



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação das vibrações induzidas no sistema mão-braço na prática de instrumento de percussão

Evaluation of vibrations induced in the Hand- arm system in the practice of a percussion instrument

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

Autor

David Sousa da Costa

Orientadores

Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins Amaro

Professor Doutor Luis Manuel Ferreira Roseiro

Júri

Presidente Professora Doutora Maria Augusta Neto
Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Carlos José de Oliveira Pereira e Jorge Alcobia
Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de
Coimbra

Orientador Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins Amaro
Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Setembro, 2016

Com quem eu mais queria partilhar este momento, ao meu querido Avô.

Agradecimentos

Agradeço aos meus Pais, *Eduardo Costa* e *Ana Isabel Sousa*, pelo apoio dado durante todos os momentos da minha vida. Agradeço também por nunca terem deixado de acreditar em mim mesmo quando eu não fui capaz de o fazer. Um simples agradecimento não é suficiente para lhes retribuir tudo o que fizeram por mim. Ao meu Irmão, *Tiago Costa*, que sem o saber, sempre me ajudou, sendo ele o maior exemplo de vida que conheço. Não posso deixar de agradecer aos meus Avós pelos valores e educação que me transmitiram, pelo carinho e pelo seu afeto. A todos um muito obrigado.

Aos meus orientadores, pelos quais tenho uma enorme admiração e respeito, *Prof.^a Dr.^a Ana Amaro* e *Prof. Dr. Luis Roseiro*, por todos os conselhos dados, pela disponibilidade, ajuda e compreensão dadas ao longo da realização desta dissertação, deixo a eles um especial agradecimento.

Agradeço também à *Eng.^a Linda* pela atenção e disponibilidade demonstradas durante a minha presença no ISEC.

A todos os voluntários que participaram neste estudo, fica o meu sincero agradecimento, sem os seus conselhos e disponibilidade para a aquisição de dados seria impossível a realização deste estudo.

Para conseguir a amizade de uma pessoa digna é preciso desenvolvermos em nós mesmos as qualidades que nela admiramos. A todos os meus amigos, que sempre torceram por mim e pelo meu sucesso, que nos bons e nos maus momentos sempre me apoiaram. A todos vós muito obrigado.

À minha namorada e melhor amiga, *Bárbara Figueiredo*, não só pela ajuda e amizade, estando sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis, mas também pela felicidade demonstrada em todos os meus sucessos.

Resumo

Este trabalho apresenta uma recolha e análise das vibrações induzidas no sistema mão-braço em praticantes de um instrumento de percussão. No caso em estudo o instrumento é uma bateria tradicional, constituída por um bombo, um timbalão de chão, dois tom-tom, uma caixa, dois pratos e um prato de choque. As baquetas são fabricadas em madeira. O estudo compreende a utilização da norma internacional ISO 5349, que se refere especificamente à avaliação das vibrações induzidas no sistema mão-braço. Os valores obtidos são comparados com os valores apresentados na diretiva nº2002/44/CE que se encontra atualmente (2016) em vigor. O método de aquisição de dados consistiu na instrumentação, com recurso a um acelerómetro, das baquetas e de uma luva que os diferentes bateristas usaram durante a recolha de dados. O estudo envolve voluntários que se podem dividir em dois grupos de bateristas: os profissionais, que possuem formação musical, e os amadores, que embora não possuindo formação musical praticam bateria regularmente.

Tendo por base a metodologia usada, os resultados obtidos sugerem que os valores diários recomendados são ultrapassados pela maior parte dos bateristas sem formação musical. No que diz respeito aos bateristas profissionais estes entram numa zona de ação de prevenção.

Palavras-chave: Biomecânica Ocupacional, Percussão, Sistema mão-braço, Vibrações induzidas.

Abstract

The main objective of the work presented is to analyse the vibrations induced in the hand-arm system in the practice of a percussion instrument. In this case the instrument is a traditional drum-set, consisting of a bass drum, one floor tom, two tom-tom, a snare drum, two rides and a shock plate. The drumsticks used are made of wood. This study involves the use of the international standard ISO 5349, which specifically refers to the evaluation of the vibrations induced in the hand-arm system. The values obtained are compared with 2002/44/CE directive which is currently (2016) in use.

The data acquisition method was instrumentation of the drumsticks and a sleeve, using accelerometers which was instrumentation too which the drummer used for data collection. They are used two groups of drummers: professional who have musical training, and amateurs, who have no musical training but practicing a drum-set regularly.

The results indicate that the drummers with no musical training exceed the daily recommended values, the professional drummers only enter in a zone of prevention action.

Keywords Biomechanics, Percussion, System Hand-Arm, Induced

Índice

Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xv
Simbologia e Siglas.....	xvii
Simbologia.....	xvii
Siglas	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Relevância do trabalho.....	14
1.2. Objetivos	14
1.3. Contribuição do autor	15
1.4. Estrutura do trabalho.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1. Noções teóricas sobre vibrações.....	17
2.2. Exposição do corpo humano às vibrações e os seus efeitos.....	20
2.3. Prevenção e proteção	25
2.4. Avaliação da exposição humana à vibração.....	25
2.4.1. Vibrações no corpo inteiro (VCI).....	26
2.4.2. Vibrações no sistema mão-braço (VMB).....	31
2.4.3. Limites segundo as Normas e diretrizes internacionais	35
2.5. Influência das vibrações na prática de bateria.....	35
3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	37
3.1. Metodologia.....	37
3.2. Descrição e princípio de funcionamento de equipamentos utilizados na aquisição de dados.....	40
3.2.1. Placa de aquisição de dados, <i>National Instruments</i> ®, NI 9234	40
3.2.2. Acelerómetro piezoelétrico triaxial	41
3.3. Peças desenvolvidas utilizadas para a aquisição de dados.....	42
3.3.1. Peça para a instrumentação da baqueta.....	43
3.3.2. Peça para instrumentação da luva.....	44
3.4. Aquisição e processamento de dados.....	46
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	49
4.1. Análise da exposição a vibrações induzidas ao sistema mão-braço	50
4.1.1. Avaliação do fator A(8) e da Doença de Raynaud	55
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
5.1. Sugestões de trabalhos futuros	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
APÊNDICE A.....	67
APÊNDICE B.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Tambor <i>teponaztli</i> utilizado pelo povo Asteca [Adaptado de en.wikipedia.org].	1
Figura 1.2 – Exemplos de djembês. - (a) djembê primordial com pele de animal; (b) djembê com pele porosa; (c) djembê de metal com pele transparente [adaptado de en.wikipédia.org].....	2
Figura 1.3 – Pedais da Ludwig para o bombo. (a) modelo em madeira; (b) pedal no catálogo dos anos 20; (c) modelo <i>speed pedal</i> [Adaptado de drummagazine.com].	3
Figura 1.4 – <i>Drum set</i> ou conjunto de tambores do catálogo da L&L [Adaptado de polarityrecords.com].....	4
Figura 1.5 – Eugene Krupa com uma das suas baterias, com um bombo e dois timbalões de chão [Adaptado de drummerman.net]	4
Figura 1.6 – Bateria de Ringo Starr do grupo britânico <i>The Beatles</i> no programa televisivo <i>The Ed Sullivan Show</i> [Adaptado de nydailynews.com].	5
Figura 1.7 – Baquetas <i>VIC FIRTH American Classic 5A</i> , utilizadas na recolha de dados na fase experimental [Adaptado de vicfirth.com].....	6
Figura 1.8 – Em cima – baquetas em alumínio <i>AHEAD Tommy Lee Studio</i> com cabeça em Nylon; Em baixo – baqueta em fibra de carbono <i>VIC FIRTH Titan T15B</i>	7
Figura 1.9 – Baquetas <i>VIC FIRTH American Classic</i> com ponta gota de água. Em cima – modelo 5A; Em baixo - modelo 5B.	7
Figura 1.10 – Tipos de cabeças de baquetas em madeira. (a) ponta cilíndrica; (b) ponta redonda; (c) ponta em flecha.....	7
Figura 1.11 – (a) baqueta com cabeça em nylon de ponta oval - (b) corte da ponta oval em nylon.	8
Figura 1.12 – Conjunto de tambores Pearl modelo de cinco peças [Adaptado de lonestarpercussion.com]	8
Figura 1.13 – Pratos de condução. (a) prato <i>SABIAN sbr</i> utilizado em baterias de Rock/Pop; (b) prato <i>Zildjian ZHT</i> utilizado em baterias de Jazz.....	9
Figura 1.14 – Timbalões de chão. (a) timbalão de chão tradicional Pearl;(b) timbalão de chão adaptado para o <i>Jazz</i>	9
Figura 1.15 – Bateria de Nick Mason, baterista dos Pink Floyd, com dois tom-tom de duas peles [Adaptado de youtube.com]	10
Figura 1.16 – Quatro Tom-tom de cabeça simples usados na configuração da bateria de Phil Collins [Adaptado de xoverload.com].	11

Figura 1.17 – Bombo <i>Ludwig</i> - utilizado em orquestras, acionado por uma maceta e suportado por um cavalete com rodas [Adaptado de lonestarpercussion.com]	11
Figura 1.18 – (a) caixa de metal Pearl Piccolo Liquid Amber; (b) dois exemplos de esteiras de metal.	12
Figura 1.19 – Evolução do prato de choque. (a) prato de choque dos anos 20 conhecido por <i>Snowshoe</i> ; (b) prato de choque dos anos 30 conhecido por <i>Lowboy</i> ; (c) prato de choque moderno <i>Sabian</i> modelo Gibraltar [Adaptado de polarityrecords.com].	13
Figura 2.1 - Sistema amortecido de segunda ordem [adaptado de Simulink®].....	17
Figura 2.2 – Representação dos parâmetros característicos de um sinal vibratório não periódico aleatório [adaptado de [25]].	19
Figura 2.3 – Aplicação da transformada rápida de Fourier a um sinal vibratório [adaptado de [25]].	20
Figura 2.4 – Representação do corpo humano e um modelo mecânico equivalente com as respectivas frequências naturais [adaptado de [8]].	21
Figura 2.5 – Sistema de eixos ortogonais utilizados para a avaliação da vibração do corpo inteiro [adaptado de [16]].	26
Figura 2.6 – Fatores de ponderação em frequência utilizados na análise de vibração corpo inteiro [adaptado de [20]].	28
Figura 2.7 – Diagrama de avaliação do risco para a saúde inerente à exposição VCI [adaptado de [6]].	31
Figura 2.8 – Sistema de coordenadas utilizadas na avaliação da exposição do sistema mão-braço [adaptado de [18]].	32
Figura 2.9 – Curva de ponderação em frequência utilizada para avaliar o nível de vibração no sistema mão-braço [adaptado de [20]].	33
Figura 2.10 – Exposição diária à vibração e o tempo, em anos, para uma probabilidade de 10% de ocorrência de dedos brancos. No eixo vertical, duração da exposição, em anos. No eixo horizontal valor A(8) em $[m/s^2]$ [adaptado de [18]].	34
Figura 3.1 - Baquetas <i>VIC FIRTH American Classic 5A</i> , utilizadas na aquisição de dados [adaptado de vicfirth.com].	37
Figura 3.2 – Posicionamento do acelerômetro considerando a mesma orientação axial para todos os ensaios [adaptado de (ISO 5349-1,2001)].	38
Figura 3.3 – Bateria <i>ddrum</i> modelo <i>Reflex Standard</i> utilizada para aquisição de dados de todos os ensaios realizados. Constituída por um timbalão de chão, dois tom-tom, uma caixa e um bombo. Pratos do conjunto: dois <i>ride</i> com diâmetros diferentes e um prato de choque.	39
Figura 3.4 – Metodologia de aquisição de dados.	40
Figura 3.5 – (a) chassi da placa de aquisição de dados; (b) condicionador de sinal NI 9234; (c) conjunto chassi e placa [adaptado de (ni.com/products/pt)].	41

Figura 3.6 – (a) acelerómetro piezoelétrico triaxial; (b) condicionador de sinal NI 9234 com o acelerómetro acoplado [adaptado de [26]].	42
Figura 3.7 – Elementos recriados em Solidworks. (a) representação da baqueta <i>VIC FIRTH AC 5A</i> ; (b) representação do acelerómetro utilizado na aquisição de dados.	43
Figura 3.8 – Representação da peça criada na impressora 3D para fixar o acelerómetro à baqueta.	43
Figura 3.9 – Luva utilizada: (a) parte exterior da luva utilizada na aquisição de dados nos ensaios para o sistema-mão braço, com uma nova abertura de forma a ser utilizada em ambas as mãos dos bateristas; (b) Parte interior da luva onde é visível a peça onde é fixado o acelerómetro.	44
Figura 3.10 – Peça desenvolvida para acoplar à luva. (a) área de contacto com a mão do baterista onde é visível o encaixe do acelerómetro; (b) cúpula de proteção do acelerómetro; (c) conjunto peça e acelerómetro.	45
Figura 3.11 – Baterista e a luva instrumentada no ensaio para a recolha de dados das vibrações induzidas pela baqueta na mão direita.	45
Figura 3.12 – Interface do programa utilizado desenvolvido em <i>LabVIEW</i> para adquirir e analisar os dados obtidos.	46
Figura 3.13 – Interface da função de análise temporal do programa de análise de aceleração previamente desenvolvido, amplitude em [Hz].	47
Figura 3.14 – Interface do programa “recorta dados”. Amplitude no eixo vertical em Hz.	48
Figura 4.1 - Evolução da aceleração eficaz, ponderada em frequência, com o acelerómetro colocado na luva para a mão direita do baterista, amplitude em [Hz].	49
Figura 4.2 - Evolução da aceleração eficaz, ponderada em frequência, com o acelerómetro colocado na baqueta para a mão direita do baterista, amplitude em [Hz].	50
Figura 4.3 – Fator RMS em x, y e z para bateristas com formação musical.	52
Figura 4.4 - Fator RMS em x, y e z para bateristas sem formação musical.	53
Figura 4.5 – Comparação da aceleração no eixo y para os dois grupos de bateristas, em relação à mão direita.	54
Figura 4.6 - Comparação da aceleração no eixo y para os dois grupos de bateristas, em relação aos dados adquiridos da baqueta direita.	54
Figura 4.7 – Comparação do valor $A(8)$ com os valores impostos pelas diretrizes internacionais.	56
Figura 4.8 - Comparação do valor $A(8)$ com os valores impostos pelas diretrizes internacionais.	57
Figura 4.9 – Número de anos que os bateristas levam até desenvolver a doença de Raynaud com 10% de probabilidade.	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Efeitos das vibrações induzidas no corpo humano na respetiva gama de frequência.....	21
Tabela 2.2 – Escala proposta no Workshop de Estocolmo adaptada por Lawson e McGeoch (2003)	23
Tabela 2.3 – Estágios das lesões neuro-sensoriais provocadas por vibrações. Escala proposta no Workshop de Estocolmo em 1986 adaptada por Lawson e McGeoch (2003)	24
Tabela 2.4 – Normas internacionais ISO: Avaliação da exposição humana à vibração	26
Tabela 2.5 – Grau de desconforto em relação à aceleração do movimento vibratório	27
Tabela 2.6 – Normas internacionais ISO utilizadas na avaliação da exposição humana à vibração no presente estudo	35
Tabela 3.1 – Dados sobre os bateristas que realizaram os ensaios.	39
Tabela 4.1 – Valor da aceleração eficaz total média ponderada em frequência, acelerações axiais e valores de pico referentes a ambas as mãos e baquetas.	51
Tabela 4.2 – Valores da aceleração eficaz para cada baterista, respetiva média e desvio padrão para o eixo dominante.	51
Tabela 4.3 – Duração da exposição até ultrapassar os limites admissíveis - Bateristas com formação musical.	55
Tabela 4.4 - Duração da exposição até ultrapassar os limites admissíveis - Bateristas sem formação musical.	56
Tabela 1B – Dados obtidos para o baterista 1, valores em m/s^2	71
Tabela 2B - Dados obtidos para o baterista 2, valores em m/s^2	71
Tabela 3B - Dados obtidos para o baterista 3, valores em m/s^2	72
Tabela 4B - Dados obtidos para o baterista 4, valores em m/s^2	72
Tabela 5B - Dados obtidos para o baterista 5, valores em m/s^2	72
Tabela 6B - Dados obtidos para o baterista 6, valores em m/s^2	73

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

a_{hv} – Aceleração eficaz total ponderada em frequência (VMB)

a_i – Aceleração eficaz na banda i de um-terço de oitava

a_v – Valor total de aceleração eficaz ponderada (VCI)

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

$a_{rms,w}$ – Aceleração eficaz ponderada em frequência para VCI

$a_w(t)$ – Aceleração instantânea ponderada em frequência

$a_w(t_0)$ – Aceleração eficaz ponderada em frequência no instante t_0

a_{wx}, a_{wy}, a_{wz} – Acelerações eficazes ponderadas segundo os eixos (x, y e z)

$a_{w,j}$ – Aceleração eficaz global ponderada em frequência segundo j

i – Exposição em análise

i – Número da banda de 1/3 de oitava

j – Eixo coordenado em análise

k_x, k_y, k_z – Fatores multiplicativos dos eixos ortogonais de acordo com a posição do corpo

n – Número de exposição com magnitudes distintas

t – Tempo (variável de integração)

t_0 – Instante de observação (tempo instantâneo)

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

D – Anos de exposição

T – Duração da medição

T_i – Duração da exposição i

T_0 – Período de referência de 8 horas

W_d – Fator de ponderação em frequência para análise de VCI (eixo x e y)

W_h – Fator de ponderação em frequência para análise de VMB

W_i – Fator de ponderação para a banda i de um-terço de oitava

W_k – Fator de ponderação em frequência para análise VCI (eixo z)

τ – Tempo de integração para execução do nivelamento

Siglas

CAD – Computer Aided Design

CFM – Com Formação Musical

CNC - Computer Numeric Control

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

ICP – Integrated Circuit Piezoelectric

IEPE – Integrated Electronic Piezoelectric

ISO – International Organization for Standardization

L&L – Ludwig and Ludwig

NI – National Instruments

RMS – *Root Mean Square*

SFM – Sem Formação Musical

VCI – Vibração Corpo Inteiro

VDV – Valor Dose de Vibração

VMB – Vibração sistema Mão-Braço

VMTV – Valor máximo transiente de vibração

1. INTRODUÇÃO

Considerando a voz, ou seja o som produzido pela vibração das cordas vocais, como primeiro instrumento musical, os instrumentos de percussão podem ser considerados o segundo instrumento musical mais antigo da história da humanidade e o primeiro a ser inventado pelo homem. A par de outros instrumentos musicais, a evolução dos instrumentos de percussão acompanhou a evolução da espécie humana. Fortemente ligados a festejos religiosos, os primeiros tambores faziam parte das cerimónias de adoração aos Deuses como forma de agradecimento ou de culto, marcando o ritmo das danças religiosas. Mais tarde a utilização de tambores tornou-se característica das marchas militares por todo o Mundo, marcando o ritmo dos soldados em apresentações militares, em orquestras e bandas de teatro. Os primeiros instrumentos de percussão criados pelo homem consistam em troncos de árvores ocos, percutidos com as mãos ou com galhos. Aquando do domínio da técnica de caça no período Neolítico, para além do fabrico de roupa, as peles dos animais começaram a ser introduzidas na extremidade de troncos ocos, amplificando assim o som produzido.

