1 - Bola usada nos ensaios

Atendendo a que o movimento típico na prática do basquetebol passa pelo batimento da bola no piso, foram considerados dois tipos de piso habitualmente usados na prática desta modalidade:

- Piso com caixa-de-ar;
- Piso sem caixa-de-ar.

Nos pisos referidos foram realizados alguns exercícios, entre eles, o drible normal, drible baixo, lançamento e receção. No piso com caixa-de-ar foram realizados os exercícios de drible para ambas as mãos, enquanto que no piso sem caixa-de-ar apenas foram realizados os exercício de drible normal e drible baixo com a mão. Com a mão esquerda não foi necessário realizar os ensaios neste piso uma vez que como apenas uma atleta era canhota os valores iriam dar semelhantes aos realizados no piso com caixa-de-ar.

Para cada ensaio cada atleta teve que colocar uma luva que tinha a si ligado um acelerómetro piezoelétrico. Esta luva foi de extrema importância para o trabalho pois sem ela teria sido muito mais difícil fazer a aquisição dos dados. Esta luva tem um encaixe aglutinado onde o acelerómetro encaixa. Esse encaixe foi projetado através de programação em CNC. No capítulo 3.2.1 encontra-se uma descrição mais pormenorizada da luva. O acelerómetro está ligado a uma placa de aquisição de dados, NI 9234, que se encontra posteriormente ligada a um Chassi wireless NI WLS 9163 cujo funcionamento vem descrito nos capítulos 3.2.2.1 e 3.2.4 respetivamente.

Depois do material ligado ao chassi é ligado a uma bateria que é a sua fonte de alimentação, e que permitiu realizar os ensaios pretendidos. O material era posteriormente colocado numa mochila que as atletas carregavam as costas. Cada ensaio realizado teve a duração de 150 segundos. Os resultados são enviados desde a placa de aquisição para o computador via *wireless*. Nas figuras seguintes, 3.2 a 3.5, são mostrados os exercícios efetuados pelas atletas.



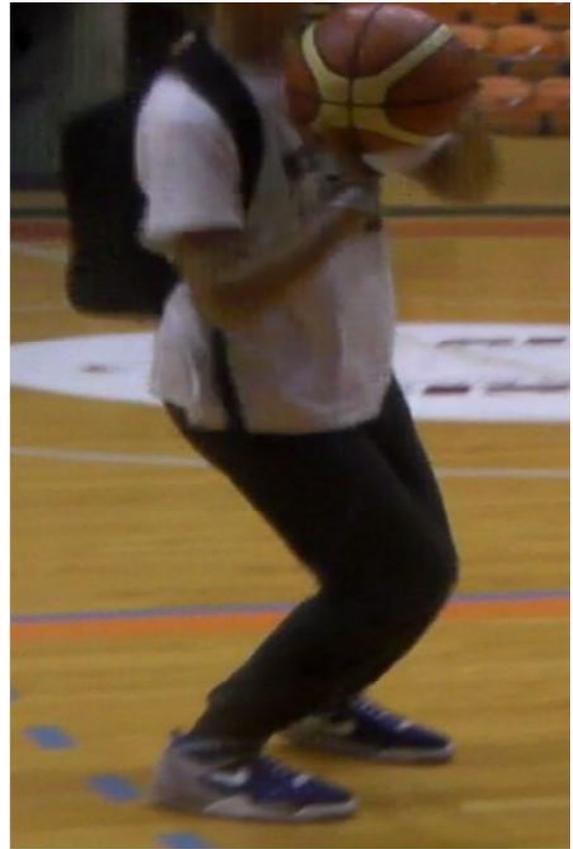
**Figura 3.3** - Drible Baixo



**Figura 3.2** - Drible Normal



**Figura 3.5 -** Recepção



**Figura 3.4 -** Lançamento

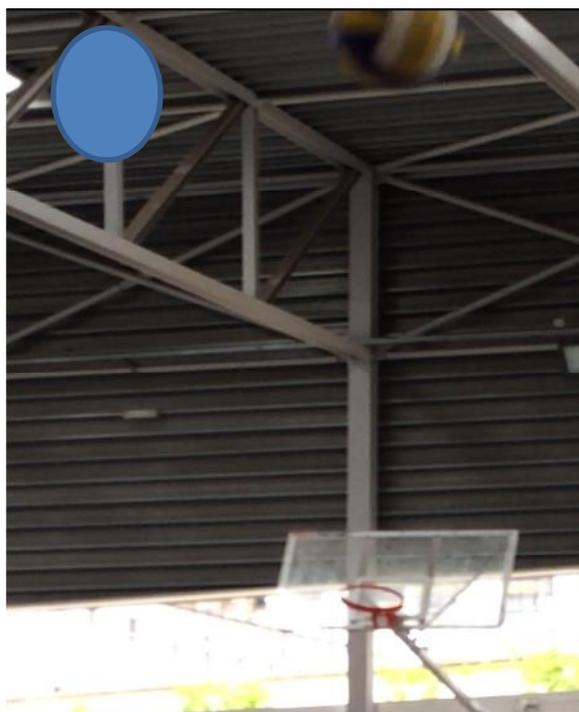
Como complemento foram realizados uns testes a nível do voleibol. Recorreu-se a atletas do desporto escolar da Escola Secundária Avelar Brotero. Foram realizados alguns testes em exercícios de voleibol entre eles, o remate, o passe e a recepção. Para a realização destes ensaios foram requeridos 4 atletas.

Os atletas colocaram a luva previamente ligada à placa e ao chassi. Estes ensaios não tiveram a duração de 150 segundos, mas sim de um certo número de repetições de cada exercício. O principal objetivo de fazer estes testes a níveis de voleibol é medir os fatores de amplitude, os níveis de pico e fator de crista expostos ao sistema mão braço e compará-los com os valores obtidos no basquetebol.

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Nas figuras 3.6 a 3.8 encontram-se os exercícios feitos a nível do voleibol.



Figura 3.6 - Serviço



O processamento dos dados foi



Figura 3.8 - Remate



Figura 3.7 - Passe

realizado com recurso a programas desenvolvidos em LabVIEW que se destinam à análise e cruzamento dos mesmos.

## **3.2. Equipamentos utilizados na aquisição de dados**

Neste subcapítulo serão descritos os equipamentos utilizados na aquisição de dados, sendo eles a luva, NI 9234, Chassi wireless NI WLS 9163 e acelerómetros ICP.

### **3.2.1. Luva**

A luva utilizada no presente estudo já tinha sido desenvolvida para um outro trabalho, mas com o mesmo propósito, que era colocar o acelerómetro em contacto com a mão que, neste caso, vai receber as vibrações transmitidas pela bola. Conforme o estudo que se queira fazer, o acelerómetro não é sempre colocado no mesmo sítio. Para o caso de se querer fazer um estudo de vibrações no corpo inteiro, se for para fazer medições de uma pessoa que esteja sentado este é colocado na superfície do assento, no encosto em que a pessoa está ou nos pés. Caso o acelerómetro seja para calcular as vibrações induzidas nos pés este é colocado próximo do local onde os pés estão a maioria do tempo. No caso de se pretender estudar o efeito numa pessoa que esteja deitada o acelerómetro tem que ser colocado na pélvis, costas ou cabeça.

No presente estudo o que se pretende é calcular a vibração no sistema mão-braço. Assim, a montagem do acelerómetro é muito importante e a sua correta/incorrecta colocação influencia significativamente os resultados das medições.

Antigamente quando se queria medir as vibrações no sistema mão-braço o acelerómetro era colocado num anel ou na própria máquina caso fosse esse o caso. Esta luva é uma luva de desporto normal em que foi feito um encaixe a partir de programação CNC que permite que o acelerómetro seja colocado e esteja em contacto com a pele, sendo os resultados obtidos mais exatos de acordo com o anteriormente referido. A figura seguinte mostra a luva e o seu encaixe.



Figura 3.9 - Luva e encaixe feito em CNC para encaixar o acelerômetro

### 3.2.2. Placas de Aquisição

#### 3.2.2.1. Placa de aquisição NI 9234

Esta placa é um condicionador de sinal dinâmico da série C, com quatro canais independentes, resolução 24-bits e faixa dinâmica 102 dB. Este módulo é apropriado para o processamento de sinais de áudio ou vibração de elevada precisão utilizando acelerômetros piezoelétricos IEPE e não IEPE. Este equipamento suporta taxas de aquisição por canal até 51,2 kS/s e possui filtros *antialiasing* integrados que se ajustam automaticamente à taxa de amostragem pretendida. A figura 3.10 ilustra o condicionador de sinal utilizado.



Figura 3.10 - Condicionador de sinal da National Instruments NI 9234 (<http://www.ni.com/products/pt/>).

### 3.2.3. Acelerómetro piezoelétrico

Para quantificar um nível de vibração são usualmente utilizados transdutores designados por acelerómetros piezoelétricos. Os acelerómetros piezoelétricos são formados por uma massa sísmica, por um cristal de quartzo ou cerâmico piezoelétrico e por uma base designada de corpo do acelerómetro. Quando submetido a níveis de vibração, com frequências inferiores à frequência natural do sistema, a aceleração da massa sísmica comprime/traciona o material piezoelétrico, que se encontra entre a massa e a base do acelerómetro. A magnitude dessa solicitação é proporcional ao produto da massa pela aceleração (este princípio corresponde à 2ª Lei de Newton). O cristal/cerâmico piezoelétrico ao ser solicitado produz entre as suas superfícies um sinal elétrico de magnitude proporcional a essa solicitação. Uma maior massa sísmica resulta numa maior força aplicada no material piezoelétrico o que, conseqüentemente, gera um maior sinal elétrico entre as suas superfícies. Nestes acelerómetros a faixa de frequências com sensibilidade constante (intervalo de frequências de utilização) é dependente da dimensão da massa sísmica. Neste trabalho são utilizados acelerómetros ICP®/IEPE (Integrated Circuit Piezoelectric/Integrated electronic piezoelectric accelerometers), Figura 3.11, indicados para medições de vibração e choque. Estes transdutores apresentam frequências naturais tipicamente superiores a 5 kHz. Nestes equipamentos encontram-se integrados microamplificadores eletrónicos que amplificam a tensão do sinal de saída para valores na ordem do milivolt. Estes microamplificadores são responsáveis por enfraquecer a perda de sensibilidade do sistema de aquisição, resultante do aumento de capacitância (relação entre a carga acumulada por um corpo e o seu correspondente potencial elétrico) dos cabos de transmissão. Estes aumentos podem ocorrer devido a deformações, mau contacto ou ainda por transmissão elevada de vibração para o cabo, resultando numa aquisição de sinal com elevado ruído.



Figura 3.11 - Acerómetro piezoelétrico ICP tri-axial (<http://www.bksv.com/>).

#### 3.2.4. Chassis wireless NI WLS 9163

O chassi *wireless* é um *hardware* que permite transferir, via wireless os valores obtidos durante as medições, eliminando desta forma limitações físicas no processo de aquisição. Este chassi permite a conexão direta, da quase totalidade, dos módulos da série C da National Instruments permitindo, assim, aquisições com diversos sensores tais acelerómetros, extensómetros, células de carga e termopares.

Neste trabalho foram utilizados em simultâneos dois chassis WLS 9163, figura 3.12, um dos quais, é conectado ao módulo NI 9234 que condiciona o sinal de cada um dos três canais do acelerómetro ICP®.



Figura 3.12 - Chassi wireless WLS 9163 da National Instruments. (<http://www.ni.com/products/pt>)

### 3.3. Aquisição e processamento de dados

Tal como referido no capítulo 3.2 a aquisição do sinal primário, aceleração, é realizada com recurso a módulos de condicionamento de sinal da National Instruments. Estes equipamentos permitem uma interação direta com a programação em LabVIEW. Nesta dissertação foram usados programas que já haviam sido desenvolvidos para um outro trabalho.

Na figura 3.13 é apresentado o painel principal do programa, onde se podem identificar três opções de aquisição e uma de análise, embora neste trabalho só tenha sido necessária a primeira opção.

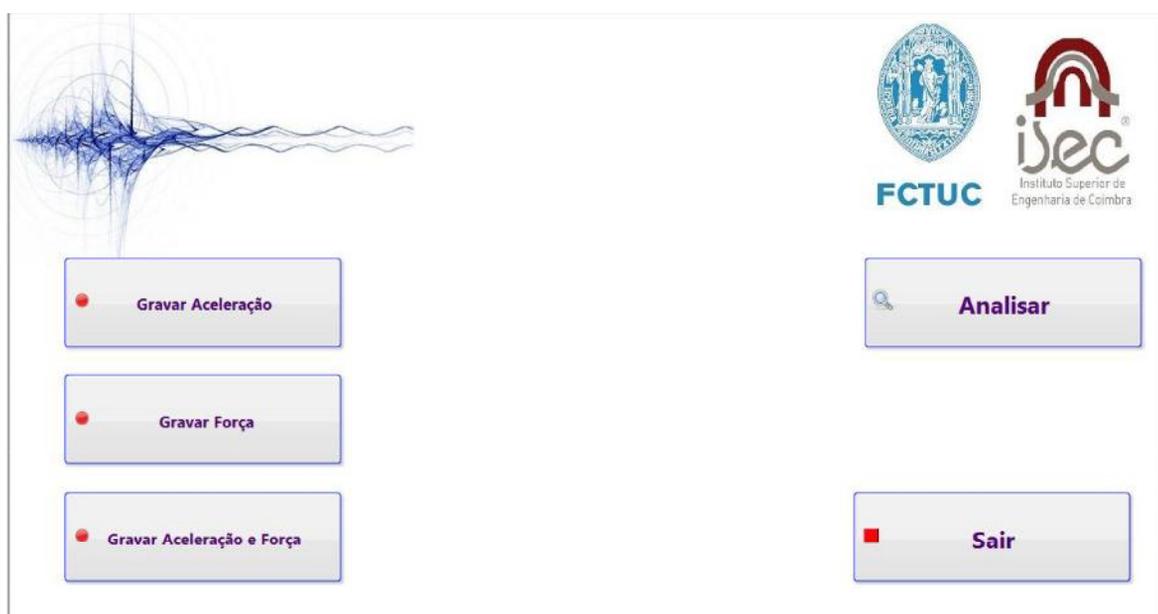


Figura 3.13 - Painel frontal de Labview

Relativamente à gravação da aceleração o programa desenvolvido, figura 3.14, permite definir a taxa de aquisição do módulo NI 9234, o número de amostras recolhidas, por canal em cada segundo de medição e visualizar a aceleração instantânea em cada um dos eixos coordenados.

De acordo com a medição efetuada (mão-braço) o programa permite aplicar a cada um dos eixos o respetivo valor de ponderação em frequência, e determinar o seu valor momentâneo de aceleração eficaz ponderada (equação 2.1 do capítulo 2.5.1).

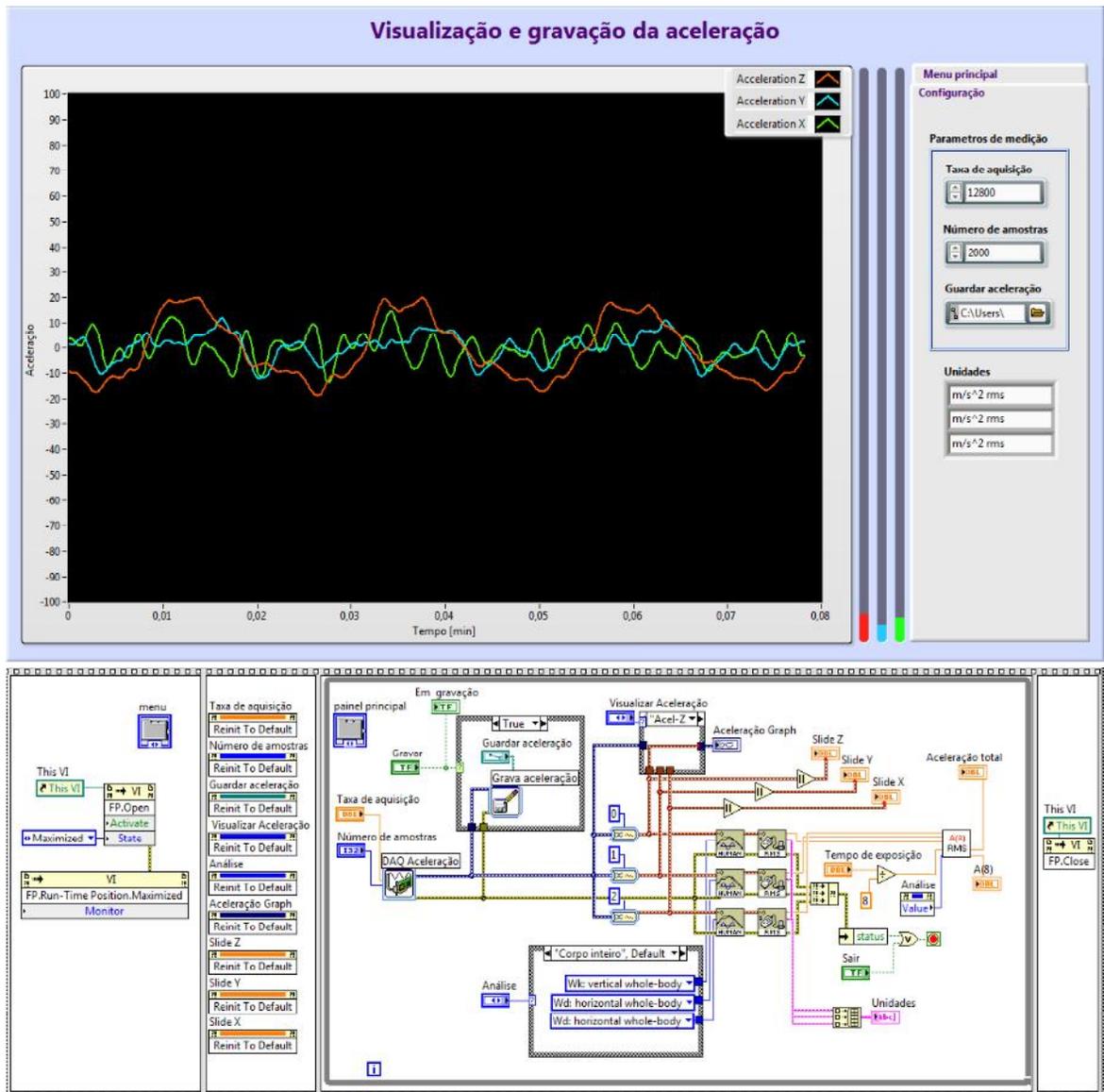


Figura 3.14 - Programa desenvolvido em LabVIEW destinado a gravação da aceleração em três dos canais do módulo 9234.

A opção de análise de resultados encontra-se dividida em análise de esforços e análise de aceleração, que por sua vez, está subdividida em análise temporal, análise em frequência e análise em bandas de oitava. Esta parte do programa, análise da aceleração, está diretamente relacionada com o que foi exposto nos subcapítulos 2.5.1 relativamente à análise de vibração no sistema mão-braço.

A análise temporal (única a ser feita), figura 3.15, permite visualizar a evolução temporal de aceleração recolhida em cada um dos eixos, identificar valores

extremos, níveis de pico e fatores de crista. Permite, ainda, afetar os valores de aceleração com o respetivo fator de ponderação em frequência de acordo com o tipo de estudo em questão (mão-braço/corpo inteiro) e determinar os valores de aceleração total eficaz ponderada em frequência e  $A(8)$ , definida no subcapítulo 2.5.1.