As características dos tambores da Antiguidade variam consoante o povo, a região geográfica e a data de referência, pois os materiais que estavam à disposição influenciaram a evolução e criação de instrumentos. No México, feitos de troncos de árvores pelo povo Asteca, princípio do século XIII, os *teponaztli*, Figura 1.1, derivado do vocábulo *tetepontli* que significa tronco de árvore, eram utilizados em cerimónias sagradas.



Figura 1.1 - Tambor *teponaztli* utilizado pelo povo Asteca [Adaptado de en.wikipedia.org].

De modo a tornar o tronco mais ressonante, o povo Asteca inovou o modo de amplificação do som inserindo rasgos na superfície do tronco em forma de H. O som era

manipulado consoante o comprimento e a espessura das ranhuras. Este tambor era percutido com recurso a bastões.

Do outro lado do Oceano Atlântico, com a sua origem na Guiné no início do século XII, o *djembê*, Figura 1.2, é o instrumento mais utilizado até aos dias hoje pelos povos nativos africanos para marcar ritmo em cerimónias religiosas, concertos e durante longas horas de trabalho. O som deste instrumento é obtido pela percussão da pele do tambor com as palmas das mãos. O *djembê* permite obter sons muito variados devido ao diâmetro bastante elevado que a superfície a percutir possui. Os primeiros *djembês* eram construídos em madeira com a aplicação de peles de animais no topo, possuindo assim maior amplificação do som. Nos dias de hoje, para além de outros materiais, ainda se utiliza a madeira para o fabrico deste instrumento embora as peles dos animais sejam substituídas por outros materiais sintéticos, tais como o poliéster.



Figura 1.2 – Exemplos de djembês. (a) djembê primordial com pele de animal; (b) djembê com pele porosa; (c) djembê de metal com pele transparente [adaptado de en.wikipédia.org].

Embora sejam designadas por peles, as superfícies nos tambores atuais onde ocorre o impacto não são fabricadas com peles de animais. Existe uma grande variedade de materiais consoante a tonalidade do som que se pretenda, mais grave ou mais agudo, e conforme o volume do instrumento musical que é exigido pelo músico. As peles mais utilizadas são as peles porosas, as quais apresentam um tom médio e pouco harmónico, a pele transparente, que possui um tom mais grave e ressonante e as peles hidráulicas, que se distinguem pelo facto de possuírem óleo lubrificante entre duas camadas de pele, sendo que o som produzido por estas peles não apresenta qualquer tipo de ressonância.

A existência da bateria moderna deve-se, em parte, a William F. Ludwig, percussionista em bandas de teatro e mais tarde também fabricante de instrumentos musicais.

Até ao ano de 1900, as bandas e orquestras tinham normalmente três percussionistas, sendo cada um deles responsável pelo bombo, pela caixa ou pelos pratos. Ludwig, devido à necessidade de obter quatro batimentos por compasso, ao invés de dois batimentos por compasso que o pedal mais utilizado na época permitia, desenvolveu e patenteou em 25 de Maio de 1909 o primeiro modelo prático do pedal para o bombo [1]. Desta forma, satisfazendo a sua necessidade, acabou por tornar dispensável a utilização de três percussionistas numa banda ou numa orquestra, visto que a sua inovação possibilitou a uma só pessoa executar as funções de dois ou mais bateristas. Outro fator que contribuiu para o desenvolvimento da bateria foi a criação dos suportes de fixação para a caixa. Até à criação destes suportes a caixa era apoiada sobre uma cadeira ou seria fixada por correntes, que por sua vez eram suportadas por o baterista. Mais tarde este suporte foi adaptado para os restantes elementos da bateria.

O primeiro modelo do pedal de Ludwig foi construído em madeira mas devido ao interesse crescente demonstrado por outros bateristas, juntamente com Robert Danly, engenheiro na *International Harvester*, Ludwig desenvolveu um modelo do seu pedal construído em aço, Figura 1.3 b), com a finalidade de ser comercializado. Nasceu assim a famosa companhia de instrumentos musicais *Ludwig & Ludwig*, fundada por William F. Ludwig e o seu irmão, Theobald Ludwig.

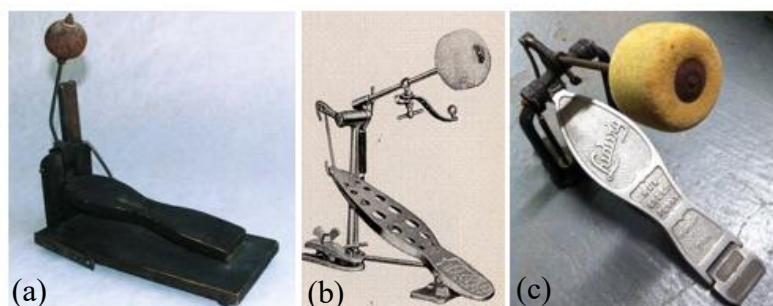


Figura 1.3 – Pedais da Ludwig para o bombo. (a) modelo em madeira; (b) pedal no catálogo dos anos 20; (c) modelo *speed pedal* [Adaptado de drummagazine.com].

Nos anos seguintes os irmãos Ludwig foram adicionando mais produtos ao seu catálogo de vendas, todos eles relacionados com instrumentos musicais, tornando-se na maior empresa especializada no fabrico de baterias do Mundo na década de 20 no século XX.

O *drum set*, como é vulgarmente conhecido, ou conjunto de tambores, sofreu diversas alterações durante os últimos anos, sendo manipulados pelos vários fabricantes de baterias e também pelos bateristas mundialmente famosos. Devido à sua enorme influência no mundo da percussão as suas configurações pessoais serviam de exemplo para novos percussionistas. O primeiro conjunto de tambores que existe catalogado pertence à L&L, Figura 1.4. É constituído por um bombo, que é acionado por um pedal, dois pratos, ambos fixados ao bombo, e uma caixa devidamente apoiada no suporte de fixação de três pés.



Figura 1.4 – *Drum set* ou conjunto de tambores do catálogo da L&L [Adaptado de polarityrecords.com]

O *Jazz* e o *Rock* foram os géneros musicais que mais influenciaram a configuração das baterias nos últimos 70 anos. Eugene Krupa, Figura 1.5, músico americano e baterista de *Jazz*, é considerado um dos bateristas mais influentes do seu género de todo o Mundo. Foi o primeiro músico a utilizar um conjunto completo de bateria na gravação de um disco. Gene Krupa, como era conhecido, popularizou o uso do timbalão de chão, elemento (2) da Figura 1.12.



Figura 1.5 – Eugene Krupa com uma das suas baterias, com um bombo e dois timbalões de chão [Adaptado de drummerman.net]

Inicialmente usava apenas um timbalão de chão, entre dois bombos. Mais tarde passou a usar dois timbalões de chão, com afinações diferentes, à direita de um só bombo.

O evento que potencializou a modernização da bateria aconteceu a 9 de Fevereiro de 1964 nos Estados Unidos da América. O famoso grupo britânico *The Beatles* foi apresentado durante a transmissão do programa televisivo *The Ed Sullivan Show*, Figura 1.6, que nesse dia bateu o recorde de audiências, só ultrapassado mais tarde pela primeira ida do Homem à Lua, atingindo um nível de audiências superior a 70 milhões de pessoas, incluindo neste grupo milhares de bateristas de todo o Mundo.



Figura 1.6 – Bateria de Ringo Starr do grupo britânico *The Beatles* no programa televisivo *The Ed Sullivan Show* [Adaptado de nydailynews.com].

Como se pode constatar, o bombo da bateria de Ringo Starr para além do nome do conjunto possui atipicamente, para a data, a designação *Ludwig*. William Ludwig III, neto de William, assistia ao programa e rapidamente identificou o nome da sua família. Segundo o livro “*The History of the Ludwig Drum Company*”[1] *um agente de vendas de Inglaterra disse a William III “Ringo Starr estava tão orgulhoso por importar uma bateria da América que insistiu em ter o nome de Ludwig estampado na frente do bombo”*. Após Starr ter tornado este conjunto de tambores famoso, as baterias da L&L comercializadas possuíam todas o nome *Ludwig* estampadas no bombo e foram claramente um sucesso de vendas, contribuindo desta forma para a padronização atual de um conjunto de tambores.

Sendo a bateria um instrumento de percussão, o som é produzido através do impacto. Devido às inovações a que a bateria esteve sujeita durante o século XX, o objeto usado para produzir som na bateria foi também aprimorado ao longo do tempo. A baqueta, identificada na Figura 1.7, é um dos elementos usados para produzir o som dos elementos de percussão.



Figura 1.7 – Baquetas VIC FIRTH American Classic 5A, utilizadas na recolha de dados na fase experimental [Adaptado de vicfirth.com].

Na Figura 1.7, a zona identificada pelo número (1) designa-se por cabeça da baqueta, o número (2) representa o pescoço e a secção seguinte, identificada pelo número (3), o ombro, situando-se este entre o pescoço e o corpo da baqueta (4). O cabo, correspondente ao número (5), é o local mais comum onde o baterista segura a baqueta. Devido à constante evolução da bateria e às exigências dos percussionistas ao longo do tempo, as baquetas foram também sendo alvo de muitas alterações. Devido a este facto hoje em dia existe uma grande variedade deste elemento de percussão. As formas mais comuns de distinção das baquetas são o material que as constitui, o seu peso e a sua ponta (cabeça da baqueta).

Quanto à sua constituição, as baquetas podem ser fabricadas em diversos materiais, entre eles, do mais usual e preço mais reduzido para o mais caro e menos comum: madeira, alumínio e fibra de carbono. Devido essencialmente ao seu baixo preço e ao elevado som produzido a madeira é o material mais utilizado. Uma baqueta mais flexível é produzida em madeira de faia, caso se pretenda uma baqueta mais rígida dá-se preferência à madeira de carvalho. No que diz respeito a baquetas de alumínio, estas conferem maior durabilidade mas em contrapartida desgastam a superfície onde ocorre o impacto pois a cabeça da baqueta é em nylon, Figura 1.8. Os cabos podem ser fabricados em poliuretano, reduzindo a fadiga das mãos do baterista, devido à capacidade de absorção da vibração deste material. Por fim, as baquetas em fibra de carbono, também na Figura 1.8, têm a vantagem de conferir elevada rigidez e baixo peso. No entanto, devido ao choque, é usual a ocorrência de fraturas na zona do pescoço da baqueta. São usadas maioritariamente por bateristas profissionais devido ao

seu elevado custo, quando comparadas com as baquetas tradicionais em madeira. As baquetas feitas com este material podem ter a ponta em carbono ou em nylon.



Figura 1.8 – Em cima – baquetas em alumínio *AHEAD Tommy Lee Studio* com cabeça em Nylon; Em baixo – baqueta em fibra de carbono *VIC FIRTH Titan T15B*

A terminologia usada para caracterizar o peso e a espessura da baqueta é constituída por uma letra, A ou B, e um número, de 2 a 9. Quanto menor o número, maior o peso e espessura da baqueta. Até à década de 50 as letras definiam o propósito de cada baqueta, sendo a letra A para uso geral, em inglês *All purpose*, e a letra B, de *Band*, para bandas de teatro e orquestras. Atualmente as letras servem para a distinção entre modelos. Um modelo 5A é mais leve e tem menos espessura que uma 5B, ilustrado na Figura 1.9.



Figura 1.9 – Baquetas *VIC FIRTH American Classic* com ponta gota de água. Em cima – modelo 5A; Em baixo – modelo 5B.

Como já referido anteriormente, o som na bateria é produzido através do impacto. O contacto é feito entre a superfície do elemento a percutir e a ponta da baqueta. Existem muitas variações no que diz respeito a esta característica. Apresentadas na Figura 1.10 e Figura 1.11, estão as pontas mais utilizadas nas baquetas, podendo estas ser em madeira, nylon ou em carbono, no caso das baquetas feitas neste material.



Figura 1.10 – Tipos de cabeças de baquetas em madeira. (a) ponta cilíndrica; (b) ponta redonda; (c) ponta em flecha.



Figura 1.11 – (a) baqueta com cabeça em nylon de ponta oval - (b) corte da ponta oval em nylon.

Não existe um padrão no modo em como deve ser montada uma bateria ou quais os seus elementos devido ao facto da sua escolha ser influenciada pelo estilo de música adotado pela banda ou pelo grupo musical. No entanto existem elementos comuns a todas as baterias. Os fabricantes vendem os seus modelos em conjuntos de cinco ou mais peças, ficando ao dispor de cada baterista adicionar mais tarde novos elementos ao seu conjunto. É apresentada na Figura 1.12 uma bateria do fabricante *Pearl* e os seus constituintes.



Figura 1.12 – Conjunto de tambores Pearl modelo de cinco peças [Adaptado de lonestarpercussion.com]

O elemento representado pelo número (1) da Figura 1.12 é conhecido vulgarmente por *ride*, de “*ride with the music*” ou prato de condução. Apresentado na Figura 1.13 geralmente são feitos em metal, ligas de cobre e zinco ou de cobre e estanho. O prato de condução é colocado usualmente na extremidade direita de todo o conjunto ou do lado do braço dominante do baterista. Este elemento é responsável por manter um padrão de ritmo constante. Tem um som semelhante a um sino e é tocado com uma baqueta. São fabricados entre 45 cm e 55 cm e devido ao seu tamanho possuem uma grande variedade sonora, sendo assim obrigatória a sua presença numa bateria. No *Jazz* ou nos *Blues* são utilizados pratos com um som mais grave e preenchido, enquanto numa bateria de *Rock/Pop* é requerido um prato com um som mais agudo e cortante.

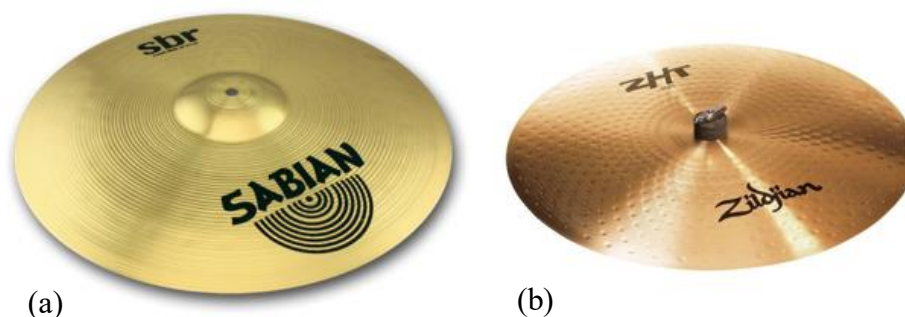


Figura 1.13 – Pratos de condução. (a) prato *SABIAN sbr* utilizado em baterias de Rock/Pop; (b) prato *Zildjian ZHT* utilizado em baterias de Jazz

O timbalão de chão, elemento (2) da Figura 1.12, é um tambor de geometria cilíndrica feito em madeira com duas peles, com diâmetros variáveis entre os 36 e 46 cm, caracterizado pelo seu som grave, sendo o elemento com o tom mais baixo de um conjunto de tambores de cinco peças. Usualmente é colocado ao lado direito de todo o conjunto, situado entre o prato de condução e o baterista, apoiado num suporte de fixação de três pés, Figura 1.14 (a). Nesta configuração o timbalão de chão é tocado com as baquetas. No entanto, alguns bateristas de bandas *Jazz* recorrem ao timbalão de chão adaptado, que consiste num timbalão acionado por um pedal e assente num sistema de pernas de aranha com altura regulável, para obterem um som mais grave e profundo em substituição do tradicional bombo, elemento (4) da Figura 1.12.



Figura 1.14 – Timbalões de chão. (a) timbalão de chão tradicional Pearl; (b) timbalão de chão adaptado para o *Jazz*.

O tom-tom (3), ou tambor tenor, é um tambor com formato cilíndrico também tocado com recurso às baquetas. Tal como o timbalão de chão, é feito em madeira e possui a mesma geometria mas de dimensões mais reduzidas quanto à altura. Num conjunto de tambores de cinco peças é comum a utilização de dois tom-tom de tons diferentes, um mais grave e outro agudo. Existem duas variações principais deste elemento, o tom-tom de cabeça simples e o tom-tom de duas peles, uma pele fixa na base e outra no topo. Na Figura 1.15, a configuração da bateria de Nick Mason possui dois tom-tom de duas peles. O seu diâmetro pode variar entre os 20 e 50 cm consoante o modelo e os fabricantes. A localização destes tambores é variável, podem ser fixados ao bombo mesmo em frente ao baterista ou, no caso de se utilizarem dois ou mais tom-tom, estes são distribuídos ao redor do bombo com recurso a suportes específicos.



Figura 1.15 – Bateria de Nick Mason, baterista dos Pink Floyd, com dois tom-tom de duas peles [Adaptado de youtube.com]

Os tom-tom de cabeça simples, visíveis na bateria de Phil Collins na Figura 1.16, possuem apenas uma pele no topo, tendo sido popularizado durante os anos 70. Este tambor tem a particularidade do diâmetro da sua base ser ligeiramente inferior ao diâmetro do topo. Possuem um som mais oco e são mais fáceis de afinar. Embora não sejam tão comuns como o tom-tom de duas peles, continuam a ser utilizados por diversas bandas, de diversos géneros musicais, e orquestras.

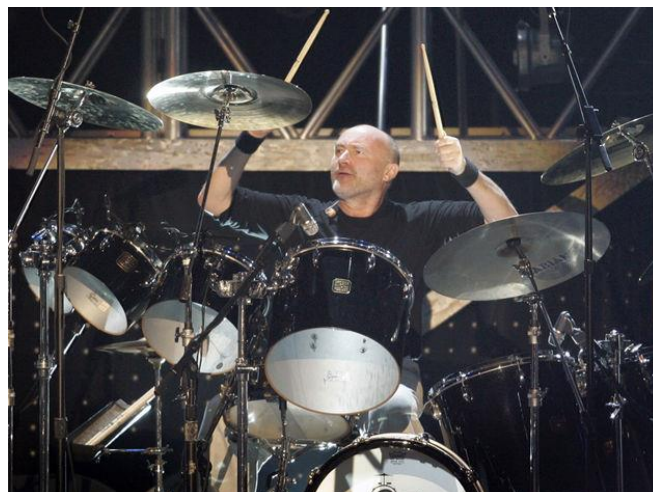


Figura 1.16 – Quatro Tom-tom de cabeça simples usados na configuração da bateria de Phil Collins [Adaptado de xoverload.com].

O bombo, representado pelo número (4) na Figura 1.12, é usualmente o elemento central de uma bateria. O som é produzido através de um pedal, simples ou duplo, acionado pelo pé do baterista. Possui uma geometria cilíndrica, em que o diâmetro da pele é muito superior à sua altura. O som produzido pelo bombo é grave e profundo e é responsável pelo ritmo de tom mais baixo. Até ao início do século XX este elemento era utilizado em orquestras, bandas de teatro e em marchas militares, passando mais tarde a pertencer ao conjunto de tambores. O bombo utilizado em orquestras, conhecido do italiano como *gran cassa*, é suportado por um apoio, designado por cavalete, que sustenta o bombo na vertical ou com uma inclinação até 45°, Figura 1.17, sendo este tocado com recurso a uma maceta. Devido ao elevado som que se pretende numa orquestra, um *gran cassa* tem dimensões muito superiores a um bombo utilizado nas baterias comuns.



Figura 1.17 – Bombo *Ludwig* - utilizado em orquestras, acionado por uma maceta e suportado por um cavalete com rodas [Adaptado de lonestarpercussion.com]

A utilização do bombo num conjunto de tambores depende do género musical adotado. No Jazz é cada vez mais comum a utilização do timbalão de chão adaptado em substituição do tradicional bombo, Figura 1.14 à direita, embora a introdução do duplo bombo, Figura 1.15, tenha sido popularizado por Louie Bellson, baterista de *Jazz*. O duplo bombo é uma alteração do conjunto tradicional de uma bateria, usado maioritariamente por bandas de *Rock* e *Hard Rock*, em vez de se utilizar apenas um bombo na posição central são utilizados dois bombos, cada um em frente a uma perna do baterista.

O último tambor do esquema da Figura 1.12 é designado por caixa (5). Vulgarmente conhecida por tarola, este tambor caracteriza-se pelo facto de possuir uma esteira de metal localizada junto à pele inferior. Muito utilizado em marchas militares e populares. À semelhança dos outros tambores, possui uma geometria cilíndrica e é habitualmente o tambor mais pequeno de todo o conjunto. São fabricados em madeira ou em metal, com diâmetros compreendidos entre 30 e 35 cm. As caixas de metal, mais comuns em orquestras, permitem obter uma sonoridade mais elevada e produzem um som mais agudo. Os metais mais comuns utilizados no fabrico de caixas são o cobre e o alumínio. As caixas de madeira, sendo as mais comuns a madeira de carvalho, de faia ou de mogno, produzem sons de tons mais baixos e profundos

Na Figura 1.18 são expostos dois exemplos de esteiras de metal característico deste tambor. O som produzido pela caixa depende, não só do diâmetro da mesma, mas também do tipo de esteira utilizada, consoante o tipo de metal e o número de fios deste elemento, sendo que, quanto maior o número de fios mais alto é o som produzido. A caixa ao ser percutida na pele superior, com recurso às baquetas, devido ao fenómeno de ressonância faz vibrar a esteira provocando o impacto entre o metal e a pele da superfície inferior do tambor, produzindo assim o seu som característico. A caixa é afinada com recurso a molas que tensionam a esteira em metal conforme o som que se pretende obter.



Figura 1.18 – (a) caixa de metal Pearl Piccolo Liquid Amber; (b) dois exemplos de esteiras de metal.

Por fim é apresentada o prato de choque, elemento (6) da Figura 1.12. Dois pratos são montados face a face, Figura 1.19, sobre um suporte ao qual é acoplado um pedal, este está ligado a uma corrente que por sua vez está ligado ao prato superior. O impacto entre os dois pratos é obtido quando o pedal é pressionado, provocando o movimento vertical descendente do prato superior. Na posição de repouso os pratos não estão em contacto, ao pressionar o pedal os pratos fecham e ao soltar o pedal os pratos abrem e podendo ser acionados com a baqueta em qualquer uma das posições. O prato de choque foi também alvo de diversas evoluções, os primeiros modelos catalogados situavam-se muito próximos do chão, junto ao bombo, e eram apenas acionados pelo pedal, mais tarde a companhia *Walber and Auge*, fabricante americana de baterias, modernizou o suporte do prato choque permitindo que este fosse também tocado com as baquetas. Atualmente é o único elemento da bateria em que o som pode ser produzido por um pedal ou pelas baquetas de forma prática e fluida.

Os pratos de choque são fabricados nas mesmas ligas que os pratos de condução mas possuem diâmetros inferiores, compreendidos entre os 30 e 38 cm de diâmetro.

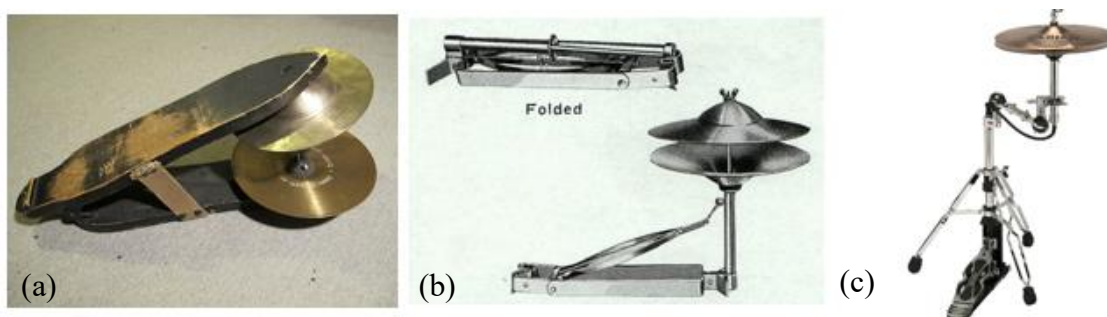


Figura 1.19 – Evolução do prato de choque. (a) prato de choque dos anos 20 conhecido por *Snowshoe*; (b) prato de choque dos anos 30 conhecido por *Lowboy*; (c) prato de choque moderno *Sabian* modelo Gibraltar [Adaptado de polarityrecords.com].

Pretende-se que no fim desta secção o leitor esteja familiarizado com os elementos mais comuns de uma bateria, as suas possíveis variações e os tipos de materiais que as baquetas, os tambores e os pratos podem ser fabricados. Esta secção pretende também que seja perceptível ao leitor a interação entre o baterista e a bateria.

1.1. Relevância do trabalho

A música está fortemente enraizada na sociedade atual, quer seja em orquestras, bandas ou em grupos musicais. Os instrumentos de percussão têm presença obrigatória em qualquer um destes grupos e são necessárias muitas horas de treino diário para aperfeiçoar a técnica necessária para dominar a arte da percussão. Sendo a bateria o elemento mais comum de percussão, de acordo com o anteriormente referido, e devido ao elevado número de bateristas que existem no universo musical, este estudo centra-se na avaliação biomecânica do baterista no que diz respeito às vibrações induzidas no sistema mão-braço. Existe um elevado número de estudos que se focam no instrumento musical e em todos os seus constituintes, nomeadamente no seu aperfeiçoamento para obter melhor qualidade sonora. No entanto, no que diz respeito à interface homem – instrumento, existe um défice de informação disponível que ajude os bateristas a prevenir lesões a curto e a longo prazo.

Devido às vibrações constantes e de longa duração a que um baterista está sujeito, proveniente do impacto causado pela baqueta nos tambores e nos pratos, espera-se que esta avaliação seja uma contribuição para o universo científico e para os próprios músicos, no que diz respeito à sua saúde na prevenção contra danos que possam vir a ser irreversíveis.

1.2. Objetivos

O objetivo principal da presente dissertação consiste na avaliação da interface do sistema biomecânico músico - instrumento na prática de um instrumento de percussão, mais concretamente a bateria, com o intuito de descrever e prever eventuais lesões, a curto e longo prazo, provocadas pelas vibrações induzidas no sistema mão-braço. As etapas para atingir estes podem ser enumeradas do seguinte modo:

- Estudar e enquadrar os efeitos da vibração no corpo humano e os problemas para a saúde que estas podem potenciar;
- Identificar as principais fontes de transmissão de vibrações induzidas na prática do instrumento de percussão (bateria);
- Quantificar e avaliar as vibrações induzidas ao baterista;

- Identificar os principais riscos para a saúde do baterista;
- Estimar o número de horas diárias da prática do instrumento musical sem que seja prejudicial para a saúde do baterista.

1.3. Contribuição do autor

O presente estudo pretende demonstrar a que tipo de solicitações o sistema mão-braço está sujeito enquanto o baterista executa o instrumento de percussão, sendo que as vibrações são recolhidas em tempo real.

A quantificação das vibrações entra em termo de comparação com os níveis de vibração ocupacionais admissíveis, definidos pelas normas internacionais, e com estudos previamente realizados. A norma ISO 5349, para o sistema mão-braço, não se refere à prática de qualquer instrumento musical. No entanto, admitindo que a prática de bateria pode ser enquadrada como uma atividade profissional e de lazer, esta norma, é tida como base deste estudo, com o intuito de avaliar os valores máximos de exposição sem a ocorrência de danos para a saúde humana.

1.4. Estrutura do trabalho

O presente estudo encontra-se descrito em cinco capítulos: introdução, fundamentação teórica, desenvolvimento experimental, apresentação de resultados e por fim as conclusões e considerações finais, onde são também apresentadas propostas pertinentes para futuros trabalhos.

No capítulo da introdução é exposta informação relativa aos elementos em estudo e a forma como o baterista interage com os mesmos. É também descrito o interesse da presente dissertação e os objetivos intrínsecos à mesma. Na fundamentação teórica, segundo capítulo, são descritos diversos conceitos sobre o tema das vibrações, com especial atenção à interação do corpo humano com as vibrações e os efeitos destas sobre a saúde inerentes ao período acumulado de exposição. O capítulo três é referente ao procedimento experimental, onde são descritos os equipamentos utilizados para a recolha e quantificação

de dados bem como o equipamento desenvolvido para otimizar a sua recolha. A metodologia de aquisição e tratamento de dados também são temas abordados no capítulo três. O quarto capítulo destina-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos. Para terminar, as conclusões e as sugestões são apresentadas no capítulo cinco.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo apresenta-se a pesquisa teórica efetuada, tida como importante no contexto do presente trabalho.

2.1. Noções teóricas sobre vibrações

A vibração pode ser definida como o ato ou efeito de vibrar, associada a uma oscilação que pode, ou não, produzir som. O meio que vibra pode ser sólido, líquido ou gasoso, sendo que, a vibração do ar designa-se especificamente por som. Assume-se que um sistema está em vibração quando as alterações de configuração conduzem a movimentos alternativos que se repetem no tempo. Por exemplo, um sistema mecânico sujeito à ação de choques, ou de forças variáveis no tempo, responde com a variação do seu estado de equilíbrio.

Um sistema vibratório é composto pela componente de inércia e pelas forças de restituição, representados na Figura 2.1:

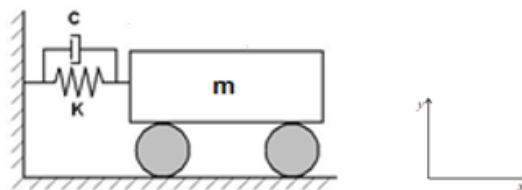


Figura 2.1 - Sistema amortecido de segunda ordem [adaptado de Simulink®].

Ao deslocar a massa na direção do eixo horizontal a mola, K , fica à tração, deste modo a massa após ser libertada é forçada a deslocar-se para a esquerda até atingir a posição de equilíbrio. Devido à inércia o corpo desloca-se para a esquerda da sua posição de equilíbrio colocando a mola à compressão, que empurra novamente o corpo para a direita. Em suma, a massa assume uma oscilação em torno da sua posição de equilíbrio. Para além destas duas componentes existe o fator de amortecimento, c , que provoca a dissipação de

energia transformando energia mecânica em energia térmica. As forças de restituição dependem da posição e são forças conservativas, elásticas ou gravíticas. No que diz respeito ao seu comportamento podem ser lineares ou não lineares. Em relação à inércia esta é quantificada pela massa de um corpo em translação e, no caso de um corpo em rotação em torno do seu eixo, a inércia é quantificada pelo seu momento de inércia em relação ao eixo de rotação. No caso de um sistema vibratório possuir várias massas é necessário determinar a inércia equivalente do sistema. Em menor ou maior grau, todos os sistemas vibratórios possuem amortecimento, sob a forma de atrito entre partes ou dissipação interna de energia.

As vibrações a que o ser humano está exposto diariamente podem ser, ou não, perceptíveis por este, dependendo da gama de frequências que caracterizam o movimento oscilatório. Em termos de frequência, a vibração pode ser regular, no caso de se verificar apenas uma frequência de vibração, ou irregular, se o sinal for caracterizado por mais do que uma frequência. Para quantificar estas vibrações, uma análise recorrendo aos diagramas de amplitude de vibração nem sempre se torna viável. Deste modo, para contornar esta dificuldade com que o avaliador se depara, recorre-se a uma análise em frequência. A vibração é quantificada sobre uma escala temporal, visto que, sendo regular ou irregular, um movimento repete-se após um intervalo de tempo. Assim, cada corpo vibrante pode ser caracterizado por uma frequência, a qual é definida pelo número de ciclos que o corpo completa, tendo como referência a posição de equilíbrio, num segundo.

Para analisar um sinal vibratório de forma coerente, a primeira abordagem a um problema que envolve sistemas vibratórios deve ser a caracterização e identificação dos parâmetros associados à própria vibração, considerando sempre os parâmetros mais importantes, nomeadamente: o valor pico a pico, o valor médio, valor da RMS, em inglês *Root Mean Square*, o fator de forma e o fator de crista. O primeiro parâmetro, valor pico a pico, representa a máxima amplitude do movimento, sendo um fator muito importante em órgãos de máquinas, onde as tensões geradas por amplitudes ou deslocamentos vibratórios elevados podem comprometer o funcionamento real a longo prazo, sendo o pico correspondente ao valor máximo do sinal. O valor médio representa a média aritmética do sinal, utilizado para quantificar fisicamente a vibração num determinado intervalo temporal. O valor RMS, ou valor eficaz, representa a média quadrática do sinal, revela a magnitude da energia contida no movimento vibratório. Por fim, o fator de forma e o fator de crista expõem

informações sobre a homogeneidade do sinal vibratório, servindo como indicadores de picos anómalos resultantes de fenómenos que se repetem em intervalos regulares [2].

A Figura 2.2 apresenta um exemplo de um sinal vibratório, do tipo não harmónico e não periódico. Define-se sinal harmónico como um sinal que pode ser representado por uma função sinusoidal. Um sinal periódico é aquele que se repete após um período completo.