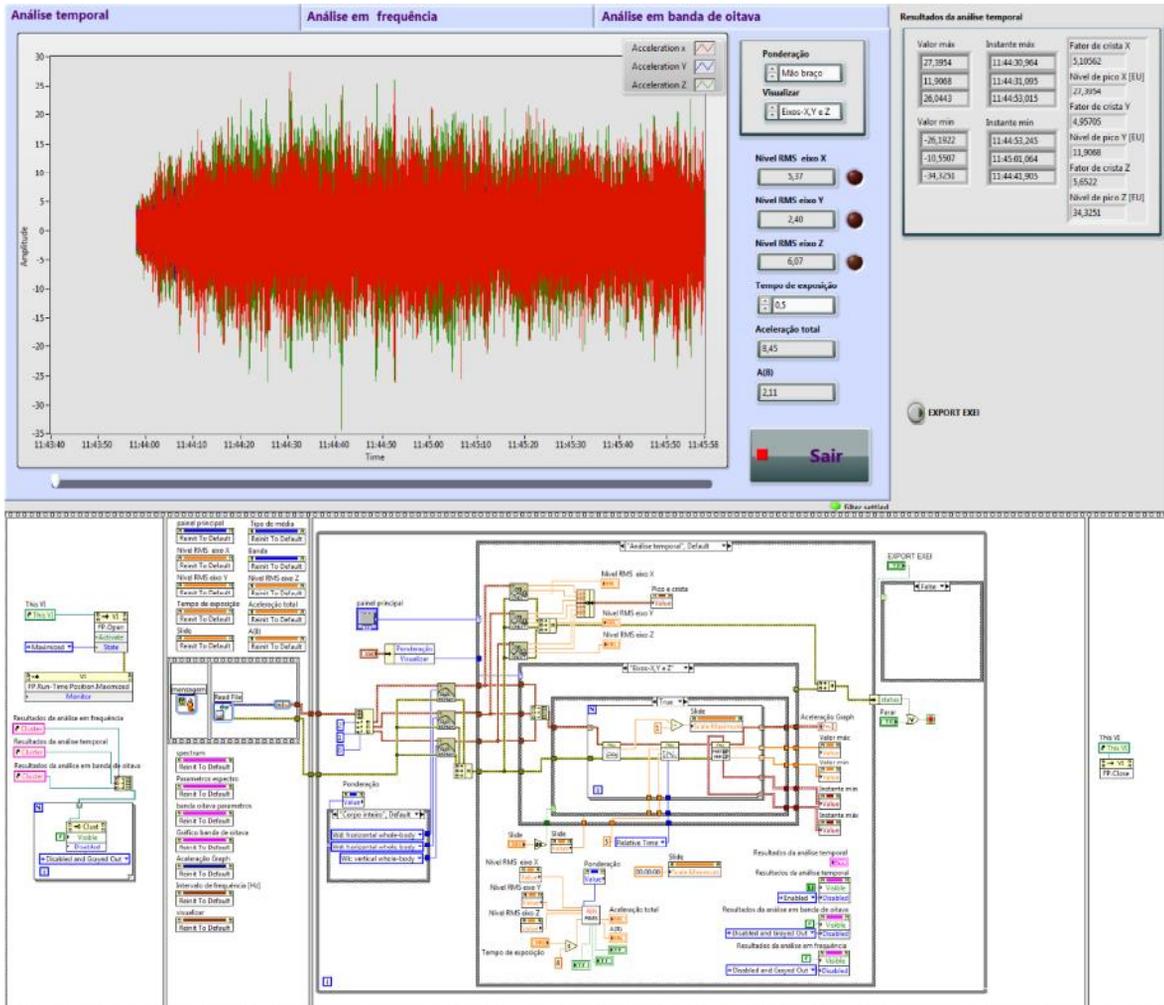


Figura 3.15 - Programa desenvolvido para a análise temporal da aceleração

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Tal como referido no início do capítulo 3 o procedimento experimental, adotado neste trabalho, define a realização de ensaios considerando um conjunto de protocolos de aquisição em 2 tipos de piso. Com estes testes pretende-se identificar possíveis valores extremos prejudiciais à saúde do praticante de basquetebol em cada um dos pisos. Os dados recolhidos foram tratados e comparados no domínio temporal com valores de referência definidos nas normas e diretrizes referidas no capítulo 2.5.2.

São ainda apresentados e discutidos os resultados obtidos para alguns exercícios na prática do voleibol, os quais são comparados com os valores obtidos para o basquetebol.

### 4.1. Análise da exposição no sistema Mão-Braço

#### 4.1.1. Análise de exposição no sistema VMB para o piso com caixa-de-ar

Neste subcapítulo serão expostos os dados recolhidos nas atletas, assim como o modo como foram calculados os tempos de exposição à vibração e os Índices de Massa Corporal (IMC). O IMC é uma medida internacional usada para calcular se uma pessoa está no peso ideal ou risco de obesidade ou de magreza extrema, sendo calculado pela seguinte equação:

$$IMC = \frac{Massa (kg)}{Altura(m) \cdot Altura(m)} \quad (4.1)$$

Na tabela 4.1 são apresentados os dados das atletas que foram necessários a realização desta dissertação.

**Tabela 4.1** - Ficha de dados das atletas

Atleta nº	Epoca nº	Idade	Altura (cm)	Massa (kg)	Mão de Jogo	Dados Antropométricos (cm)		Envergadura (cm)	IMC	Posição
						Esquerda	Direita			
1	8	15	161	57	Direita	17,0	17,0	156	22,0	Base
2	2	14	159	56	Direita	18,0	18,0	159	22,2	Extremo
3	7	15	169	68	Direita	18,0	18,0	165	23,8	Poste
4	6	15	170	55	Direita	18,5	18,5	169	19,0	Extremo
5	7	15	172	61	Direita	18,0	18,0	165	20,6	Extremo
6	3	14	151	50	Esquerda	17,5	17,5	147	21,9	Extremo
7	3	14	162	49	Direita	18,0	18,0	162	18,7	Extremo
8	7	15	164	57	Direita	16,0	16,0	158	21,2	Base
9	6	13	165	49	Direita	16,5	16,5	159	18,0	Base
10	7	14	176	67	Direita	20,5	20,5	183	21,6	Poste
11	3	15	163	50	Direita	18,0	18,0	158	18,8	Poste
12	6	12	168	45	Direita	17,0	17,0	168	15,9	Base

A tabela 4.1 como referido apresenta os dados para cada uma das atletas. Para a realização deste trabalho foi tido em conta o número de épocas de cada uma, pois à partida quanto mais épocas tiverem realizadas maior será a sua exposição a vibração. Foi também tida em conta a idade das atletas, assim como a sua massa, uma vez que pode haver diferentes vibrações no sistema mão braço consoante a massa ou a idade, tal como consoante o tamanho da mão, sendo que isso vai ser tudo abordado neste capítulo.

O tempo de exposição a que as atletas podem estar sujeitas, em função da posição que ocupam em campo é apresentado na tabela 4.2.

**Tabela 4.2** - Tempo de Exposição

	Normal Direito (h)	Normal Esquerdo (h)	Baixo Direito (h)	Baixo Esquerdo (h)	Recepção (h)	Lançamento (h)
Base	0,04	0,008	0,001	0,002	0,035	0,013
Poste	0,012	0,002	0,002	0,002	0,021	0,007
Extremo	0,027	0,004	0,002	0,002	0,018	0,013

Para ter estes tempos foi necessário ir assistir a três treinos filmando cada um deles, e posteriormente foi medido o tempo em cada exercício durante cada treino. Cada treino tem a duração de 90 minutos. Para ter uma maior amostra foi ainda filmado um jogo no qual foi novamente medido o tempo de cada exercício. Após isso foram somadas as médias de cada exercício, para cada treino, com a média de cada exercício durante o jogo, e dividindo por 7 (correspondendo aos 7 dias da semana e ficando assim com o tempo de exposição diária de cada exercício).

É de realçar ainda que quem tem mais tempo de bola em todos os exercícios são as Bases, uma vez que elas são os “motores” da equipa e são elas as mais solicitadas. As jogadoras na posição de Base são as mais solicitadas uma vez que são elas que costumam sair a jogar e organizam o jogo da equipa.

Na tabela 4.3 e 4.4 são apresentados os limites máximos de exposição aos níveis de A(8) (nível de exposição diário a vibração) segundo a norma ISSO 5349 e de aceleração respetivamente.

**Tabela 4.3** - Limites máximos do fator A(8) (ISO 5349-1, 2001)

	Zona Aceitável	Zona de Intervenção	Zona de Risco
<b>Vibração Mão Braço</b>	$A(8) < 2,5 \text{ m/s}^2$	$2,5 < A(8) < 5 \text{ m/s}^2$	$A(8) > 5 \text{ m/s}^2$
<b>Vibração Corpo Inteiro</b>	$A(8) < 0,5 \text{ m/s}^2$	$0,5 < A(8) < 1,15 \text{ m/s}^2$	$A(8) > 1,15 \text{ m/s}^2$
<b>Tipo de Ação</b>	Zona desejável de segurança	Estabelecer ou implementar programa de medidas técnicas e/ou organização	As pessoas em causa não podem em caso algum estar expostas a estes níveis.

**Tabela 4.4** - Valores Máximos para a Aceleração (Vendrame, 2008)

Duração total de exposição diária (horas)	Valores de componente de aceleração que não devem ser excedidos ( $\text{m/s}^2$ )
4 < Aceleração < 8	4
2 < Aceleração < 4	6
1 < Aceleração < 2	8
Menos de 1 hora	12

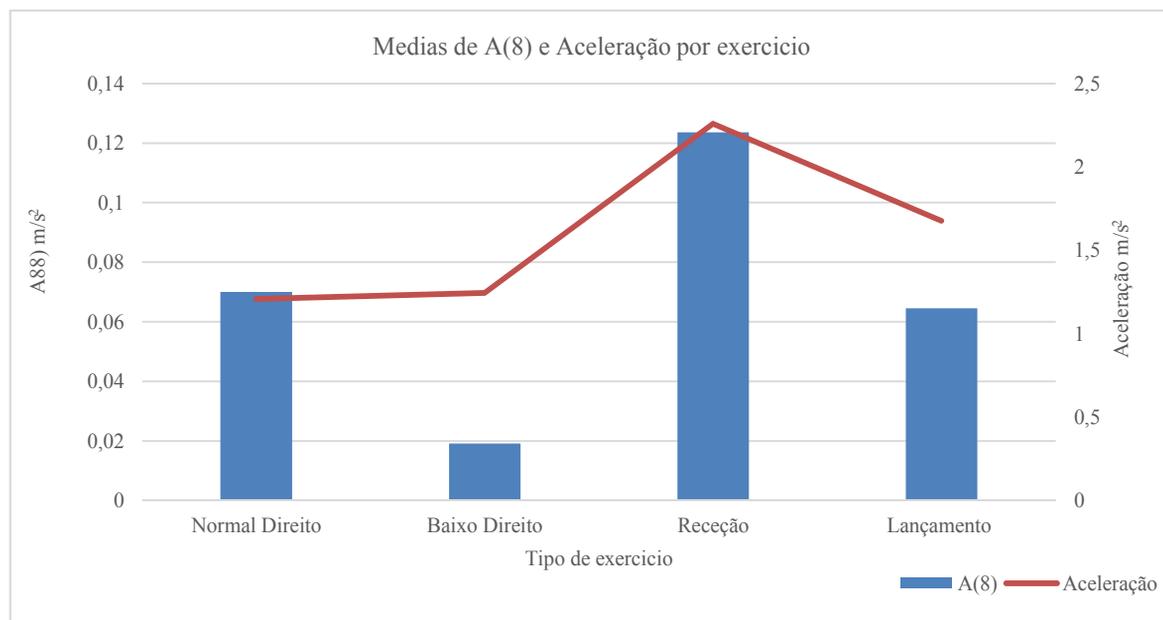
Na tabela 4.5 são apresentados os valores médios de IMC para cada posição.

**Tabela 4.5** - Média do Índice de Massa Corporal para cada posição

Posição	IMC	Atleta nº	IMC	IMC Posições	Posição	IMC
Base		1	22,0		Base	19,28
Extremo		2	22,8		Extremo	20,40
Poste		3	23,8		Poste	21,40
		4	19,0			
		5	20,6			
		6	22,0			
		7	18,7			
		8	21,2			
		9	18,0			
		10	21,6			
		11	18,8			
		12	15,9			

#### 4.1.1.1. Análise de exposição no sistema VMB para a mão direita

Nesta subsecção vão ser apresentados os resultados no piso com caixa-de-ar para os exercícios com a mão direita. Irá ser feita uma análise consoante os exercícios, as posições das atletas, os seus dados antropométricos e o seu índice de massa corporal e dos vários fatores em estudo.