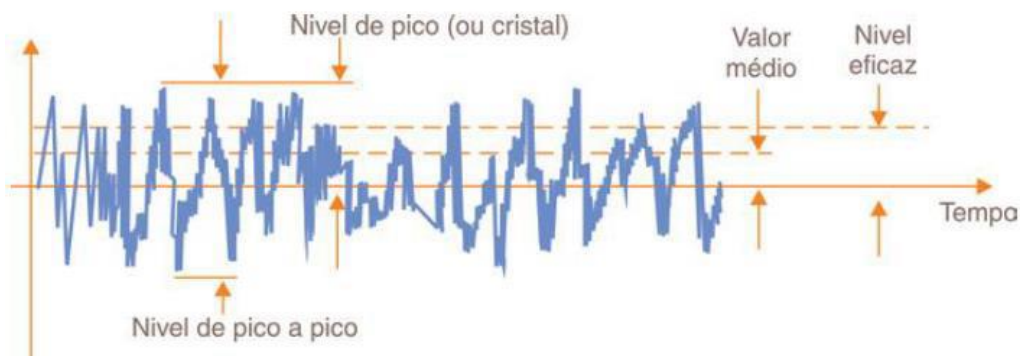


Figura 2.2 – Representação dos parâmetros característicos de um sinal vibratório não periódico aleatório [adaptado de [25]].

Na grande maioria dos casos estudados a vibração ocorre em várias frequências e de forma não periódica. Desta maneira a análise temporal, amplitude-tempo, não permite retirar dados conclusivos relativos ao movimento vibratório. Joseph Fourier, matemático e físico francês, estudou e desenvolveu um método analítico conhecido como as séries de Fourier. Este método permite decompor funções periódicas em séries trigonométricas convergentes.

A simplificação do sinal vibratório não harmónico está representada na Figura 2.3, sendo este dividido pelas suas harmónicas com recurso à transformada rápida de Fourier. É possível ainda visualizar o espectro de frequência e associar a frequência e amplitude a cada um dos sinais constituintes.

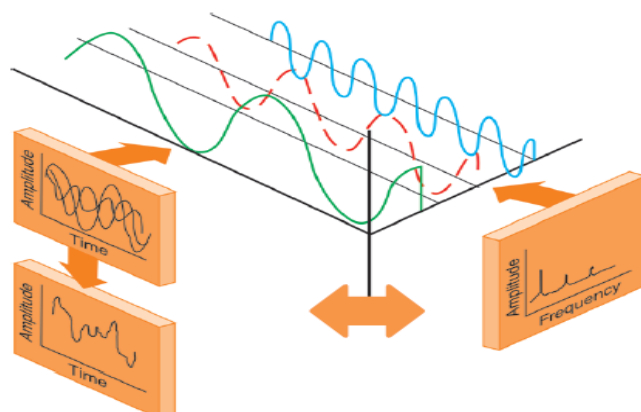


Figura 2.3 – Aplicação da transformada rápida de Fourier a um sinal vibratório [adaptado de [25]].

2.2. Exposição do corpo humano às vibrações e os seus efeitos

Direta ou indiretamente o ser humano está sujeito aos mais variados tipos de vibração, oriundas de inúmeras fontes durante o dia-a-dia. Para avaliar a resposta do corpo humano a esta exposição é necessário que o mesmo seja tratado como um sistema complexo, a nível físico e biológico, simplificando-o num sistema biomecânico que incorpora componentes lineares e não lineares, que variam de pessoa para pessoa [2]. Tendo em conta esta condição é essencial aferir o fenómeno de ressonância no corpo humano. Este possui uma vibração natural, e se uma frequência externa coincidir com a sua frequência natural o sistema tem tendência para oscilar em valores de máxima amplitude. Como o sistema tem capacidade para armazenar energia no decurso do movimento vibratório, a frequência de ressonância é a mais perigosa para o corpo humano, pois este amplifica a vibração que recebe [3].

O corpo humano apresenta valores de frequência natural diferentes para cada uma das suas partes, ilustrado na Figura 2.4. Qualquer corpo possui uma ou mais frequências próprias de vibração, as quais se encontram diretamente relacionadas com a sua massa e constituição química [4].

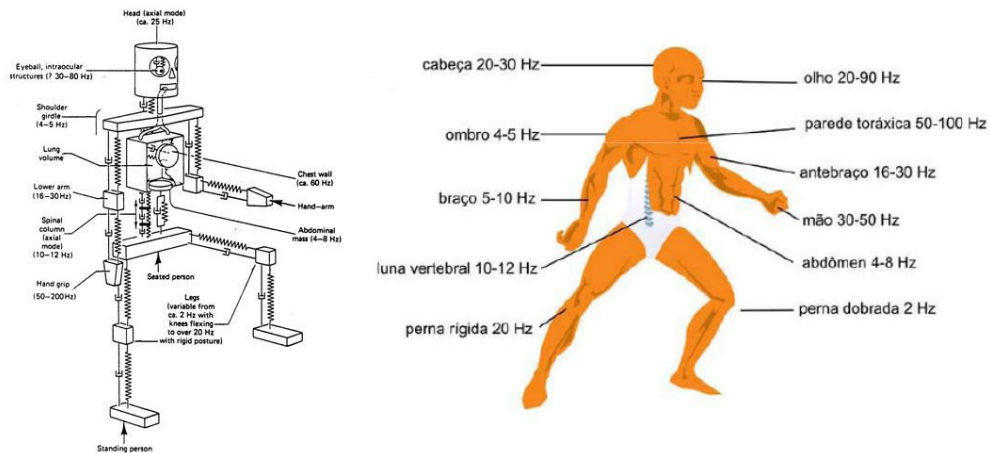


Figura 2.4 – Representação do corpo humano e um modelo mecânico equivalente com as respectivas frequências naturais [adaptado de [8]].

As vibrações ao atingirem o corpo humano podem propagar-se por diversos eixos e direções. No sentido transversal, segundo o eixo x ou y, afetando o tórax e os braços, e no sentido longitudinal, segundo o eixo z, na coluna vertebral.

Como foi referido anteriormente, cada zona do corpo tem frequências naturais diferentes, assim, uma faixa de frequências que provoque ressonância no tórax-abdómen, que ocorre num intervalo entre 50 a 100 Hz, não provoca ressonância no conjunto cabeça-pescoço-ombro, onde o efeito de ressonância é provocado entre 20 a 30 Hz. Entre os 20 e 90 Hz o sistema crânio-maxilar é afetado, enquanto que no globo ocular são sentidas perturbações devidas à ressonância para gamas entre 20 e 90 Hz. São apresentados na Tabela 2.1 alguns dos fenómenos associados a vibrações em que a frequência se situa entre os 4 e 20 Hz.

Tabela 2.1 – Efeitos das vibrações induzidas no corpo humano na respetiva gama de frequência.

Efeitos	Intervalo de Frequências [Hz]
Aumento do ritmo respiratório	4-8
Aumento do tónus muscular	13-20
Alterações do sistema cardiovascular	13-20
Contrações musculares	4-9
Desconforto	4-9
Dores abdominais	4-10
Dores de garganta	12-16
Dores no maxilar	6-8
Desconforto na cabeça	13-20
Urgência em urinar e defecar	10-18

Quanto maior a duração da exposição a vibrações, maior a probabilidade do risco de existência de lesões fisiológicas e patológicas. Para baixos níveis de vibração haverá desconforto e redução de eficiência, enquanto que para elevados níveis e longos períodos de exposição há a ocorrência de doenças que podem afetar os vasos sanguíneos e a circulação [5].

De modo a quantificar o efeito das vibrações no corpo humano e a tornar objetivo cada caso em estudo recorre-se a dois tipos de classificação de vibrações: vibração corpo inteiro, VCI, e vibração no sistema mão-braço, VMB.

Segundo a Norma 2631-1 [6] as VCI são transmitidas na sua grande maioria a partir de superfícies de suporte. Para uma pessoa que esteja em pé as vibrações são transmitidas pelos pés, no caso de estar sentada a vibração é transmitida ao corpo pela base do assento. As VCI são caracterizadas pela baixa frequência e elevada amplitude, numa gama de 1 a 80 Hz. Para valores de frequência superiores determinados fatores possuem maior influência na resposta à vibração, como por exemplo o ponto de aplicação, a direção, a posição e a área de amortecimento [2]. Por exemplo, num veículo de quatro rodas a VCI é transmitida através do assento, do encosto e do apoio dos pés, podendo provocar efeitos nocivos no sistema neuro- esquelético, em condições adversas por longos períodos de exposição [2];[7].

As vibrações que atingem as mãos e os braços (VMB) têm merecido maior interesse pela comunidade científica e é onde incidem a grande maioria dos estudos, situando-se na faixa de 6,3 a 1250 Hz [8]. De acordo com a Norma 5805 [9] define-se a VMB como a vibração ou choque mecânico que é aplicada ou transmitida ao sistema, através da palma da mão ou dos dedos aquando da utilização de uma ferramenta ou peça de trabalho. Segundo a mesma norma, o sistema mão-braço diz respeito a membros superiores do corpo humano que são considerados como recetores de vibração. De acordo com Soeiro [8] a VMB afeta o sistema vascular, neurológico, osteoarticular e muscular. Se as frequências de vibração forem inferiores a 30Hz é possível identificar perturbações osteoarticulares nos punhos, cotovelos e ombros. Problemas vasculares são relacionados com frequências compreendidas entre 40 e 125Hz, provocando formigamento, palidez, cianose e no limite gangrena nas extremidades dos dedos, a designada doença de Raynaud. Foi Maurice Raynaud, um médico francês que primeiro descreveu este fenómeno. De acordo com Milho [10] as vibrações nesta gama de frequências promovem temporariamente a supressão da

circulação sanguínea para os dedos, e se conjugada com baixas temperaturas o efeito é ainda mais adverso. Como consequência ocorre a perda total da sensibilidade digital e conseqüentemente a destreza, que pode interferir nas tarefas diárias de um trabalhador. A escala numérica proposta em 1986 no *Workshop* de Estocolmo é um sistema de classificação desenvolvido para relacionar os sintomas com o grau da doença de dedos brancos induzidos pela vibração, Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Escala proposta no Workshop de Estocolmo adaptada por Lawson e McGeoch (2003)

Estado	Grau	Sintomas
0	Não aplicável	Sem qualquer existência de ataques
1	Leve	Ataques esporádicos que afetam somente as pontas de um ou mais dedos
2	Moderado	Ataques esporádicos que afetam as falanges distais e médias de um ou mais dedos
3	Severo	Ataques frequentes que afetam todas as falanges da maioria dos dedos
4	Muito severo	Mesmo sintoma da fase 3 mas com alterações tróficas na pele dos dedos

Num estudo sobre a síndrome das vibrações mão-braço em mecânicos de nacionalidade sueca, com uma média diária de exposição de 14 mins durante 12 anos a $3,5 \text{ m/s}^2$, verificaram-se que cerca de 15% dos trabalhadores apresentavam a síndrome dos dedos brancos, prevendo-se que ao fim de 20 anos de exposição a percentagem de operadores afetados aumentasse 10% [11]. Bovenzi *et al.* [12] estudaram a resposta da circulação sanguínea nos dedos em duas condições distintas no que diz respeito aos estímulos de vibração, contínua e intermitente, com a mesma magnitude total, a mesma energia equivalente e a mesma frequência. Embora não tenham conseguido relacionar os graus de severidade diferentes para os diversos tipos de estimulação, encontraram uma diminuição no fluxo sanguíneo nos dedos durante as exposições.

No que diz respeito a lesões do foro neurológico no ser humano, como já foi referido, as vibrações podem provocar sensações de formigueiro e dormência nos dedos e mãos. Segundo Milho [10] os trabalhadores expostos a vibrações podem apresentar também sinais e sintomas de neuropatias, tais como a Síndrome do Túnel Cárpico, uma lesão devida à compressão do nervo mediano. De acordo com Neto [13] a exposição contínua diminui a excitabilidade dos recetores da pele e induz mudanças patológicas nos nervos dos dedos, tal como fibrose e perda de fibras nervosas. Foi também proposta uma escala no Workshop de Estocolmo em 1986, Tabela 2.3, para classificar os vários estágios de lesões neurológicas

provocadas pela exposição contínua a vibrações, segundo dados adquiridos a partir de exames clínicos e testes objetivos.

Tabela 2.3 – Estágios das lesões neuro-sensoriais provocadas por vibrações. Escala proposta no Workshop de Estocolmo em 1986 adaptada por Lawson e McGeoch (2003)

Estágio	Sinais e Sintomas
0SN	Exposição a vibrações sem sintomas
1SN	Dormência intermitente com/sem formiguelo
2SN	Dormência intermitente/persistente com redução da percepção sensorial
3SN	Dormência intermitente/persistente com redução da discriminação tátil e/ou destreza manual

Para vibrações com frequências inferiores a 30 Hz é possível identificar perturbações osteoarticulares nos punhos, cotovelos e ombros [8]. Vários estudos sugerem que as mudanças das características esqueléticas das mãos, pulso e cotovelo possam resultar da exposição excessiva a vibrações transmitidas às mãos. Trabalhadores da indústria mineira, de construção e operadores de indústria, expostos a choques e vibrações de baixa frequência mas de elevada amplitude provenientes de ferramentas pneumáticas e de percussão são vítimas de osteoartroses no pulso e cotovelos [13].

Malchaire *et al.* em 2001[14], dedicaram-se a um estudo sobre trabalhadores expostos a vibrações, com o objetivo de estabelecer uma relação entre o nível de vibração e queixas músculo-esqueléticas, nomeadamente, a síndrome do túnel cárpico, ou queixas neurosensoriais, tais como, tremuras, diminuição da sensibilidade tátil e perda de força. De acordo com os autores o risco de desenvolvimento de lesões neurosensoriais severas é cerca de 6% de população exposta, para um valor de 2,5 m/s², e 10% da mesma população para um valor de 5,0 m/s². Não só a nível neurológico mas também muscular, um estudo realizado por Necking *et al.* (2004) foram observados 20 pacientes que sofriam de síndrome da VMB, sendo que, as principais alterações morfológicas encontradas foram de carácter muscular e nervos motores. Referem que o número de células musculares e nervosas afetadas estão diretamente relacionadas com a exposição vibracional total acumulada [15].

Para a prática de um instrumento de percussão, nomeadamente a bateria, não existem normas nem estudos com os quais se possa fazer uma comparação de dados adquiridos. Desta forma, os estudos realizados noutras condições, como por exemplo a de trabalhadores expostos a vibrações contínuas, servem como termo de comparação com os resultados obtidos. Considerando a absorção de vibrações a que o sistema mão-braço de um

baterista está sujeito, existe um risco de aparecimento de qualquer um dos sintomas descritos no presente subcapítulo.

2.3. Prevenção e proteção

Os procedimentos técnicos para reduzir a exposição a vibrações devem começar pela correta identificação das principais fontes de vibração e pela avaliação da exposição do ser humano. Após este ponto, é necessário selecionar máquinas com menores níveis de vibração e que possuam sistemas anti-vibração ativos ou passivos. Só depois de cumprir estes procedimentos é que se deve optar pela proteção individual [5].

As medidas organizacionais têm em vista a gestão de tarefas de modo a minimizar o tempo de exposição de um trabalhador às vibrações. Para cumprir este parâmetro é introduzido um sistema de rotatividade nos postos de trabalho e pausas para recuperação após períodos de exposição prolongados [5]. Estas medidas administrativas podem ser conjugadas com medidas técnicas, as quais têm como foco a redução, ou eliminação sempre que possível, das vibrações transmitidas, muitas vezes ligadas a soluções que têm como base a engenharia.

No caso em estudo na presente dissertação, as vibrações são originadas pelo impacto das baquetas nos diferentes tambores e pratos, sendo a avaliação da exposição um dos objetivos principais. Alguns fabricantes de baquetas fornecem alternativas aos bateristas alterando o material da zona do cabo, visível na Figura 1.8, de modo a prevenir lesões, nomeadamente doenças cutâneas superficiais e a diminuição da transmissão de vibrações para o sistema mão braço. No próximo subcapítulo serão apresentadas as normas internacionais utilizadas neste estudo de modo a avaliar a exposição do baterista à vibração.

2.4. Avaliação da exposição humana à vibração

Na Tabela 2.4 são apresentadas as normas internacionais referentes à avaliação da exposição humana a vibrações no corpo inteiro e no sistema mão-braço. Para além destas,

após a descrição das normas ISO, são ainda apresentados os limites segundo as normas e diretrizes internacionais.

Tabela 2.4 – Normas internacionais ISO: Avaliação da exposição humana à vibração

Normas ISO	
Vibração Corpo Inteiro (VCI)	ISO 2631 – Guia para avaliação da exposição humana à vibração do corpo inteiro [16]; ISO 2631-1 – Vibração mecânica e choque - Parte 1: Requisitos gerais [6].
Vibração sistema Mão-Braço (VMB)	ISO 5349 – Guia para a medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida à mão [17]; ISO 5349-1 – Parte 1: Requisitos Gerais [18]; ISO 5349-2 – Parte 2: Guia prático para a medição no local de trabalho [19].

2.4.1. Vibrações no corpo inteiro (VCI)

Embora não seja realizada uma análise às VCI no presente estudo, é feita neste subcapítulo, uma apresentação resumida da norma pela qual essa avaliação se rege, com o objetivo de poder ser um suplemento para a continuação da avaliação das vibrações a que um baterista está sujeito aquando da prática do instrumento de percussão.

A norma ISO 2631 é a norma regente para a quantificação dos efeitos do movimento vibratório no corpo inteiro e existem atualmente versões atualizadas da mesma. A ISO 2631 permite identificar os efeitos nocivos para a saúde da população em estudo, a sua perceção e o conforto.

Na Figura 2.5, para a posição sentada, em pé ou deitada é proposta pela norma a utilização de eixos ortogonais para a avaliação da magnitude em diferentes direções.

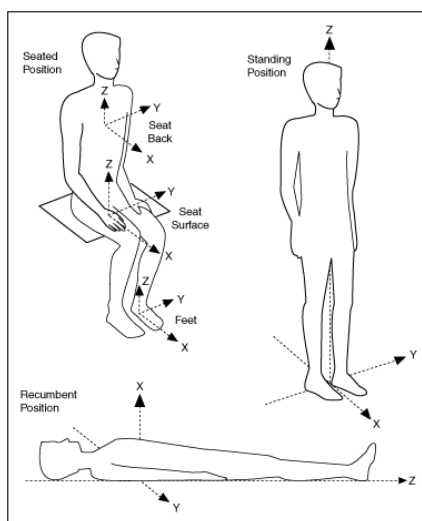


Figura 2.5 – Sistema de eixos ortogonais utilizados para a avaliação da vibração do corpo inteiro [adaptado de [16]].

Para além de sugerir o sistema de eixos, são também sugeridos os fatores de ponderação em frequência para os respetivos eixos, visto que, como já foi referido, o corpo humano apresenta uma resposta à vibração diferente para cada um dos eixos:

- w_k – Fator de ponderação em frequência para o corpo inteiro, eixo z;
- w_d – Fator de ponderação em frequência para o corpo inteiro, eixos x e y.

A mesma norma estabelece também os limiares de incomodidade e de perda de eficiência por fadiga. Enunciada na Tabela 2.5, de acordo com o nível de vibração, caracterizada pela aceleração do movimento vibratório, é possível associar os valores da aceleração a uma escala de desconforto (os valores registados foram obtidos através de ensaios realizados em pessoas a bordo de um comboio de passageiros) [6].

Tabela 2.5 – Grau de desconforto em relação à aceleração do movimento vibratório.

Aceleração [m/s ²]	Escala de desconforto
<0,315	Confortável
0,315-0,63	Pouco confortável
0,5-1	Razoavelmente desconfortável
0,8-1,6	Desconfortável
1,25-2,5	Muito desconfortável
>2,5	Extremamente desconfortável

Numa análise em frequência, é sugerida a utilização de filtros de banda percentual constante, especificamente em um terço de banda de oitava. São apresentadas as características do filtro na banda de oitava recomendada, com a indicação do número de banda, frequência central e os respetivos fatores de ponderação para cada banda de frequência. Em forma de diagrama, na Figura 2.6, estão representados esses mesmos fatores de ponderação.

O fator de aceleração eficaz, RMS, é o fator que melhor representa a quantificação da magnitude e respetiva severidade da vibração. Segundo a Norma ISO 2631 [16] deve ser determinado para cada um dos eixos ortogonais, tendo em conta o respetivo fator de ponderação. Esta aceleração pode ser determinada através da seguinte equação:

$$a_{rms,w} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ para os eixos } x, y \text{ e } z \quad (2.1)$$

onde se definem: $a_{rms,w}$ - Aceleração eficaz ponderada, em $[m/s^2]$, segundo cada eixo ortogonal; $a_w(t)$ – Aceleração instantânea, em $[m/s^2]$, ponderada em frequência; T – Intervalo de tempo da medição, em segundos [s].

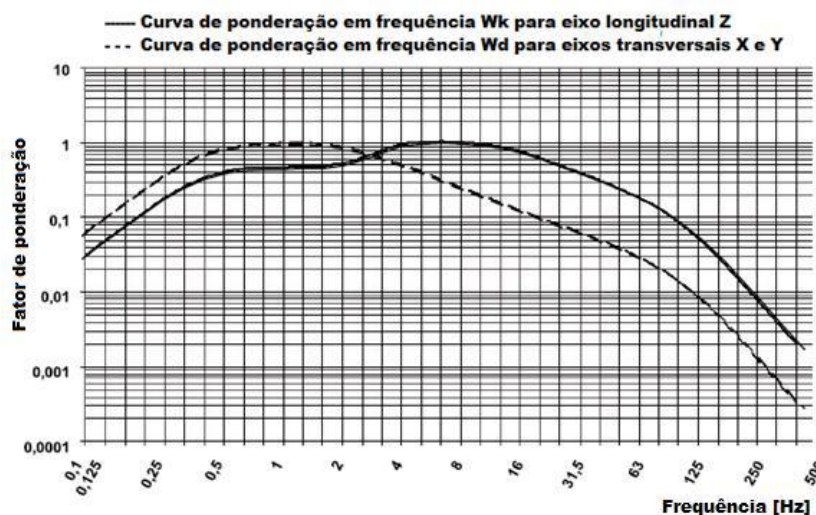


Figura 2.6 – Fatores de ponderação em frequência utilizados na análise de vibração corpo inteiro [adaptado de [20]].

É possível aplicar a Norma ISO 2631-1 a exposições vibratórias periódicas aleatórias ou transientes, em indivíduos saudáveis durante a sua atividade laboral ou de lazer. Os parâmetros que se devem ter em conta são o valor de pico e o valor eficaz, ambos relacionados pelo fator de crista. De acordo com a Norma [6] o fator de crista é o módulo da relação entre o máximo valor instantâneo de pico da aceleração ponderada em frequência e o seu valor eficaz, não indicando necessariamente a severidade da vibração. Quando o fator de crista é elevado, choques ocasionais ou vibrações transientes, o método de análise RMS nem sempre é suficientemente preciso na determinação da magnitude. Assim é recomendada a utilização de métodos adicionais, por exemplo, o método do RMS móvel ou o método da quarta potência da dose de vibração.

Definido pela equação 2.2, o método do RMS móvel considera a existência de choques e vibrações transientes, utilizando uma constante de tempo curta de integração.

$$a_{w(t_0)} = \left[\frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ para os eixos } x, y \text{ e } z \quad (2.2)$$

onde se definem: $a_{w(t_0)}$ - Aceleração eficaz ponderada em frequência no instante t_0 , em $[m/s^2]$, segundo cada eixo ortogonal; $a_w(t)$ - Aceleração instantânea ponderada em frequência, em $[m/s^2]$; τ - Tempo de integração para execução do nivelamento; t_0 - instante de observação; t - Tempo, variável de integração.

O valor máximo transiente de vibração, VMTV, define a magnitude da vibração, correspondendo ao valor máximo obtido pelo método RMS móvel (durante o período de observação).

$$VMTV = \text{máximo}[a_{w(t_0)}] \quad (2.3)$$

Outro método adicional é designado pelo método da quarta potência da dose de vibração, VDV, equação 2.4.

$$VDV = \left[\int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right]^{\frac{1}{4}} \text{ para os eixos } x, y \text{ e } z \quad (2.4)$$

onde se definem: VDV - Valor da dose de vibração, expresso em $[m/s^{1,75}]$; $a_w(t)$ - Aceleração instantânea ponderada em frequência; T - tempo de duração da medição. Caracteriza-se por ser um método de quarta ordem e devido a tal, mais sensível a picos. Produz uma média mais exata que o método base de segunda potência.

Se os valores da equação 2.5 forem excedidos a utilização destes métodos é justificada dado que não se devem exceder os valores de referência.

$$\frac{VMTV}{a_{rms,w}} = 1,5 ; \frac{VDV}{a_{rms,w} T^{\frac{1}{4}}} = 1,75 \quad (2.5)$$

Dado que nem sempre é viável aplicar uma análise temporal ao sinal vibratório, pode-se recorrer a uma análise de espectros de frequência. Representada na equação 2.6 a aceleração eficaz global ponderada para cada eixo no domínio da frequência, é determinada da seguinte forma:

$$a_{w,j} = \left[\sum_{i=1}^n (W_i a_{j,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \text{ para os eixos } x, y \text{ e } z \quad (2.6)$$

onde se definem: $a_{w,j}$ – Aceleração eficaz global ponderada em frequência segundo cada eixo ortogonal; W_i – Fator de ponderação para a banda i de 1/3 de oitava; a_i – Aceleração eficaz na banda i de 1/3 de oitava; i – Número da banda de 1/3 de oitava; j – Eixo coordenado em análise.

Em situações em que o objetivo do estudo consiste em obter uma quantificação do valor total de aceleração eficaz ponderado em frequência, segundo os três eixos ortogonais, é necessário recorrer-se à equação 2.7. Deve ser este o valor a utilizar na avaliação da exposição à vibração sempre que não se verifique a existência de um eixo dominante.

$$a_v = \sqrt{(k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2)} \quad (2.7)$$

onde: a_v – Valor total de aceleração eficaz ponderada; a_{wx}, a_{wy}, a_{wz} – Acelerações eficazes ponderadas segundo os eixos x, y e z ; k_x, k_y, k_z – Fatores multiplicativos dos eixos ortogonais de acordo com a posição do corpo.

Quando existe um eixo de vibração dominante, para a quantificação da exposição, diária, deve ser considerado apenas o valor da aceleração eficaz predominante desse eixo. A exposição é quantificada segundo o parâmetro $A(8)$, equação 2.8:

$$A(8) = k_j a_{wj} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.8)$$

em que a_{wj} é a aceleração eficaz ponderada registada no eixo dominante, k_j o fator multiplicativo desse mesmo eixo, T a duração da exposição diária à vibração e T_0 a duração normalizada de oito horas de trabalho diárias.

Se a exposição diária às vibrações for constituída por uma sucessão de exposições com diferentes magnitudes, o valor de $A(8)$ a utilizar é expresso na equação 2.9:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wi}^2 \times T_i} \quad (2.9)$$

sendo a_i a contribuição da aceleração eficaz ponderada registada em cada eixo.

A Norma ISO 2631-1 de 1997, apresenta um gráfico, exibido na Figura 2.7, que mostra a faixa onde a exposição à vibração é considerada prejudicial para a saúde humana, aplicável normalmente à posição sentada, para um período entre 4 e 8 horas de exposição. Este diagrama relaciona a aceleração eficaz ponderada, em $[m/s^2]$, no eixo vertical, e a duração da exposição, em horas [h], no eixo horizontal.

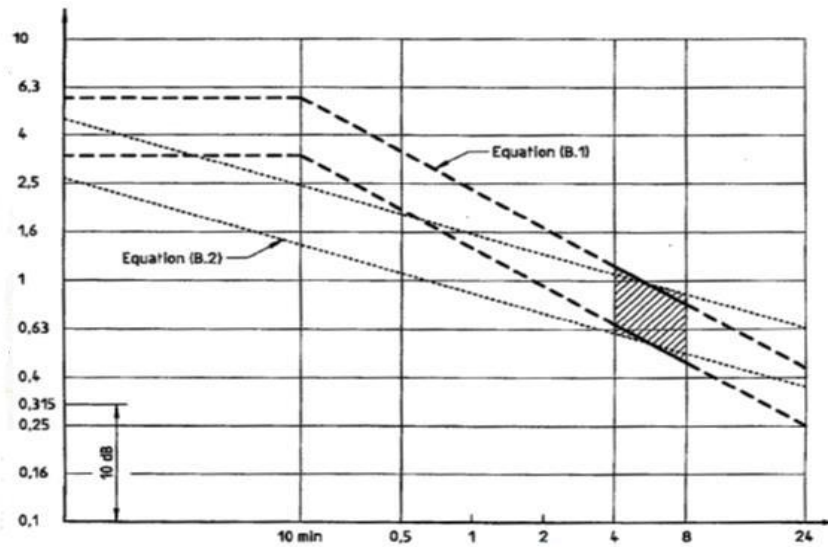


Figura 2.7 – Diagrama de avaliação do risco para a saúde inerente à exposição VCI [adaptado de [6]].

No gráfico da figura 2.7, são indicados dois métodos, equações B.1 e B.2, de análise do sinal vibratório. Estes métodos são alternativos à análise de banda de frequência e estabelecem bandas onde a exposição à vibração deve ser controlada. Para valores inferiores à banda não são reconhecidos riscos para a saúde, para valores contidos no intervalo de bandas, a norma sugere que devem ser tomadas precauções. Quando os valores são superiores existe uma elevada probabilidade de risco para a saúde.

2.4.2. Vibrações no sistema mão-braço (VMB)

A Norma ISO 5349 [17], tal como a Norma ISO 2631, estabelece diretrizes na quantificação e avaliação da exposição à vibração, mas para o sistema mão-braço. Os parâmetros a ter em conta segundo esta norma são a magnitude, o espectro de frequências, a duração da exposição e da exposição acumulada. As vibrações no sistema mão-braço são associadas a diversos efeitos nocivos na saúde humana, alguns já supra mencionados. A

norma apresenta uma relação para a qual existe uma probabilidade de 10% do aparecimento da doença de Raynaud se manifestar numa população sujeita a vibrações induzidas no sistema mão-braço. Para uma relação dose/resposta, a probabilidade de ocorrência de algum sintoma, depende do valor da aceleração equivalente do movimento vibratório, para um período de exposição diário de quatro horas ao longo dos anos.

Importante realçar que a Norma ISO 5349-1 não proporciona resultados com elevada percentagem de fiabilidade, embora a margem de erro seja mínima visto que os limites de exposição não são definidos [18].

Na Figura 2.8, são apresentados os dois sistemas pela qual devem ser realizadas as medições de aceleração.

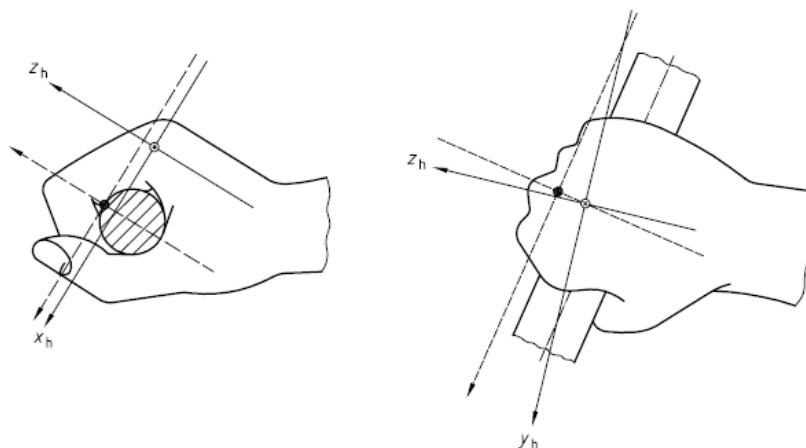


Figura 2.8 – Sistema de coordenadas utilizadas na avaliação da exposição do sistema mão-braço [adaptado de [18]].

De acordo com a Norma ISO 5349-1 [18] a medição da aceleração deve ser realizada segundo um sistema de eixos ortogonais, duas soluções possíveis apresentadas são o sistema de eixos biodinâmico, representado na Figura 2.8 pela linha contínua, em que a cabeça do terceiro metacarpo é considerada como ponto de origem do sistema de eixos, ou pelo sistema de eixos basicêntrico, em que a origem do referencial está localizada na interface entre a mão e a superfície de transmissão de vibração, representada na Figura 2.8 a tracejado.

A aceleração deve ser a primeira grandeza a ser medida, obtida segundo cada direção, filtrada e ponderada em frequência. Esta ponderação em frequência é realizada com o objetivo de evidenciar frequências onde exista uma maior probabilidade de ocorrência de

danos no sistema mão-braço [20]. Na Figura 2.9, o fator de ponderação, w_h , em função da frequência de vibração, expresso graficamente.

A aceleração eficaz ponderada em frequência, $a_{rms,hw}$, representada pela equação 2.10, deve ser determinada segundo cada um dos eixos coordenados.

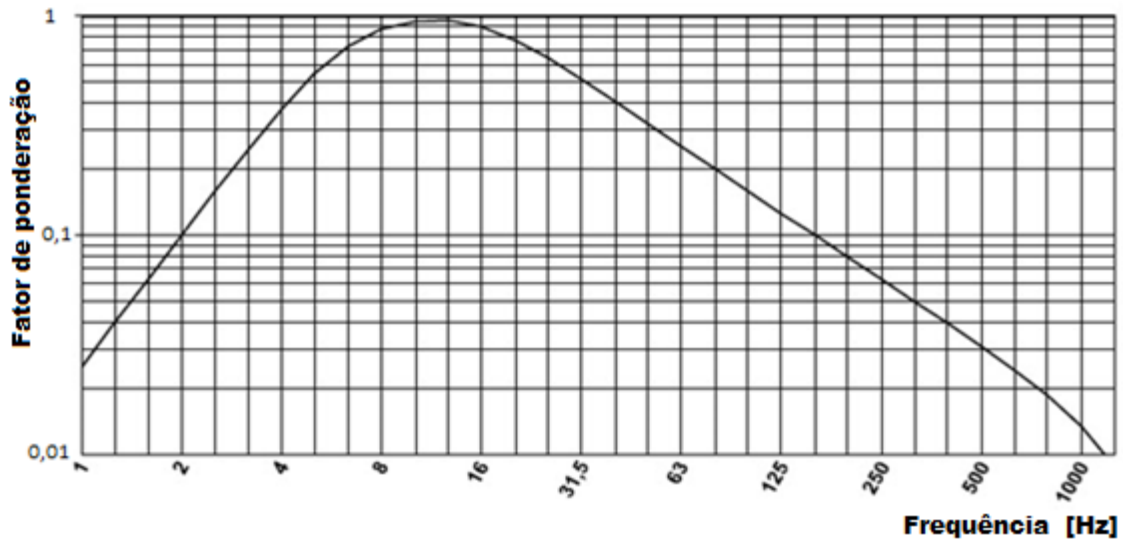


Figura 2.9 – Curva de ponderação em frequência utilizada para avaliar o nível de vibração no sistema mão-braço [adaptado de [20]].

$$a_{rms,hw} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{hw}^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ para os eixos } x, y \text{ e } z \quad (2.10)$$

A utilização da letra h é usada por se tratar de uma análise ao sistema mão-braço. O significado físico de cada elemento da equação foi já indicado em equações anteriores.