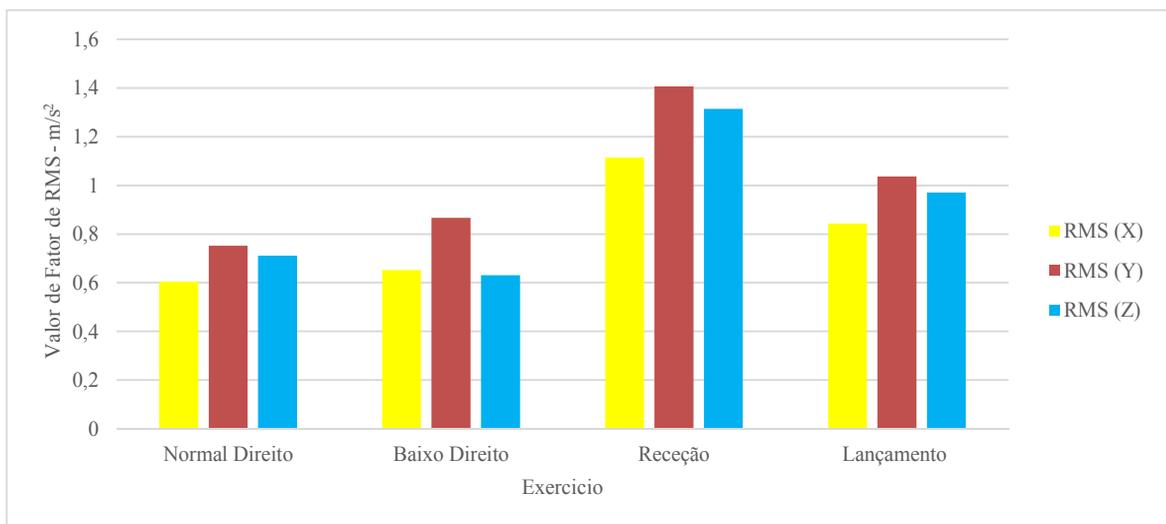


**Figura 4.1** - Médias de A(8) e Aceleração por exercício

A figura 4.1 apresenta os valores médios de A(8) e de Aceleração para as 12 atletas para cada um dos exercícios feitos.

De acordo com a Figura 4.1 e as tabelas 4.3 e 4.4 verificam-se que os limites de A(8) e de Aceleração não são ultrapassados. Pode-se ver que o limite de A(8), segundo a ISO 5349-1 é de  $5 \text{ m/s}^2$  enquanto que nos resultados obtidos o máximo é de  $0,12 \text{ m/s}^2$  (corresponde apenas a 2,5% do máximo possível) para a recepção visto que a bola na recepção vem com uma maior velocidade e é passada com mais força, daí um resultado tão superior aos restantes. Quanto à aceleração o valor máximo para valores inferiores a 1 hora como é o caso é de  $12,0 \text{ m/s}^2$  e o máximo obtido foi de  $2,3 \text{ m/s}^2$ , ou seja os valores encontrados são cerca de 81% inferiores ao máximo. Voltou a ser no exercício da recepção que a aceleração foi maior pelos motivos já referidos.

As figuras 4.2, 4.3 e 4.4 ilustram os resultados dos fatores de RMS, Fator de Crista e Nível de Pico respetivamente.

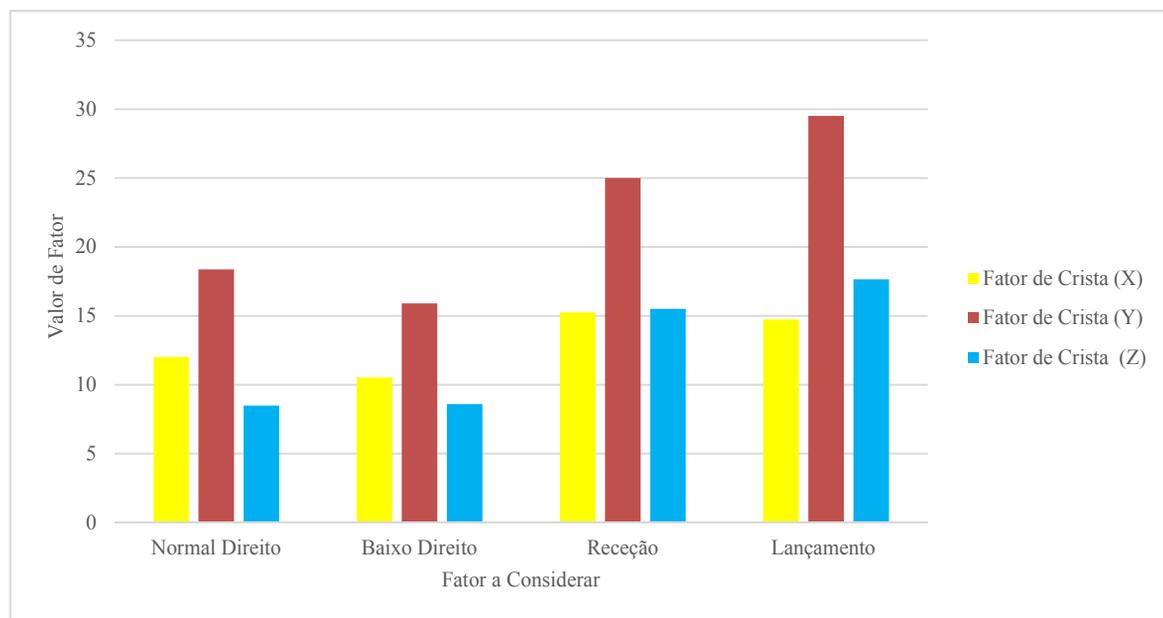


**Figura 4.2** - Comparação dos valores de RMS para cada exercício

Comparando-se os valores de RMS para cada exercício nota-se um claro domínio dos valores de RMS no eixo dos Y (eixo que é perpendicular à palma da mão), sendo que as diferenças até são de alguma relevância. No caso do normal direito o RMS Y é superior em cerca de 19,5% ao RMS X e 5,4% em relação ao RMS Z. Quanto ao baixo direito o RMS Y é superior em 24,8% em relação ao RMS X e 27,2% em relação ao RMS Z. No caso da recepção os valores são superiores, sendo o eixo do Y superior em 20,7% e

6,5% em relação aos eixos do X e do Z respectivamente. No exercício de lançamento o Y é superior em 18,7% em X e 6,4% em Z.

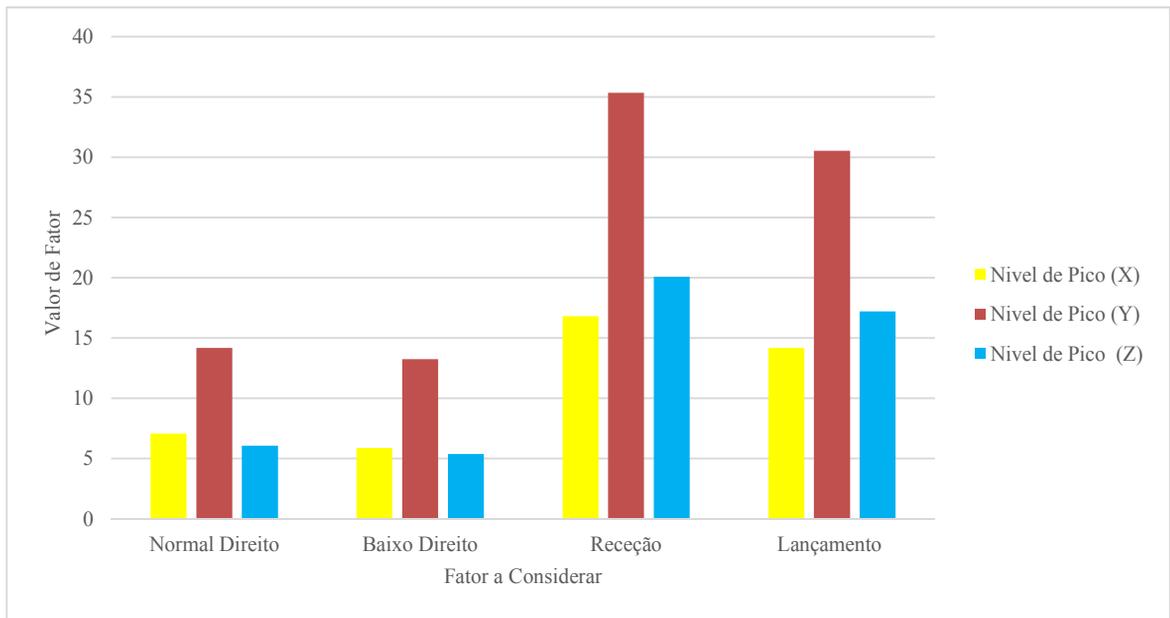
A figura 4.3 mostra a Comparação dos Valores de Fator de Crista para cada exercício.



**Figura 4.3** - Comparação dos Valores de Fator de Crista para cada exercício

Neste caso em que são comparados os valores de Fator de Crista para cada exercício volta a notar-se que os valores de Fator de Crista no eixo dos Y (eixo que é perpendicular à palma da mão), são superiores aos outros dois eixos. No caso do normal direito o Fator de Crista Y é superior em cerca de 34,6% ao Fator de Crista X e 53,7% em relação ao Fator de Crista Z. Quanto ao baixo direito o Fator de Crista Y é superior em 33,7% em relação ao Fator de Crista X e 54,1% em relação ao Fator de Crista Z. No caso da recepção como os valores voltam a ser superiores, sendo o eixo do Y superior em 38,9 % em X e 37,9% em Z. No exercício de lançamento o Y é superior em 50,0% em X e 40,2% em Z.

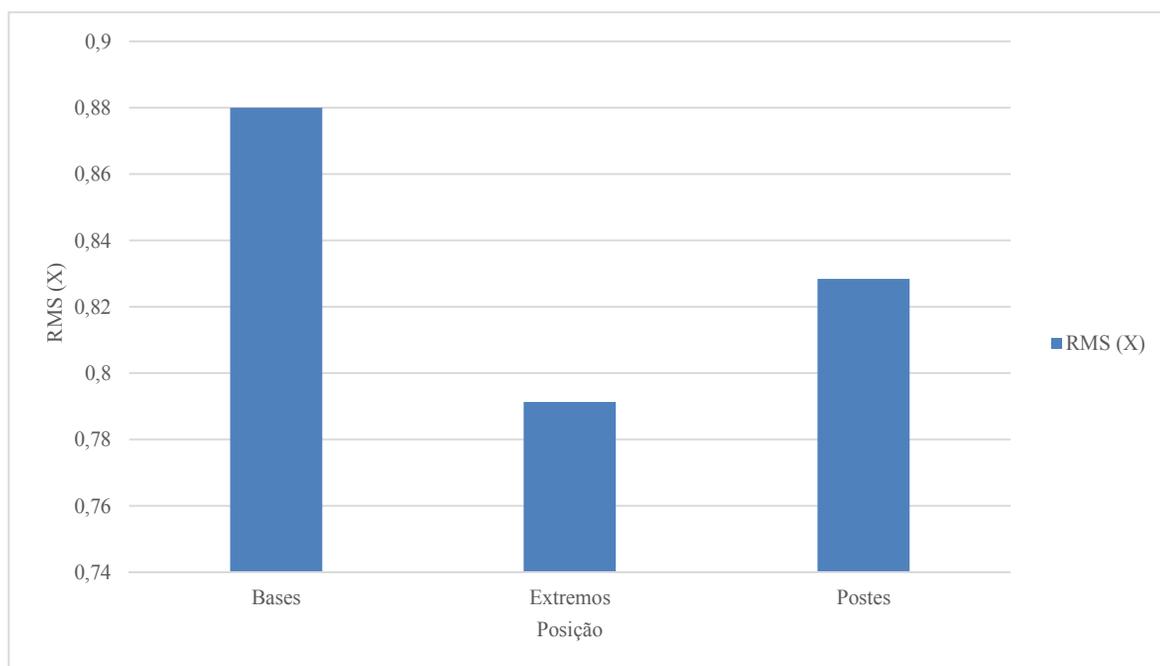
A figura 4.4 mostra a Comparação dos Valores de Nível de Pico para cada exercício.