A equação (2.11), representa o valor total da aceleração, expresso em $[m/s^2]$, e segundo a Norma ISO 5349-1 este deve ser utilizado na avaliação da exposição á vibração. O valor da aceleração total pode ser normalizado para um período de oito horas, equação 2.12, é ainda possível determinar a duração de exposição, em anos, à qual corresponde uma probabilidade de 10% de ocorrência de dedos brancos.

$$a_{hV} = \sqrt{a_{hw x}^2 + a_{hw y}^2 + a_{hw z}^2} \quad (2.11)$$

$$A(8) = a_{hV} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.12)$$

Onde se definem: T – Duração diária de exposição à vibração; T_0 – Período normalizado de horas de trabalho igual a oito horas.

A exposição total equivalente é um parâmetro usado quando a exposição à vibração representa um resultado cumulativo de várias exposições de magnitude e duração distintas, representado na equação (2.13):

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 \times T_i} \quad (2.13)$$

em que i é a exposição em análise, T_i a duração da exposição i , e n o número de exposições com diferentes características.

Para relacionar o valor $A(8)$, as equações (2.12) e (2.13) e o número de anos de exposição, D , recorre-se à equação (2.14). No gráfico da Figura 2.10 é representada essa mesma relação.

$$D = 31,8 \times [A(8)]^{-1,06}, \text{ para os eixos } x, y \text{ e } z \quad (2.14)$$

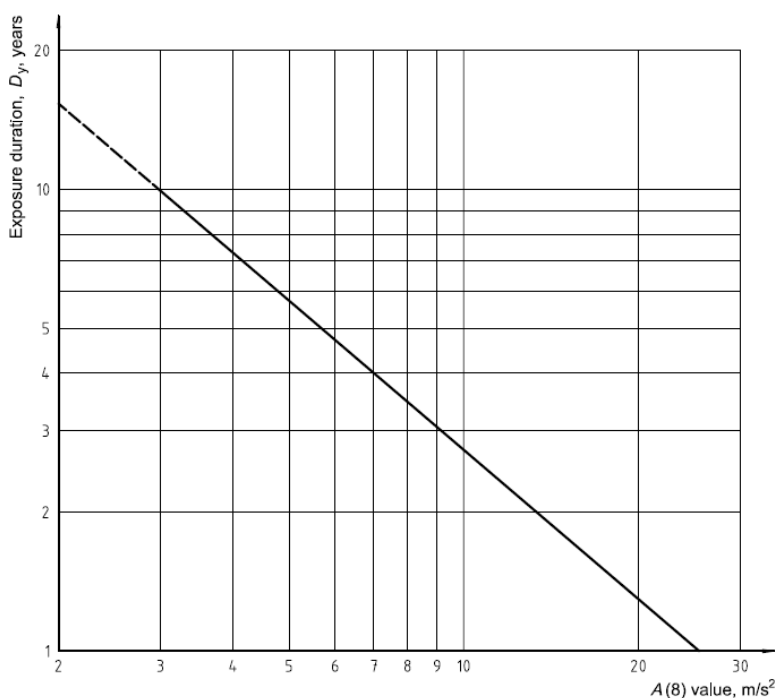


Figura 2.10 – Exposição diária à vibração e o tempo, em anos, para uma probabilidade de 10% de ocorrência de dedos brancos. No eixo vertical, duração da exposição, em anos. No eixo horizontal valor $A(8)$ em $[m/s^2]$ [adaptado de [18]].

2.4.3. Limites segundo as Normas e diretrizes internacionais

O decreto de lei nº 46/2006 do Ministério de Trabalho e da Solidariedade Social, publicado no diário da República, indica para o território Português os limites atualmente em vigor para a exposição à vibração mecânica de acordo com a diretiva 2002/44/CE do PE, que estabelece os limites de segurança e saúde.

Definido pelo decreto o valor de ação de exposição é um parâmetro a partir do qual se torna necessário adotar medidas de prevenção. É também definido o valor limite de exposição como o valor que não deve ser excedido e que implica a interrupção da exposição até ser regularizada a situação de exposição. Estes valores referem-se à exposição do ser humano durante um período normalizado de oito horas, $A(8)$, tanto para a exposição do sistema mão braço, como para a exposição corpo inteiro.

Presentes na Tabela 2.6, os valores de exposição segundo [21] e os valores de dose de vibração, usados na avaliação de vibrações no corpo inteiro com um elevado fator de crista, choques ocasionais ou vibrações transientes.

Tabela 2.6 – Normas internacionais ISO utilizadas na avaliação da exposição humana à vibração no presente estudo.

	Vibração Corpo Inteiro	Vibração sistema Mão-Braço
Valor de ação de exposição diária	$A(8) = 0,5 \text{ [m/s}^2\text{]}$ $VDV = 9,1 \text{ [m/s}^{1.75}\text{]}$	$A(8) = 2,5 \text{ [m/s}^2\text{]}$
Valor limite de exposição diária	$A(8) = 1,15 \text{ [m/s}^2\text{]}$ $VDV = 21 \text{ [m/s}^{1.75}\text{]}$	$A(8) = 5 \text{ [m/s}^2\text{]}$

2.5. Influência das vibrações na prática de bateria

A peça da bateria em que se deve investir mais por parte do baterista, com o intuito de tornar a prática deste instrumento mais confortável, é o banco da bateria [22]. Este elemento é fulcral para uma boa ergonomia do praticante que durante ensaios prolongados pode sofrer danos físicos na coluna e nas nádegas. Para ultrapassar este problema os fabricantes de bancos para baterias desenvolvem bancos com amortecimento hidráulico que atenuam os choques verticais e proporcionam uma melhor ergonomia. No que diz respeito

às vibrações as principais fontes de vibração são originadas pelo impacto das baquetas nos pratos e nos tambores, e são estas as vibrações a ser analisadas no presente estudo. O tipo de baqueta influencia as vibrações a que o sistema mão braço do baterista está sujeito durante a prática do seu instrumento de percussão. Das baquetas apresentadas as mais utilizadas pelos bateristas são as de madeira, que quando comparadas com as baquetas de alumínio com a pega de polipropileno, transmitem maiores vibrações ao baterista [22]. As vibrações induzidas por este elemento de percussão provocam variados problemas físicos, de acordo com Buch [23] estes problemas pode ser tendinites, caracterizadas pela inflamação de um tendão que provoca inchaço e dor devido à sobrecarga do tendão, epicondilite lateral, conhecida como cotovelo de tenista. Este problema localiza-se na articulação do cotovelo, que é formada pelo osso do braço, o úmero, e os ossos do antebraço, ulna e o rádio. Por baixo do úmero existem duas saliências ósseas: epicôndilos lateral e medial. A epicondilite caracteriza-se pela extra sensibilidade do epicôndilo lateral quando este fica dorido, criando dificuldades ao baterista de apoiar os cotovelos e executar movimentos tais como a extensão do punho.

As neurites, inflamação de um nervo ou grupo de nervos que provocam dor e atrofia muscular, são outro problema comum, sendo a neurite braquial a mais comum no mundo da percussão, em que os nervos que controlam o ombro, braço e a mão ficam inflamados, causando dores e limitação de movimentos. Sendo a Síndrome do túnel do carpo uma doença associada a pessoas que executam um trabalho manual repetido (lesão do esforço repetido) esta está também associada aos bateristas. O túnel do carpo é a zona do pulso onde os nervos estão em contacto com o punho, causa dor e desconforto, como dormência e formigueiro, limitando também os movimentos.

De todos os bateristas inquiridos no presente estudo, apenas um revelou sintomas do cotovelo de tenista. Este baterista mencionou também que após os ensaios, com durações de exposição médias de uma hora, sentia dificuldades em apoiar os cotovelos sobre a secretária do seu local de trabalho.

No capítulo referente à análise dos dados adquiridos, é feita uma abordagem a outra doença, conhecida por doença dos “dedos brancos” caracterizada posteriormente no presente estudo.

3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

3.1. Metodologia

De modo a quantificar os níveis de vibração no sistema mão-braço a que o baterista pode estar exposto foi definida uma metodologia experimental com um protocolo de aquisição de dados.

Os ensaios realizados encontram-se divididos em duas fases:

- **Aquisição de dados nas baquetas**

As baquetas utilizadas para aquisição de dados estão representadas na Figura 3.1.



Figura 3.1 - Baquetas *VIC FIRTH American Classic 5A*, utilizadas na aquisição de dados [adaptado de vicfirth.com].

São baquetas *VIC FIRTH* modelo 5A, com um peso de 50 gramas, fabricadas totalmente em madeira de nogueira, com a cabeça designada por gota de água.

Na primeira fase de aquisição de dados o baterista executa os ensaios de impacto utilizando a mesma baqueta, primeiro na mão direita e depois na mão esquerda. Por ensaio de impacto entende-se a execução de uma música. Cada baterista executa sempre o mesmo ensaio na aquisição de dados na baqueta para ambas as mãos.

Os dados são adquiridos com o recurso a uma peça previamente desenvolvida que é acoplada na baqueta onde é inserido e fixado o acelerómetro, esta peça é apresentada na secção 3.3.1 do presente capítulo.

- **Aquisição de dados na mão**

É repetido o mesmo ensaio de impacto realizado na fase de aquisição de dados nas baquetas pelo baterista. Primeiro é realizado um ensaio de impacto para a mão direita e depois para a mão esquerda. Os dados são adquiridos com recurso a uma luva desenvolvida onde é acoplada uma peça que tem como objetivo fixar o acelerómetro. A luva e a respetiva peça são apresentadas na secção 3.3.2 do presente capítulo.

Os ensaios foram realizados tendo em conta os seguintes parâmetros:

- Posicionamento do acelerómetro segundo a norma ISO 5349, Figura 3.2. Durante os ensaios os bateristas foram instruídos a não efetuar movimentos de rotação de modo a não alterar o posicionamento do acelerómetro.

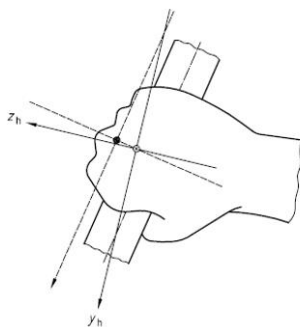


Figura 3.2 – Posicionamento do acelerómetro considerando a mesma orientação axial para todos os ensaios [adaptado de (ISO 5349-1,2001)].

- A Norma 5349-1 não indica a duração mínima da duração da aquisição de dados, desta forma cada ensaio teve a duração de 120 segundos, valor adaptado da norma 2631 para as VCI.
- Na aquisição de dados, para a mão esquerda e mão direita, e para a baqueta na mão esquerda e na mão direita, cada baterista executou o mesmo ensaio de impacto.
- As baquetas utilizadas nos ensaios são as mesmas para cada baterista, Figura 3.1.
- Utilização da mesma bateria, Figura 3.3, incluindo o mesmo banco, para todos os ensaios. Os ângulos de ajuste dos tom-tom e dos pratos, a afinação de cada tambor e as respetivas alturas foram mantidas em todos os ensaios, de forma a garantir as mesmas condições de aquisição de dados. A temperatura da sala foi mantida a 20°C.



Figura 3.3 – Bateria *ddrum* modelo *Reflex Standard* utilizada para aquisição de dados de todos os ensaios realizados. Constituída por um timbalão de chão, dois tom-tom, uma caixa e um bombo. Pratos do conjunto: dois *ride* com diâmetros diferentes e um prato de choque.

Participaram neste estudo 6 voluntários, dos quais 3 bateristas com formação musical e 3 autodidatas. Todos os voluntários foram cabalmente esclarecidos dos objetivos do presente estudo, tendo lido e assinado um consentimento informado para participação de forma voluntária no estudo.

Na Tabela 3.1 são apresentadas as características mais relevantes dos bateristas que participaram no presente estudo.

Tabela 3.1 – Dados sobre os bateristas que realizaram os ensaios.

Baterista	Sexo	Idade	Mão preferencial	Formação musical	Nº de horas que pratica por dia	Nº de vezes que pratica por semana
1	Masculino	28	Direita	Não	2	2
2	Masculino	26	Direita	Sim	3	6
3	Masculino	21	Direita	Não	2	1
4	Masculino	26	Direita	Não	1,5	1
5	Masculino	34	Direita	Sim	5	6
6	Masculino	27	Direita	Sim	2,5	1

Na coluna referente ao número de horas que praticam por dia já são contabilizadas as pausas entre músicas e as pausas para descanso dos bateristas, sendo uma estimativa o mais próxima possível de tempo contínuo de prática diária. Os dados são baseados na resposta dada ao questionário efetuado.

É apresentada, na Figura 3.4, em forma de diagrama a metodologia geral de aquisição de dados usada da presente dissertação.

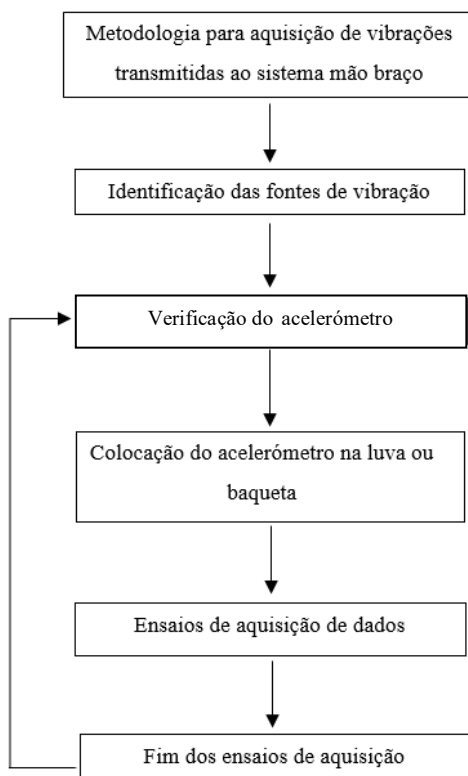


Figura 3.4 – Metodologia de aquisição de dados.

3.2. Descrição e princípio de funcionamento de equipamentos utilizados na aquisição de dados

A aquisição e processamento de dados foram realizados num programa desenvolvido por Tiago [20] em *LabVIEW*. O programa recorre ao *hardware* da *National Instruments*®: placa de aquisição e respetivo chassi e acelerómetros, descritos nos subcapítulos seguintes.

3.2.1. Placa de aquisição de dados, *National Instruments*®, NI 9234

A Figura 3.5 ilustra a placa de aquisição de dados utilizada. Esta placa é um condicionador de sinal dinâmico da série C. Possui quatro canais independentes, tem uma

resolução de 24 bits e uma faixa dinâmica de 102 dB, ideal para processamento de sinais vibratórios com elevada precisão, utilizando acelerómetros IEPE. De acordo com o fabricante este equipamento suporta taxas de aquisição, por canal, até 51,2 kS/s. Possui também filtros *antialiasing* integrados, que se ajustam automaticamente à taxa de amostragem que é pretendida.



Figura 3.5 – (a) chassi da placa de aquisição de dados; (b) condicionador de sinal NI 9234; (c) conjunto chassi e placa [adaptado de (ni.com/products/pt)].

3.2.2. Acelerómetro piezoelétrico triaxial

Ilustrado na Figura 3.6 (a), o acelerómetro piezoelétrico triaxial é um transdutor utilizado na medição de vibrações no sistema mão-braço no presente estudo. É constituído por uma massa sísmica, por um cristal de quartzo piezoelétrico e por uma base, designada por corpo do acelerómetro.

O princípio de funcionamento dos transdutores de aceleração baseia-se no cristal piezoelétrico, que ao ser comprimido gera um sinal elétrico de magnitude proporcional à aceleração. Em funcionamento o acelerómetro acompanha a vibração que lhe é transmitida pela área de contacto da zona em estudo, de notar que a massa sísmica no interior tende a manter-se estacionária no espaço [24]. O acelerómetro é fixado na superfície em movimento, onde ocorre um deslocamento provocado por uma força, a que dá origem ao movimento. A força é igual ao produto da aceleração com a massa sísmica. Neste tipo de acelerómetros a faixa de frequências depende do tamanho da massa sísmica, quanto maior o acelerómetro, maior será a sua sensibilidade e conseqüentemente menor a gama de frequência máxima utilizável.

O acelerómetro usado no presente estudo é um ICP, *integrated circuit piezoelectric*, da marca PCB e apresenta uma frequência natural superior a 5 kHz. É composto ainda por microamplificadores eletrónicos integrados que têm a função, como o próprio nome indica, de amplificar a tensão do sinal de saída para valores em miliVolt. Desta forma atenua a perda de sensibilidade do sistema de aquisição.

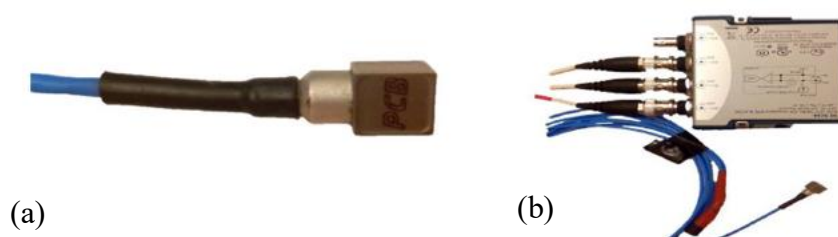


Figura 3.6 – (a) acelerómetro piezoelétrico triaxial; (b) condicionador de sinal NI 9234 com o acelerómetro acoplado [adaptado de [26]].

De forma a obter resultados com elevado grau de precisão, procedeu-se à verificação funcional do transdutor com recurso a um padrão (*shaker*) da marca PCB®, com uma frequência de operação de 159,2 Hz e nível de aceleração de 1G, e com o recurso a um programa desenvolvido na plataforma *LabVIEW*.

3.3. Peças desenvolvidas utilizadas para a aquisição de dados

As peças desenvolvidas para auxiliar na medição das vibrações impostas às baquetas e ao sistema mão-braço do baterista foram criadas a partir do *software* de CAD *Solidworks*, feitas posteriormente com recurso à impressão 3D. A impressora 3D utilizada produz os componentes num material designado por resina fotopolimerizável. Embora cada peça tivesse sido desenhada com as medidas corretas para o encaixe e fixação do acelerómetro, foi necessário maquiná-la, visto que devido ao processo de cura as dimensões de cada peça tornaram-se mais reduzidas.

De acordo com a Norma ISO 5349, para que os resultados obtidos correspondam a valores credíveis e que possam ser aceites pela comunidade científica, os métodos de fixação do acelerómetro referidos na norma foram adotados para cada um dos casos a

estudar. Assim, para o sistema mão-braço os eixos coordenados foram orientados de acordo com o sistema basicêntrico, exposto previamente na Figura 2.8 (linhas a tracejado).

De forma a criar as peças de suporte dos acelerómetros com o maior rigor possível, o acelerómetro e as baquetas foram recriadas na ferramenta de CAD *Solidworks* com as dimensões reais, ilustradas na Figura 3.7, tornando-se num precioso auxílio para recriar as secções interiores de cada peça e simular a montagem de todo o conjunto.



Figura 3.7 – Elementos recriados em Solidworks. (a) representação da baqueta *VIC FIRTH AC 5A*; (b) representação do acelerómetro utilizado na aquisição de dados.

3.3.1. Peça para a instrumentação da baqueta

A peça criada para fixar o acelerómetro à baqueta, ilustrada na Figura 3.8, possui 30,00 mm de diâmetro externo. O diâmetro do orifício interno, onde é inserida a baqueta, é de 14,40 mm, diâmetro correspondente ao cabo da baqueta, zona identificada pelo número (5), da Figura 1.7

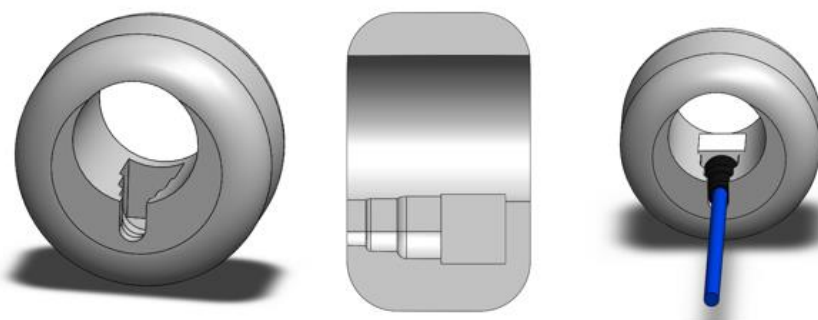


Figura 3.8 – Representação da peça criada na impressora 3D para fixar o acelerómetro à baqueta.

Ao inserir a baqueta no conjunto peça/acelerómetro, este, devido ao diâmetro do orifício interno, fica em contacto direto com a baqueta, de forma a cumprir os requisitos impostos pela norma, garantindo sempre a sua correta fixação durante a aquisição de dados.

3.3.2. Peça para instrumentação da luva

A luva utilizada no presente trabalho foi baseada numa outra luva já utilizada em trabalhos anteriores, enquadrados no mesmo tema (estudo de vibrações induzidas no corpo humano) da presente dissertação. Recorreu-se a uma luva utilizada maioritariamente por praticantes de boxe que utilizam este equipamento por baixo das luvas tradicionais de combate. Nesta luva foi efetuada mais uma abertura para poder ser utilizada na aquisição de dados tanto na mão esquerda como na mão direita dos bateristas. De forma a adquirir as vibrações a que o sistema mão-braço do baterista está sujeito, foi cosida à luva outra peça desenvolvida para o efeito, também baseada numa peça previamente desenvolvida em CNC. A luva e a peça acoplada estão ilustradas na Figura 3.9.



Figura 3.9 – Luva utilizada: (a) parte exterior da luva utilizada na aquisição de dados nos ensaios para o sistema-mão braço, com uma nova abertura de forma a ser utilizada em ambas as mãos dos bateristas; (b) Parte interior da luva onde é visível a peça onde é fixado o acelerómetro.

À semelhança da peça criada para utilizar na aquisição de dados na baqueta, a peça da luva foi desenvolvida com o auxílio do acelerómetro, também reproduzido em *Solidworks*, desta forma as secções interiores da peça possuem a mesma forma do acelerómetro o que permite a sua correta fixação. O modelo 3D desta peça é representado na Figura 3.10. A profundidade do encaixe do acelerómetro é ligeiramente inferior à altura deste, garantido desta forma o contacto total entre a mão do baterista e a base do acelerómetro. Os furos realizados na peça para esta ser cosida posteriormente à luva foram feitos com recurso a uma broca, pois a impressora utilizada não possui precisão suficiente para a criação de furos com diâmetros à escala milimétrica.

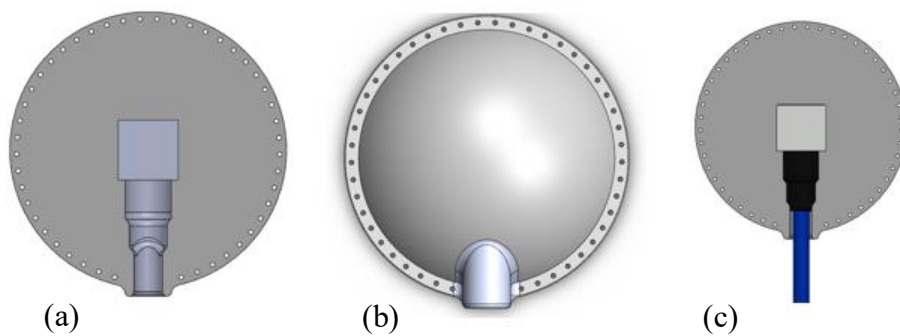


Figura 3.10 – Peça desenvolvida para acoplar à luva. (a) área de contacto com a mão do baterista onde é visível o encaixe do acelerómetro; (b) cúpula de proteção do acelerómetro; (c) conjunto peça e acelerómetro.

A Figura 3.11 mostra o baterista com a luva instrumentada calçada, na recolha de dados alusivos às vibrações induzidas na mão direita pela baqueta.



Figura 3.11 – Baterista e a luva instrumentada no ensaio para a recolha de dados das vibrações induzidas pela baqueta na mão direita.

3.4. Aquisição e processamento de dados

A aquisição do sinal primário, em aceleração, é realizada recorrendo aos módulos de condicionamento de sinal da *National Instruments*®, apresentados nos subcapítulos 3.2.1 e 3.2.2. Este *hardware* permite uma ligação em tempo real com o *software LabVIEW* e consequentemente com o programa desenvolvido por Almeida [20] já referido anteriormente. O *LabVIEW* é uma linguagem de programação que permite a realização de medições e modelação dos dados adquiridos em tempo real, em que os resultados são adquiridos com base em interações diretas com os equipamentos descritos. Após a aquisição de dados o programa permite que estes sejam tratados de forma organizada.

O programa foi criado tendo em vista diferentes necessidades do investigador, encontrando-se dividido em diferentes módulos. Para além de permitir a análise do sinal vibratório em tempo real permite também analisar um sinal já adquirido e ajustá-lo num determinado intervalo de tempo. Para além destas funções é possível ainda regular o valor de ponderação em frequência ideal para cada situação que se pretenda analisar e contabilizar a aceleração eficaz ponderada.

A Figura 3.12 representa a interface do programa utilizado. Para além de registar os valores da aceleração, é possível também a aquisição de dados relativos à força, para tal deve-se recorrer a células de carga. Esta função não foi utilizada visto que não se enquadra no estudo da presente dissertação.

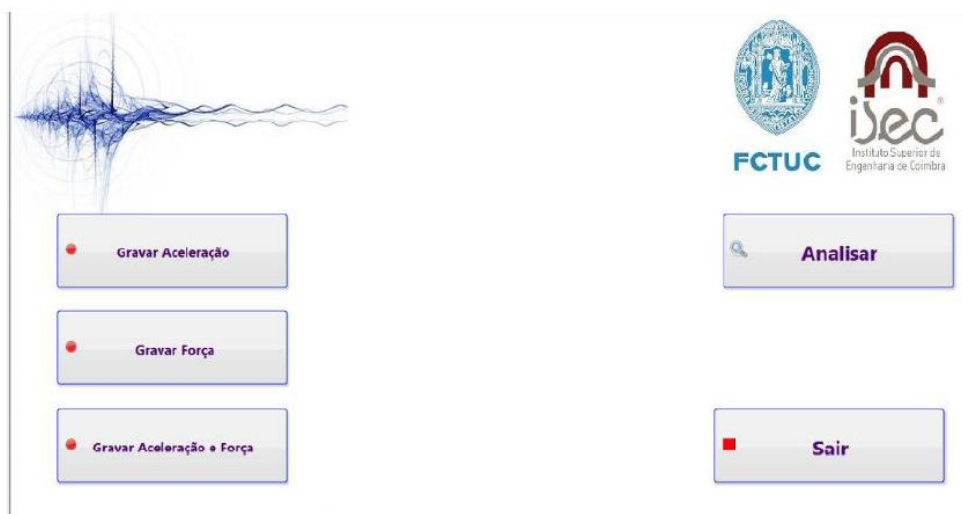


Figura 3.12 – Interface do programa utilizado desenvolvido em *LabVIEW* para adquirir e analisar os dados obtidos.

O programa utilizado para gravar a aceleração foi definido para adquirir dados com uma taxa de aquisição de 12800 Hz sendo 2000 o número de amostras.

A Figura 3.13 exibe a interface de uma das funções do programa de análise de aceleração. O código referente a esta função é apresentado no APÊNDICE A. Este programa é constituído por três funções, ou códigos, que permitem analisar a aceleração segundo uma análise temporal, uma análise em frequência ou em bandas de oitava. Desta forma é possível analisar as vibrações no sistema mão-braço de acordo com a revisão bibliográfica realizada no presente estudo. As interfaces de cada função e os respetivos códigos são apresentados também no APÊNDICE A.

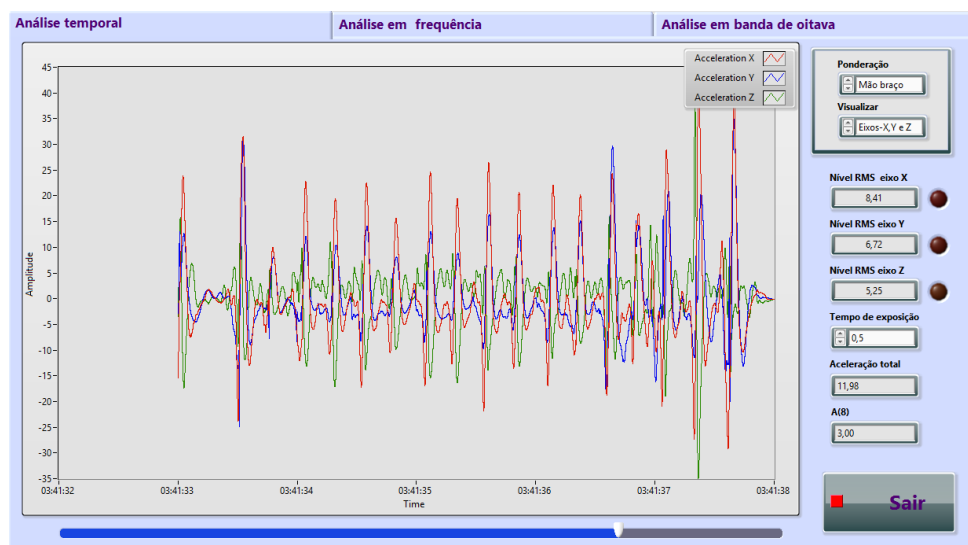


Figura 3.13 – Interface da função de análise temporal do programa de análise de aceleração previamente desenvolvido, amplitude em [Hz].

A análise temporal, com recurso à função deste programa, permite visualizar a evolução da aceleração para um determinado intervalo de tempo para cada um dos eixos ortogonais. Já referido anteriormente, permite relacionar os valores de aceleração com os fatores de ponderação, neste caso particular, para o sistema mão braço. O parâmetro $A(8)$ é estimado após a determinação dos valores de aceleração total eficaz ponderados em frequência. A análise do sinal vibratório em um terço de banda de oitava permite estudar o efeito das vibrações induzidas na saúde dos bateristas.

A análise temporal foi realizada após a seleção de um intervalo temporal com recurso a um programa previamente desenvolvido intitulado de “recorta dados”, a interface deste programa está representada na Figura 3.14. Devido à sua interface gráfica permite fazer

uma distinção entre o sinal a analisar, sinal recortado, e a totalidade do sinal obtido nos ensaios, designado por sinal original.

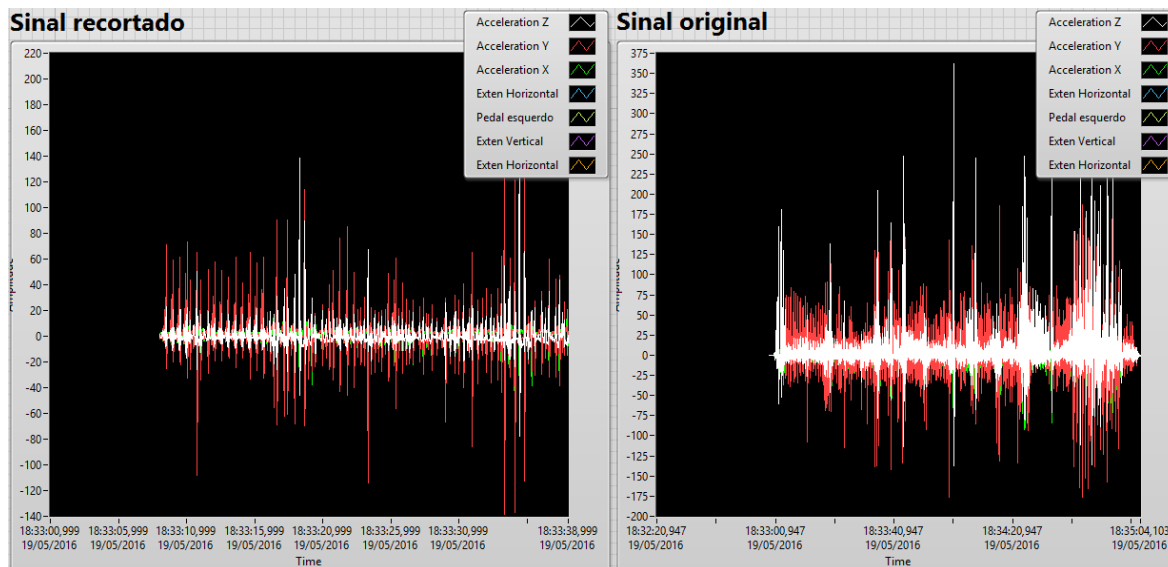


Figura 3.14 – Interface do programa “recorta dados”. Amplitude no eixo vertical em Hz.

Este programa permite selecionar um determinado intervalo de tempo da totalidade de uma amostra. Para cada ensaio, com o acelerómetro colocado no sistema mão-braço esquerdo e direito, tanto na luva como na baqueta, foram selecionados 30 segundos da totalidade de cada amostra.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos dados adquiridos através da metodologia descrita no Capítulo anterior. Os dados obtidos são comparados com os valores de referência definidos pelas normas e diretrizes internacionais.

Os dados adquiridos serão comparados entre si das seguintes formas: comparação da análise ao braço esquerdo com o braço direito, apresentando os dados relativos às vibrações absorvidas pelo sistema mão braço com o acelerómetro colocado nas baquetas, e comparação dos mesmos dados mas com o acelerómetro colocado na luva. Os dados mencionados serão comparados entre bateristas que possuem formação musical e os bateristas que não tiveram qualquer tipo de formação, intitulados de autodidatas. As diferenças, como se poderá constatar, são relevantes.