**Figura 4.4** - Comparação dos Valores de Nível de Pico para cada exercício

Neste caso em que são comparados os valores de Nível de Pico para cada exercício volta a verificar-se que os valores de Nível de Pico no eixo dos Y. No caso do normal direito o Nível de Pico Y é superior em cerca de 50,1% ao Nível de Pico X e 57,2% em relação ao Nível de Pico Z. Quanto ao baixo direito o Nível de Pico Y é superior em 55,6% em relação ao Nível de Pico X e 59,5% em relação ao Nível de Pico Z. No caso da recepção como já foi referido e de esperar os valores são superiores, sendo o eixo do Y superior em 52,4 % em X e 43,2% em Z. No exercício de lançamento o Y é superior em 53,6% em X e 43,7% em Z.

Na figura 4.5 estão apresentados os valores para RMS (X)



**Figura 4.5** – Média por posição dos Valores de RMS (X) – Mão Direita

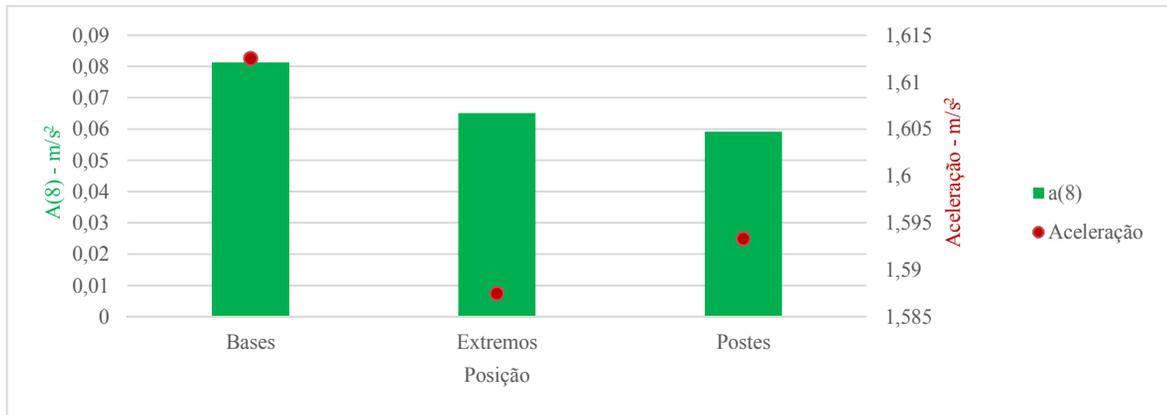
Sendo talvez dos parâmetros mais importantes em estudo o RMS segundo o eixo do X é de extrema importância uma vez que é o que sendo o eixo que sobe pelo sistema mão- braço. Volta a ser superior nas Bases uma vez que estas tendo o IMC menor e tendo, normalmente, mais posse de bola durante o jogo estão mais sujeitas a vibrações.

Na figura 4.6 é exposto a média de cada exercício consoante cada posição em função de todos os exercícios realizados e os valores de A(8) e de Aceleração médios segundo os dados antropométricos para cada posição.

A tabela 4.6 a seguir apresentada mostra as médias antropométricas das atletas segundo as suas posições.

**Tabela 4.6** - Média antropométrica consoante cada posição

Base	16,7 cm
Extremo	18,0 cm
Poste	18,0 cm



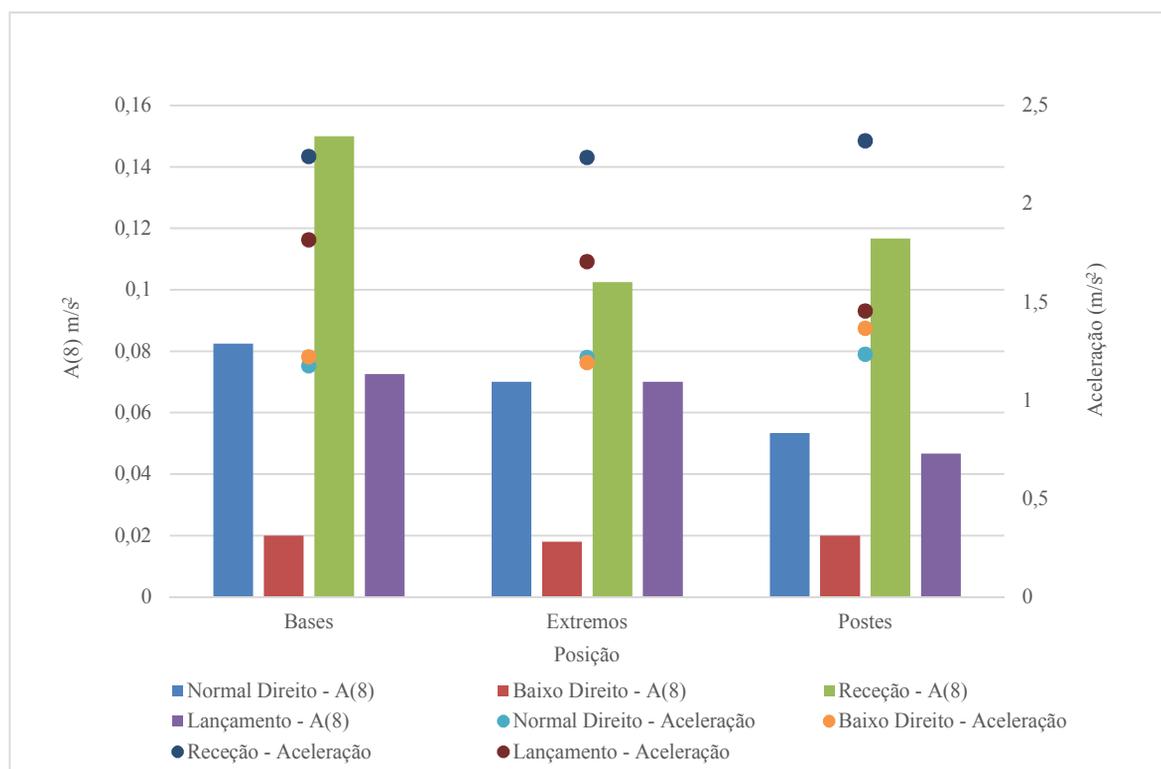
**Figura 4.6** - A(8) e Aceleração - Média dos exercícios para cada posição

As Bases sendo os “cérebros” é normal que tenham maiores valores de A(8) e Aceleração que às Extremos e às Postes. A figura 4.6 apresenta um A(8) e uma Aceleração superior em relação às Postes e Extremos. Em termos de A(8) os Bases tem como média de exercícios  $0,080 \text{ m/s}^2$  enquanto os Extremos e os Postes têm um A(8) de  $0,065 \text{ m/s}^2$  e  $0,059 \text{ m/s}^2$  respectivamente, mesmo assim valores muito inferiores ao limites definidos.

O mesmo acontece em relação à Aceleração sendo que os Bases tem média de Aceleração  $1,61 \text{ m/s}^2$  “contra” os  $1,58 \text{ m/s}^2$  e  $1,59 \text{ m/s}^2$  das Extremos e Postes respectivamente. A partir do nível de IMC, tabela 4.5, onde se pode observar que as Bases têm um menor Índice de Massa Corporal, são mais afetadas.

É ainda possível ver-se que quanto menor for o comprimento da mão maior será o nível de A(8) e de Aceleração. Isto porque sendo uma mão menor a partida terá de fazer mais força para executar os exercícios pretendidos, e a mão ao bater na bola as vibrações espalham-se por uma área menor, pelo contrário, numa mão com uma área maior as vibrações são mais “repartidas” tendo, assim, uma maior zona para se distribuírem tendo menores valores. Sendo antropometricamente menor terá menor massa o que levará a um menor amortecimento como apresentados no gráfico da figura 4.6.

Na figura 4.7 ilustra a A(8) a Aceleração de cada exercício consoante a posição.



**Figura 4.7** - A(8) e Aceleração consoante cada exercício

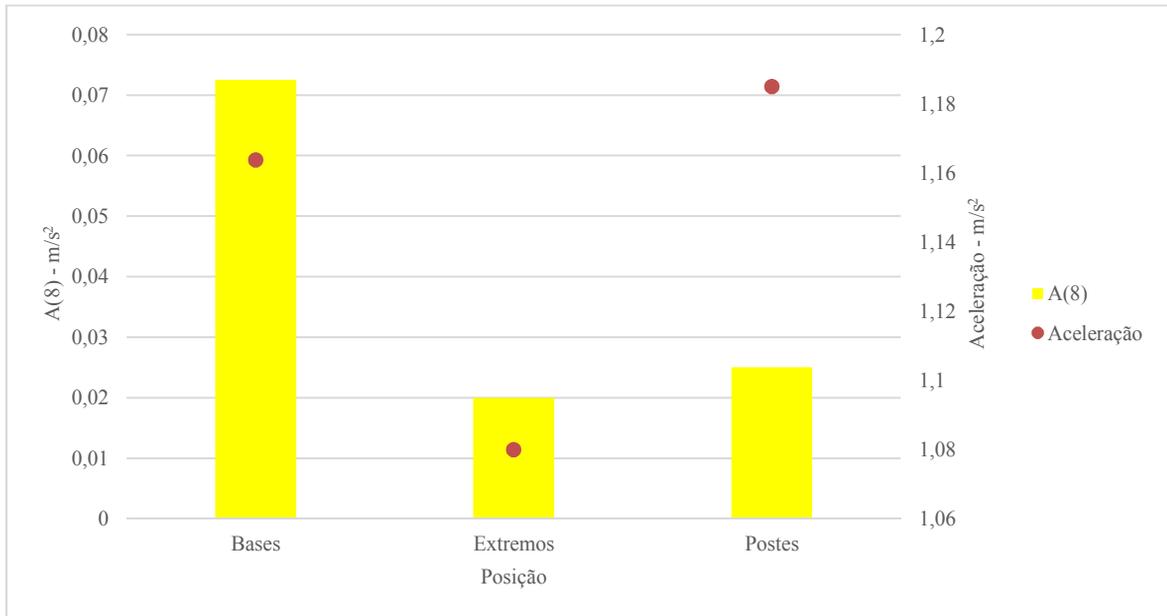
Esta figura é semelhante à anterior sendo que na anterior temos a média de A(8) e Aceleração dos 6 exercícios enquanto neste gráfico é possível fazer uma análise mais detalhada para cada um dos exercícios. De acordo com os resultados já apresentados as Bases voltam a estar em maior destaque superiorizando-se em quase tudo em relação as Extremos e as Postes (a nível de A(8) são mesmo superiores em todos os parâmetros).

O valor obtido para o A(8) é superior sempre no exercício da Recepção, enquanto que os exercícios drible baixo são bastante inferiores, isto já era espectável tendo em conta os próprios tempos que foram calculados e apresentados na Tabela 4.2. Quanto ao lançamento e ao drible normal direito estes são os parâmetros mais equilibrados, sendo os níveis de A(8) para o drible normal direito ligeiramente maiores. Já a nível da Aceleração observa-se uma clara superiorização do exercício Recepção em relação aos outros exercícios sendo neste caso maior nas Postes. Os exercícios de drible normal e baixo têm os valores mais baixos de aceleração.

#### 4.1.1.2. Análise de exposição no sistema VMB para a mão esquerda

Para a análise da mão esquerda foi usada uma amostra mais pequena, apenas 6 atletas, sendo que nenhuma das mesmas era canhota.

Na figura 4.8 apresenta-se a média do A(8) e da Aceleração para as três posições, para os exercícios normal esquerdo e baixo esquerdo.



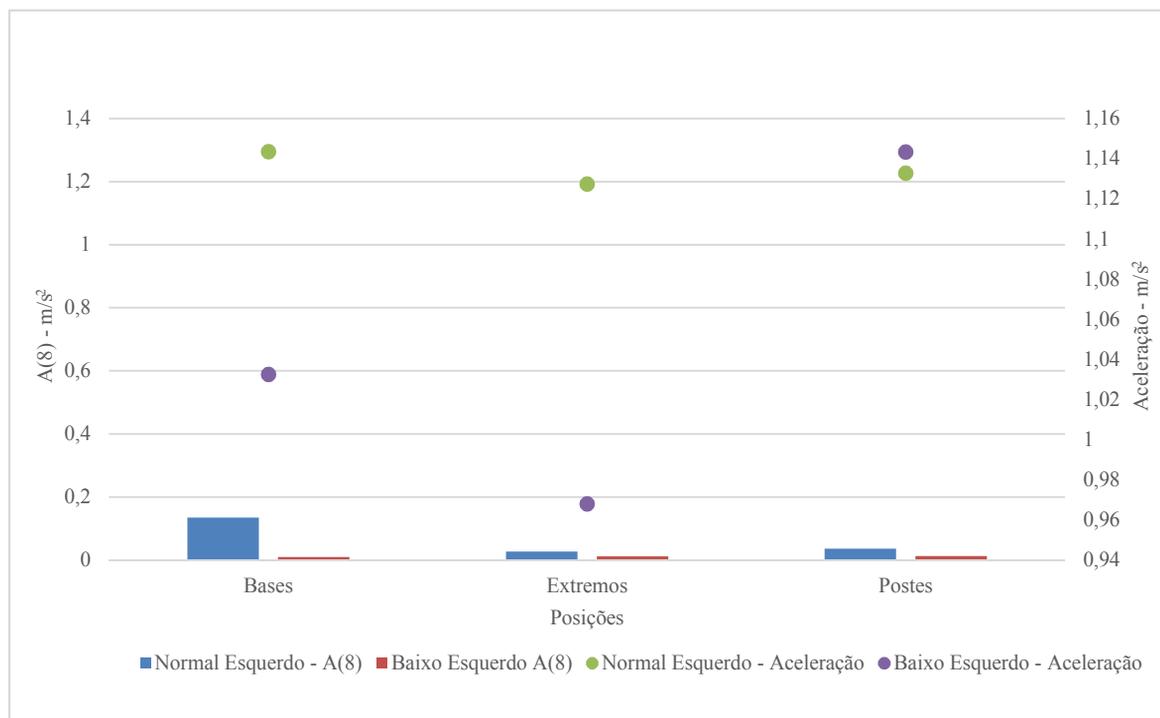
**Figura 4.8** - A(8) e Aceleração – Média dos exercícios consoante a posição, mão esquerda

Apesar de ser na mão esquerda as bases continuam a ter valores maiores que as extremos e as postes, isto também acontece porque o tempo de exposição continua a ser o mesmo (Tabela 4.2).

A nível do fator A(8) as diferenças são bastante grandes entre as Bases, as Extremos e as Postes, enquanto que entre as extremos e as postes não são assim tão elevados. O valor A(8) para as Bases é superior em 72,4% às Extremos e em 65,5% às Postes. As Postes são apenas superiores às Extremos em 20,0%.

Ao nível da aceleração denota-se que as postes têm uma aceleração superior quer em relação as bases quer, principalmente, em relação às extremos, mas não muito significativa pois as postes em relação às extremos são superiores em 8,9% e em relação as bases apenas 1,8%.

O gráfico da figura 4.9 mostra a relação do A(8) e da Aceleração para cada exercício.



**Figura 4.9** - Relação do A(8) e da Aceleração para cada exercício

O gráfico da figura 4.9 traduz os resultados da figura 4.9, mas de uma maneira mais “expandida”, pois enquanto o gráfico da figura 4.9 representa a média dos exercícios e o gráfico da figura 4.9 apresenta os valores para o A(8) e Aceleração dos exercícios em vez da média.

Assim sendo, relativamente ao exercício de drible normal, as Bases voltam novamente a ter um nível de A(8) bastante superior às extremos e às postes. Em termos de percentagem as bases têm um A(8) superior em 79,3% em relação às extremos e 72,8% em relação às postes. No exercício de drible baixo as postes tiveram um nível mais alto, mas com diferenças não muito significativas quando comparados com a mão direita ou mesmo com o exercício de drible normal para a mão esquerda. Isto aconteceu talvez porque sendo com a mão esquerda as atletas tinham que fazer uma maior força para driblar e a bola “fugiu” mais do controle delas por não ser a sua mão de jogo. A diferença entre as Postes e as Extremos é apenas de 10% e das Postes e Bases de 25%.

Quanto à aceleração aconteceu o mesmo que no fator de A(8), sendo que no drible normal esquerdo foi superior nas bases, enquanto que no drible baixo esquerdo voltou a ser superior nas postes pela mesma razão que no fator A(8). Quanto à percentagem é bem inferior quando comparada com a de A(8) ainda que no exercício de drible normal exista uma diferença de apenas 8% das Bases em relação às Extremos e de apenas 5,3% em relação às Postes. No exercício de drible baixo as Postes são superiores às Bases em 10% e em 15,3% às Extremos.

#### 4.1.1.3. Análise de exposição no sistema VMB entre a mão esquerda e a mão direita

A comparação entre a mão esquerda e a mão direita está ilustrada através da figura 4.10.

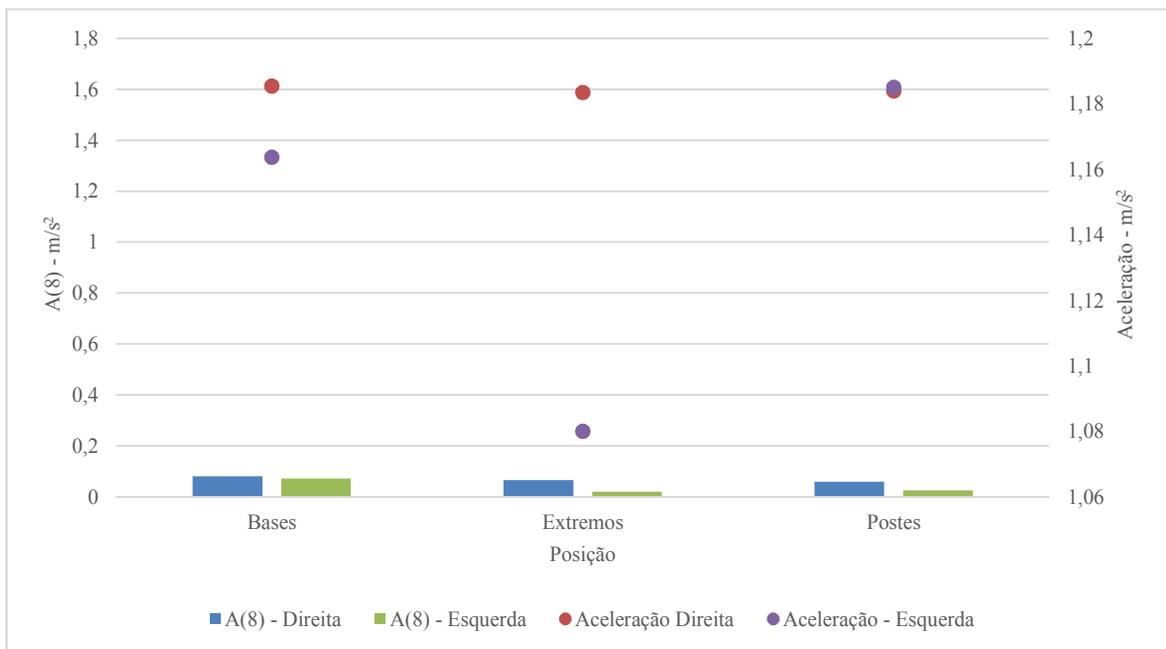


Figura 4.10 - Comparação entre os fatores de A(8) e de Aceleração entre a mão esquerda e a direita

Nesta figura 4.10 é feita a comparação de A(8) e Aceleração entre as duas mãos. Os resultados obtidos foram os esperados, uma vez que em 12 atletas apenas uma é canhota. Assim, os índices maiores foram obtidos para a mão direita em todas as posições, tanto a nível de A(8) como de Aceleração.

No fator A(8) para as Bases a diferença não é tão significativa como para as Postes e as Extremos, sendo que nas Bases a mão direita é superior à esquerda em 10,7% enquanto que nas Extremos se tem uma diferença de 69,3% e nas Postes de 57,7%. Entre posições em ambas as mãos as Bases apresentam um maior valor de A(8) como tem sido já habitual nestas conclusões.

A nível de Aceleração volta novamente a ser maior na mão direita do que na esquerda, pelos mesmos motivos que o A(8), sendo que nas bases a mão direita é superior à esquerda em cerca de 27,8%, nas extremos em 32% e nas postes em 25,6%. Entre posições os valores foram todos bastantes semelhantes sem diferenças significativas.

De realçar que mais uma vez, e como em todos as figuras apresentadas até agora nenhum excede os limites máximos impostos pela norma ISO 5349-1 uma vez que o máximo na mão direita para o fator A(8) é de 0,08 m/s<sup>2</sup> e o de aceleração é de 1,60 m/s<sup>2</sup> (ambos apresentam máximos na mão direita).

#### **4.1.2. Análise de exposição no sistema VMB para o piso sem caixa-de-ar**

Nesta parte da análise de dados não foram realizados tantos ensaios como no piso com caixa-de-ar (apenas foi feito o normal direito), isto porque o exercício da receção e do lançamento como a bola não toca no chão não era necessário fazer, pois iria dar igual aos ensaios feitos no piso com caixa-de-ar. Quanto ao baixo direito também não foi realizado, porque os tempos de exposição a esse tempo são muito pequenos e praticamente inexistentes quer no treino quer no jogo. Neste piso não foram realizados ensaios com a mão esquerda e foram feitos testes em apenas 6 atletas.

#### 4.1.2.1. Análise de exposição no sistema VMB para a mão direita

A figura 4.11 representa a média dos exercícios para cada posição sendo comparados entre as mesmas os fatores de A(8) e de Aceleração.

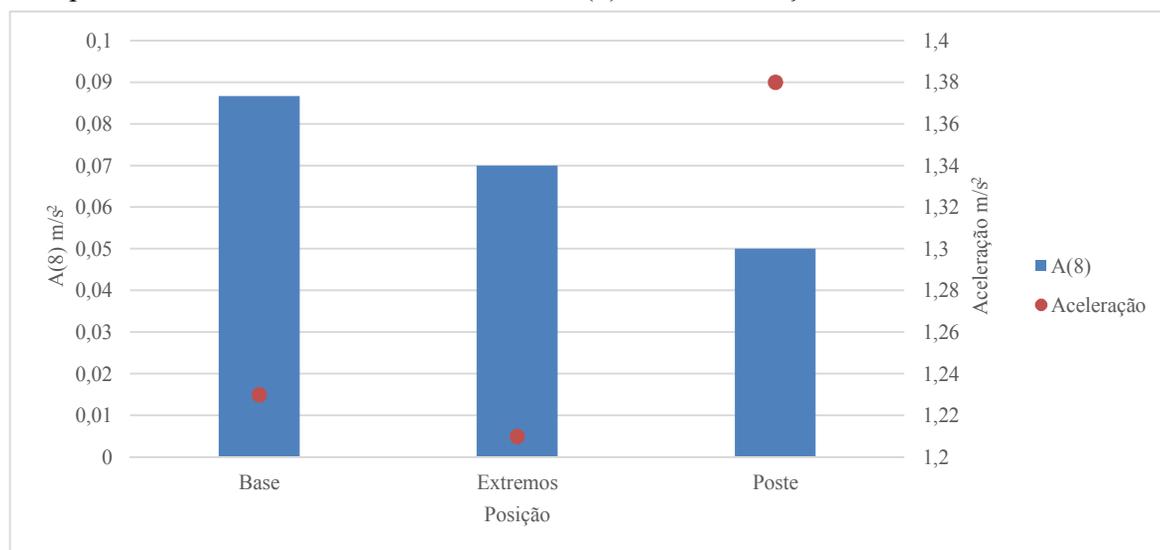


Figura 4.11 - Média do A(8) e Aceleração para cada posição

Nesta figura 4.11, e apesar de ser no piso sem caixa-de-ar volta-se a ter as Bases com maior nível de A(8) em relação às outras posições. As Bases têm valores superiores de cerca de 19,2% em relação às Extremos e de 45,3% em relação às Postes, isto devido ao maior tempo de exposição.

Os valores limites, apesar de se estar a analisar outro tipo de piso, ficaram novamente longe de ser excedidos, sendo que o máximo de A(8) é de 0,087 m/s<sup>2</sup> e de Aceleração 1,380 m/s<sup>2</sup> estando portanto bastante longe dos permitidos 5,00 m/s<sup>2</sup> de A(8) e 12,00 m/s<sup>2</sup> de Aceleração.

### 4.1.3. Comparação entre os dois tipos de piso

Na tabela 4.7 e na figura 4.12 estão é feita a análise entre os dois pisos para o exercício drible normal direito para todos os fatores.

**Tabela 4.7** - Comparação entre os 2 pisos para o exercício de drible normal direito

	Caixa de ar	Sem caixa de ar
	Normal Direito (h)	Normal Direito (h)
<b>A(8) - m/s<sup>2</sup></b>	0,07	0,08
<b>Aceleração - m/s<sup>2</sup></b>	1,21	1,25
<b>RMS(X)</b>	0,61	0,53
<b>RMS(Y)</b>	0,75	0,74
<b>RMS(Z)</b>	0,71	0,85
<b>Fator de Crista (X)</b>	12,01	10,00
<b>Fator de Crista (Y)</b>	18,37	13,48
<b>Fator de Crista (Z)</b>	8,49	8,66
<b>Nível de Pico (X)</b>	7,06	5,22
<b>Nível de Pico (Y)</b>	14,16	9,91
<b>Nível de Pico (Z)</b>	6,06	7,32

Na tabela 4.7 tem-se ainda para o exercício de normal direito a comparação entre os 2 pisos, com e sem caixa-de-ar. Apenas foi feito este exercício pois os restantes não eram relevantes.

Assim sendo pode-se reparar que não há uma grande diferença entre os pisos. A influência do piso iria dar valores certamente bastante diferentes se o acelerómetro fosse colocado na bola e não na mão. Sendo colocado na mão deu valores semelhantes, se fosse colocado na bola os resultados seriam diferente uma vez que a bola ao bater no piso de caixa-de-ar, durante um drible, este iria amortecer as vibrações da bola e esta não iria subir tanto, ou seja tinha que ser feita mais força para voltar a subir o mesmo que subiria no piso sem caixa-de-ar, em que as vibrações da bola ao bater no chão não são amortecidas e a bola vem com uma maior velocidade e sobe tanto.

A figura 4.12 ilustra a comparação dos vários parâmetros em estudo para os dois pisos.



**Figura 4.12** - Comparação para os 2 pisos no exercício drible normal direito

Na figura 4.12 são apresentados os vários parâmetros e como já foi referido sem grandes diferenças entre os valores, tirando no fator de crista (Y) e nível de pico (Y e Z).

Quanto ao fator de A(8) no piso sem caixa-de-ar é superior em 6,67% em relação ao piso com caixa-de-ar.

A nível da Aceleração o piso sem caixa-de-ar volta a ser superior, mas apenas em 3,24%.

No RMS é superior em X e Y na caixa-de-ar, mas apenas em 1,24% e 1,33% respetivamente, no RMS (Z) é superior em 15,87%, mas no piso sem caixa-de-ar.

No parâmetro de Fator de Crista volta a ser superior novamente na caixa-de-ar no parâmetro (X e Y) em 16,69% e 26,6% respetivamente. Tal como no fator de RMS (Z) é superior no piso sem caixa-de-ar, mas em 2,16%.

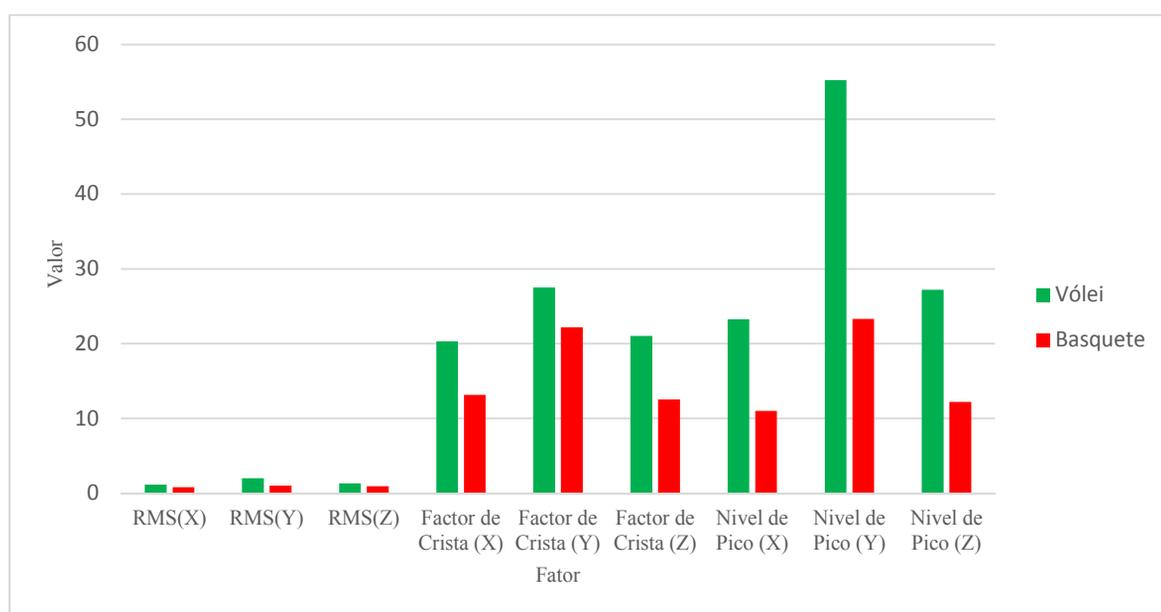
Quanto ao Nível de Pico tal como no RMS e Fator de Crista acontece que novamente a caixa-de-ar se superioriza no eixo (X e Y), e aqui com maiores percentagens. No parâmetro (X e Y) é superior a caixa-de-ar em 26% e 30% respetivamente. No parâmetro (Z) é superior no piso sem caixa-de-ar em 33,8%.

Os valores limites voltam novamente a estarem longe de serem ultrapassados, ou seja, continua-se dentro da gama de segurança.

## 4.2. Comparação entre o Voleibol e o Basquetebol

A título de complementar o trabalho analisando, a nível do voleibol, resultados para os exercícios de passe, remate, e serviço, exercícios esses que podem ser comparados como “equivalente,” aos exercícios feitos no basquete. Foram comparados os valores dos mesmos a nível de RMS, Fator de Crista e Nível de Pico.

A figura 4.13 ilustra a comparação entre os resultados médios obtidos nos exercícios de basquetebol e nos de voleibol.



**Figura 4.13** - Comparação de parâmetros entre o Voleibol e o Basquetebol

Os resultados obtidos de acordo com os resultados esperados. Seria expectável que no volei os valores obtidos em todos os parâmetros fossem superiores uma vez que o voleibol é muito mais “violento” para o sistema mão braço que o basquetebol. Os remates feitos levam muito mais força, quer por o “tratamento” da bola ser mais agressivo já que é necessária muito mais força para fazer um serviço ou um remate, que para fazer um passe ou lançamento. O facto de a bola de voleibol ser mais leve e não ter tanta pressão também influenciou estes resultados.

São apresentados na tabela 4.8 as percentagens de variação do voleibol em relação ao basquetebol.

**Tabela 4.8** - Diferenças dos parâmetros para o vôlei e basquete

<b>Parametro</b>	<b>Percentagem %</b>
<b>RMS(X)</b>	28,4
<b>RMS(Y)</b>	49,2
<b>RMS(Z)</b>	30,6
<b>Factor de Crista (X)</b>	35,2
<b>Factor de Crista (Y)</b>	19,3
<b>Factor de Crista (Z)</b>	40,3
<b>Nivel de Pico (X)</b>	53,2
<b>Nivel de Pico (Y)</b>	57,8
<b>Nivel de Pico (Z)</b>	55,2

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a avaliação experimental realizada esperou-se quantificar da melhor forma possível a exposição dos praticantes de basquetebol em todas as situações referidas no capítulo 2. Relativamente à análise de vibração no sistema mão-braço concluiu-se que os níveis diários de aceleração eficaz, a que o mesmo é exposto, não foram superiores nos pavimentos ao valor de ação recomendado pela diretiva nº 2002/44/CE do parlamento europeu. Para o piso com caixa-de-ar obteve-se em termos de média dos exercícios feitos os valores:

- Bases:  $0,081 \text{ m/s}^2$
- Postes:  $0,065 \text{ m/s}^2$
- Extremos:  $0,059 \text{ m/s}^2$

Numa avaliação segundo a norma ISO 5349-1 (2001), concluiu-se que de acordo com a equação 2.5 do subcapítulo 2.5.1 que apresenta a relação entre a exposição diária a vibração e o tempo, em anos, necessário para o aparecimento de dedos brancos, com 10% de probabilidade demora cerca de cinquenta e três anos e dez meses para o piso com caixa-de-ar e cerca de quarenta e nove anos e seis meses para o piso sem caixa-de-ar. É ainda importante destacar que estes valores apresentados são para um nível de exposição à vibração ideal e constante o que por vezes não acontece.

Quanto aos valores de A(8) e Aceleração segundo esta mesma norma também estão todos dentro dos limites previstos, sendo portanto aconselhável a prática deste desporto.

Quanto a nível do voleibol só foram comparados alguns parâmetros como já referido. Na comparação com o basquetebol os valores foram os esperados, ou seja, valores maiores em todos os parâmetros para o voleibol.

## 5.1. Sugestões Futuras para outros Trabalhos

Como propostas futuras podem-se referir as seguintes:

- Criação de uma norma sobre vibrações a nível desportivo uma vez que as normas ISO usadas nesta tese são a nível de maquinaria, e trabalhos com máquinas com vibrações elevadas. Não existe nada a nível de desporto.
- Utilizar a nível de otimização dos treinos de atletas de vários desportos, sendo que podiam ser usados em atletas jovens para ver se estavam a realizar os exercícios de forma correta e ver se estão a fazer alguma coisa que possa ser prejudicial à sua saúde.
- Avaliar a performance a um nível profissional de atletas de alta competição. Podia ser também usada na otimização dos treinos.
- Fazer este trabalho de forma mais profunda a nível de desporto escolar noutros desportos, como por exemplo o voleibol. Ou até de outros desportos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDIEN, Y., MARCOTTE, P., RAKHEJA, S., & BOILEAU, P.-E. - Influence of hand-arm posture on biodynamic response of the human hand-arm exposed to Z axis vibration. **International Journal of Industrial Ergonomics**. ISSN 0169-8141. Vol. 36, nº 1 (2006) p. 45-59.

ANFLOR, C. T. M. – “Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biomecânico de quatro graus de liberdade”. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Tese de mestrado

ASTRÖM, C., REHN, B., LUNDSTRÖM, R., NILSSON, T., BURSTRÖM, & SUNDELIN, G. article in press - Hand-arm vibration syndrome (HAVS) and musculoskeletal symptoms in the neck and upper limbs in professional drivers of terrain vehicles - a cross sectional study. **Applied Ergonomics**. ISSN 0003-6870. Vol. 37 (2006) p. 793-9

BRAGA, Cristiano. – “Exposição ocupacional a vibrações no sistema mão-braço no sector da construção”. Porto: FEUP, 2007. Tese de mestrado.

Bruel & Kjaer – Creating sustainable value [Consult. Maio, 2013]: [www.bksv.com](http://www.bksv.com).

CHAFFIN, D.B; ANDERSSON, G.B.J.; MARTIN, B.J. - **Occupational Biomechanics**, 3ª edição. New York. John Wiley & Sons, 1999. ISBN 0-471-24697-2.

DIRECTIVE 2002/44/EC - On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). L177/13. (25-06-2002).

FERNANDES, J. C. – “Segurança nas vibrações sobre o corpo humano”, 2000. Texto académico.

FORTIN, Marie Fabienne – **O Processo de Investigação: da Conceção à realização**. Loures: Lusociência, 2003. ISBN 972-8383-10-X

FRANCHINI, Danilo. – “Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola”. Santa Maria: UFSM, 2007. Tese de mestrado.

FURNESS, T., MASCHETTE, W. - Influence of Whole Body Vibration Platform Frequency on Neuromuscular Performance of Community- Dwelling Older Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*. ISSN 1064-8011. Vol. 23, nº 5, (2009) p. 1508-1513.

GRIFFIN, M., J. - *HandBook of human vibration*. San Diego. Academic Press, 1990. ISBN 0-12-303040-4.

HEISLER, Erica L. – “The Relationship of snowmobile year, track length, and riding terrain to the occurrence of musculoskeletal symptoms in recreational snowmobile drivers”. Las Vegas: UNLV, 2010. Tese de mestrado.

Hunt, L (2012), “Implementation of a vibration absorber for composite hockey goalie sticks”.

ISO 5349:1979 (E) - Mechanical vibration - Guide for evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration — Part 1: General requirements.

ISO 5349-1:2001 - Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements.

ISO 5349-2:2002 - Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.

ISO 2631:1978 (E) - Guide for Evaluation of human exposure to whole-body vibration.

ISO 2631-1:1997- Mechanical vibration and shock Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements.

MACHADO, Eduardo. - “A transmissão da vibração no cotovelo após o impacto da raquete na bola e consequências pelo mau uso da técnica e do material: aspetos teóricos e pesquisa experimental para a medição das acelerações do cotovelo no impacto da bola na raquete na prática do saque chapado”. Porto Alegre: Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2004. Monografia.

---

National Instruments – Portugal [Consult. Junho, 2013]:www.Portugal.ni.com.

National Instruments – Medindo Distensão com Strain Gaujes [Consult. Junho, 2013]:www.ni.com.

PALMER, K. T., GRIFFIN, M. J., SYDDALL, H. E., PANNETT, B., COOPER, C., & COGGON, D. - Exposure to hand-transmitted vibration and pain in the neck and upper limbs. *Occupational Medicine*. Vol. 51, nº 7 (2001) p. 464-467.

PALMER, K. T., GRIFFIN, M. J., SYDDALL, H. E., PANNETT, B., COOPER, C., & COGGON, D. - Raynaud's phenomenon, vibration induced white finger, and difficulties in hearing. *Occupational and Environmental Medicine*. Vol. 59, nº 9 (2002) p. 640-642.

REHN, B., BERGDAHL, C., AHLEGRAN, C., FROM, C., JARVHOLM, B., LUNDSTROM, R., NILSSON, T., SUNDELIN, G. - Musculoskeletal Symptoms among Drivers of All-Terrain Vehicles. *Journal of Sound and Vibration*. ISSN 0022-460X. Vol. 253, nº 1 (2002) p. 21-29.

REHN, B., NILSSON, T., JARVHOLM, B. - Neuromusculoskeletal disorders in the neck and upper extremities among drivers of all-terrain vehicles - a case series. *BMC Musculoskeletal Disorders*. ISSN 1471-2474. Vol. 5, nº 1 (2004).

REHN, B., LUNDSTROM, R., NILSSON, T., BERGDAHL, I.A., AHLGREN, C., FROM, C., SUNDELIN, G., JARVHOLM, B. - Symptoms of musculoskeletal disorders among drivers of all-terrain vehicles in northern Sweden. *Noise & vibration worldwide*. ISSN 0957-4565. Vol. 36, nº1 (2005a) p. 13-18.

REHN, B., NILSSON, T., OLOFSSON, B., LUNDSTROM, R. - Whole-Body Vibration Exposure and Non-neutral Neck Postures During Occupational Use of All-terrain Vehicles. *Annals of Occupational Hygiene*. ISSN 0003-4878. Vol.49, nº 3 (2005b) p. 267-275.

SALIBA, T. M. - Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração. São Paulo. LTR, 2009. ISBN 9788536113494.

SAVIONEK, Daniel. – “Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística”. Porto Alegre: UFRGS, 2010. Monografia.

SOEIRO, N.S. – “Vibrações e o corpo humano: uma avaliação ocupacional”. Belém: GVA – UFPA, 2011. Monografia.

STOY72 2013

Disorders. **Folia Medica**. ISSN 0204-8043. Vol 52, nº 4 (2010) p.27-31.

TAVARES, G. - **Elementos orgânicos e fundamentais de máquinas e implementos agrícolas**. Londrina. UDUEL, 2000. ISBN 8572160906.

Wild & Healthy – Assessoria Esportiva [Consult. Julho, 2013]:  
www.wildhealthy.com.br.

NEVA, Zlatka; SVETLAN, Dermendjiev - Specific Features of Vibration-induced

[http://resgatebrasiliavirtual.com.br/moodle/file.php/1/E-book/Materiais\\_para\\_Download/Ruido/Apostila%20de%20Ruido%20I.pdf](http://resgatebrasiliavirtual.com.br/moodle/file.php/1/E-book/Materiais_para_Download/Ruido/Apostila%20de%20Ruido%20I.pdf)

<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0107121220341627.pdf>

[http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=5012](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=5012)

<http://pt.slideshare.net/Flaviafavarim/sst-cap-4-higiene-ocupacional-rudo-vibrao-calor-e-frio~>

<http://documents.tecnosport.es/TECNOSPORT/Power%20Plate/Estudios%20Cientificos/Effects%20on%20leg%20muscular%20performance%20from%20whole-body%20vibration%20exercise%20a%20systematic%20review.pdf>

<http://www.givengain.com/unique/sasom/upload/humanvibration.pdf>

<http://annhyg.oxfordjournals.org/content/early/2011/01/10/annhyg.meq087.full>

[http://www.funcoge.org.br/sense/arquivos/4sense/Vibracoes\\_-\\_Vendrame.pdf](http://www.funcoge.org.br/sense/arquivos/4sense/Vibracoes_-_Vendrame.pdf)

[http://www.4work.pt/cms/index.php?id=98&no\\_cache=1&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=133&tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=100&cHash=6b648f5780](http://www.4work.pt/cms/index.php?id=98&no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=133&tx_ttnews%5BbackPid%5D=100&cHash=6b648f5780)

<http://www.factor-segur.pt/shst/docinformativos/Vibracoes.pdf>

<http://www.versegura.com/new/index.php/ensaios/sistema-corpo-inteiro>