Na Figura 4.1 e Figura 4.2 estão representados dois exemplos dos sinais vibratórios obtidos, na luva e na baqueta, ambos para o sistema mão braço direito.

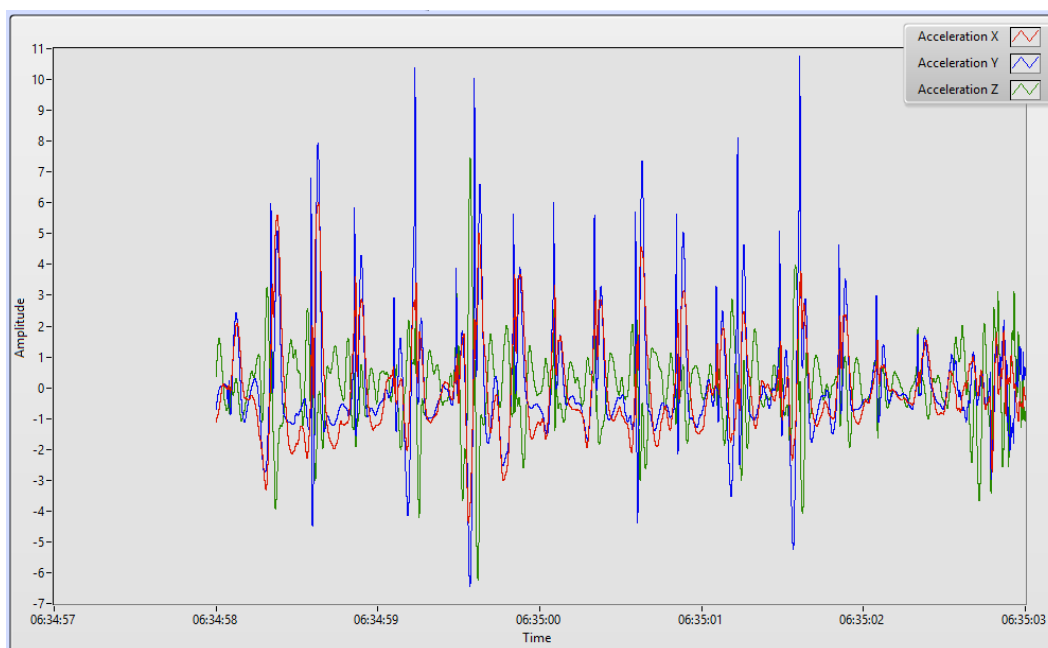


Figura 4.1 - Evolução da aceleração eficaz, ponderada em frequência, com o acelerómetro colocado na luva para a mão direita do baterista, amplitude em [Hz].

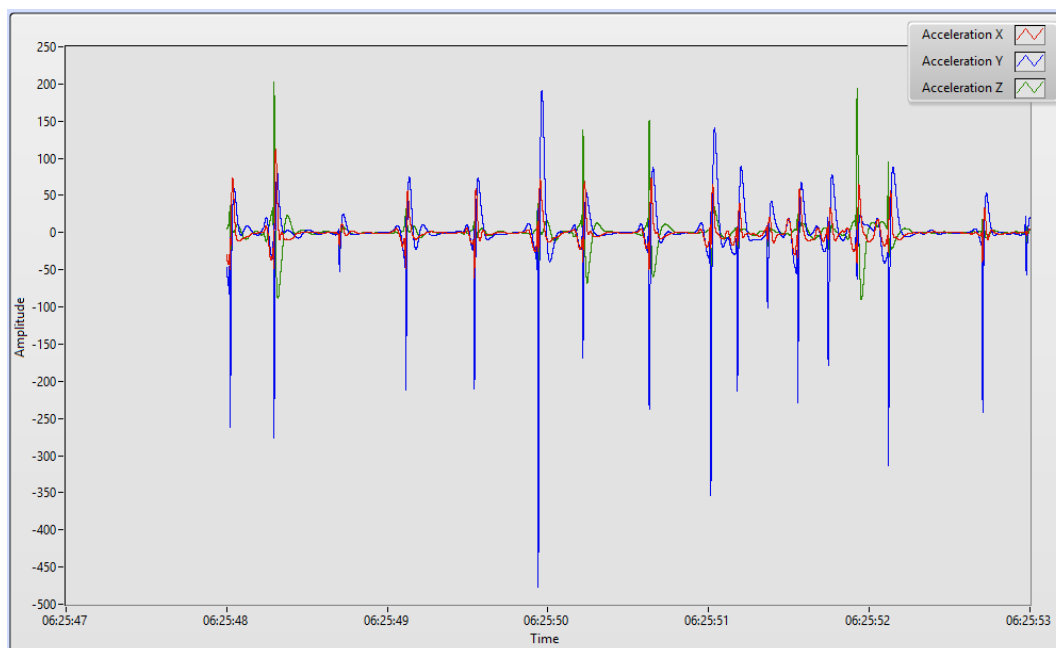


Figura 4.2 - Evolução da aceleração eficaz, ponderada em frequência, com o acelerómetro colocado na baqueta para a mão direita do baterista, amplitude em [Hz].

4.1. Análise da exposição a vibrações induzidas ao sistema mão-braço

São apresentados na Tabela 4.1 os valores médios obtidos da aceleração eficaz ponderada segundo o sistema mão-braço e os respetivos níveis de pico nos diferentes eixos ortogonais. No APÊNDICE B são expostos separadamente os valores obtidos para cada baterista.

Numa primeira análise aos dados obtidos quando o acelerómetro é colocado separadamente na luva e na baqueta, verifica-se, sem exceção, uma superioridade numérica nos valores RMS, de pico e de aceleração total das vibrações obtidas através das baquetas. Estes valores seriam à partida previsíveis visto que a baqueta é o elemento que está em contato direto com os tambores e com os pratos da bateria. Por isso sujeita a maiores vibrações. Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 4.1 e, sabendo que todos os bateristas são destros, a informação recolhida está em concordância com os valores de aceleração, ou seja, as acelerações avaliadas na mão direita são superiores às acelerações medidas na mão esquerda, embora em formação musical o objetivo seja tornar os percussionistas ambidestros (destreza igualada em ambos os lados). Por fim, pode-se ainda

verificar a existência de um eixo dominante, o eixo y (Figura 4.3 e Figura 4.4), em relação ao eixo x e z. Não existe um domínio claro em relação aos eixos x e z, no que diz respeito ao valor de pico e aos valores RMS.

Tabela 4.1 – Valor da aceleração eficaz total média ponderada em frequência, acelerações axiais e valores de pico referentes a ambas as mãos e baquetas.

Eixo Posição	x [m/s ²]		y [m/s ²]		z [m/s ²]		a _{hv} [m/s ²]
	Pico	RMS	Pico	RMS	Pico	RMS	
Mão esquerda	45,35	4,27	47,22	5,36	39,35	5,06	8,40
Mão direita	55,67	5,98	65,54	6,97	57,99	4,51	10,24
Baqueta esquerda	125,98	9,48	385,11	20,53	245,24	11,45	25,35
Baqueta direita	178,46	11,03	411,42	24,79	327,05	18,52	32,86

Na Tabela 4.2 são apresentados os valores RMS, em m/s², apenas no eixo y, sendo este o eixo dominante, para cada um dos bateristas. A média e o desvio padrão são também apresentados.

Tabela 4.2 – Valores da aceleração eficaz para cada baterista, respetiva média e desvio padrão para o eixo dominante.

	Braço esquerdo		Braço direito	
	Luva	Baqueta	Luva	Baqueta
Músico 1	12,71	46,57	13,11	40,18
Músico 2	3,97	6,11	5,40	17,16
Músico 3	5,14	26,26	9,08	21,10
Músico 4	6,45	20,58	6,72	26,15
Músico 5	2,52	12,17	5,61	20,68
Músico 6	1,38	11,48	1,93	23,52
Média	<i>5,36</i>	<i>20,53</i>	<i>6,97</i>	<i>24,79</i>
Desvio padrão	<i>3,67</i>	<i>13,35</i>	<i>3,46</i>	<i>7,41</i>

Numa análise comparativa do valor RMS em cada eixo, entre bateristas que possuem formação musical, Figura 4.3, e bateristas autodidatas, Figura 4.4, é notória a diferença significativa do valor da aceleração em todas as direções, sendo a direção y sempre dominante. A mão esquerda dos bateristas com formação musical não apresenta diferenças significativas de aceleração consoante o eixo ortogonal. Em relação à mão direita destes há uma clara predominância do eixo y em relação aos eixos x e z, que apresentam acelerações muito semelhantes. Para estes bateristas, Figura 4.3, há uma diferença clara entre valores de aceleração entre as duas mãos, sendo a mão direita a mais exposta a vibrações.

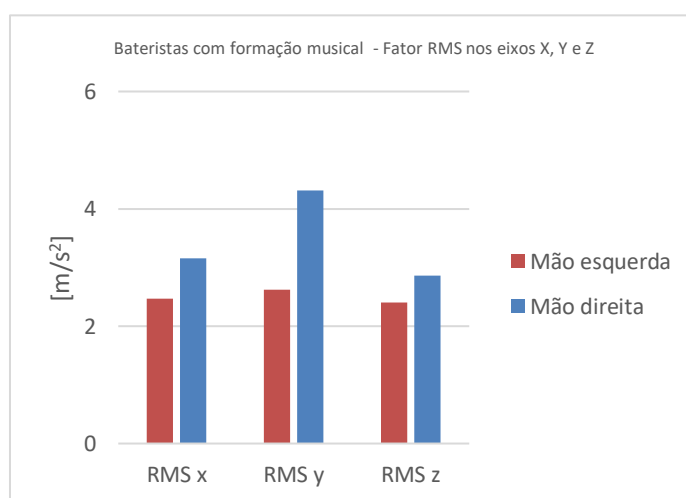


Figura 4.3 – Fator RMS em x, y e z para bateristas com formação musical.

No que diz respeito a bateristas autodidatas, ao contrário do que se previa, a diferença de acelerações entre a mão direita e a mão esquerda é menor. No entanto a mão direita apresenta maior nível de exposição, quando comparada com a mão esquerda destes. Ao contrário dos bateristas com formação musical, as diferenças entre as acelerações nos diferentes eixos para a mão esquerda são superiores. Após a determinação do eixo dominante e do braço mais exposto proceder-se-á à sua análise exclusiva na Figura 4.5 e na Figura 4.6.

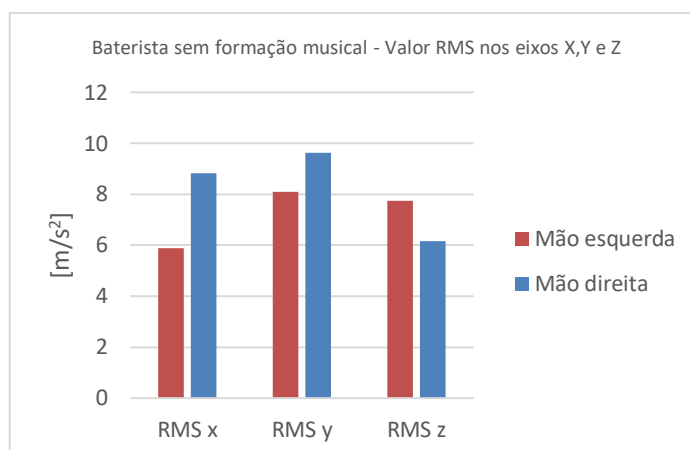


Figura 4.4 - Fator RMS em x, y e z para bateristas sem formação musical.

Comparando as acelerações dos dois grupos de bateristas no eixo dominante, em y para a mão mais exposta, sendo esta a direita, visível na Figura 4.5, verifica-se uma diferença significativa do valor da aceleração, sendo que a aceleração para bateristas com formação musical não alcança 50% da exposição dos bateristas autodidatas. Esta diferença deve-se em parte à forma como os bateristas manipulam a baqueta. Constatado durante a aquisição de dados, os bateristas sem formação musical optavam por uma pega fixa na baqueta, em que todos os dedos seguram a baqueta. Desta forma, a baqueta não vibra livremente após o impacto nos tambores ou nos pratos, não ocorrendo a dissipação de parte da energia acumulada, transmitindo mais vibrações com maior intensidade ao sistema mão-braço. Os bateristas com formação musical optaram sempre por uma pega denominada por *Matched Grip*, esta pega tem três variações conhecidas por pega alemã, pega francesa e pega americana. Qualquer uma destas pegas ao ser executada, permite que após o impacto da baqueta com os tambores ou com os pratos, esta tenha um movimento livre de retorno em torno da palma da mão do baterista. Assim, parte da energia acumulada pela baqueta é dissipada e não é transmitida na totalidade ao sistema mão-braço do baterista, pelo que as vibrações transmitidas ao sistema mão-braço são mais reduzidas.

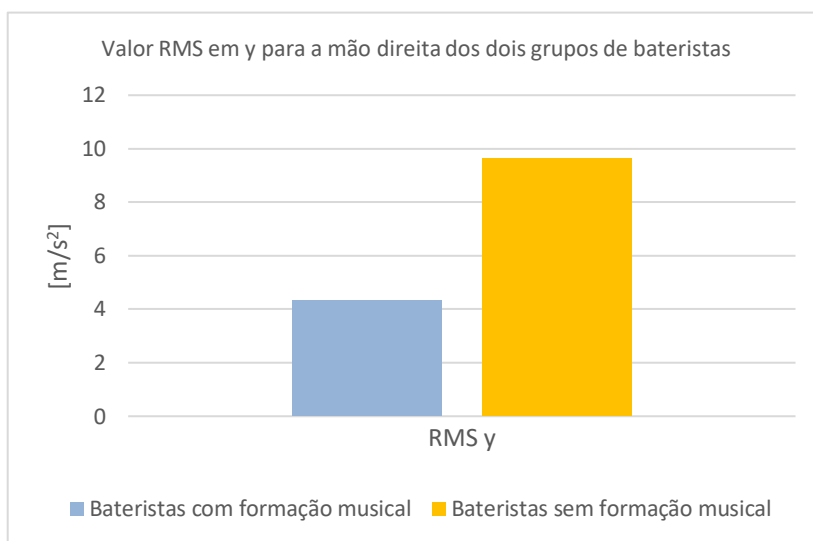


Figura 4.5 – Comparação da aceleração no eixo y para os dois grupos de bateristas, em relação à mão direita.

Na Figura 4.6 são expostas as acelerações obtidas aquando da aquisição de dados através da colocação do acelerómetro na baqueta direita. Quando comparados os valores das acelerações obtidas com a colocação do acelerómetro na luva, estas são bastante inferiores. Para a baqueta direita, de bateristas autodidatas, a aceleração é na ordem dos 29 m/s² enquanto para a luva a aceleração situa-se perto dos 10 m/s². O mesmo acontece para os bateristas com formação musical, mas com valores de aceleração mais reduzidos, 4,3 m/s² e 20,5 m/s² para dados recolhidos na luva e no acelerómetro respetivamente.

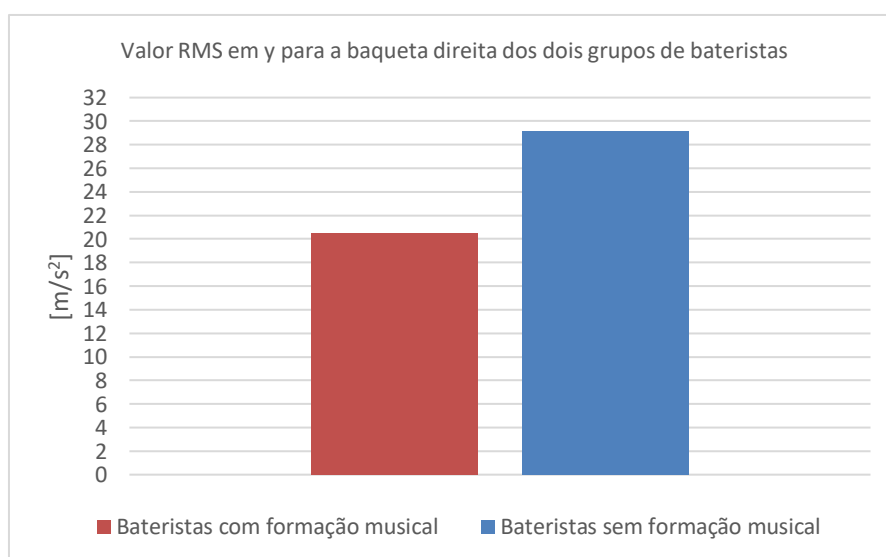


Figura 4.6 - Comparação da aceleração no eixo y para os dois grupos de bateristas, em relação aos dados adquiridos da baqueta direita.

Embora sejam duas abordagens plausíveis para a aquisição de dados, na baqueta e na luva, para efeitos de análise ao sistema mão-braço para o parâmetro A(8) vão ser considerados apenas os dados retirados a partir da luva, visto que o acelerómetro está em contacto direto com a mão dos bateristas tornando os resultados obtidos mais fidedignos.

4.1.1. Avaliação do fator A(8) e da Doença de Raynaud

Para avaliar o fator A(8) é necessário ter em conta não só a aceleração total, como referido na equação (2.12), mas também a duração diária de exposição à vibração. Para quantificar este valor é necessário aferir o número de horas que um baterista toca o instrumento de percussão e a intensidade com que pratica, fazendo variar os valores de aceleração. É possível também estimar, consoante o valor da aceleração, quanto tempo é que um baterista pode tocar bateria sem ultrapassar os limites admissíveis, descritos na Tabela 2.6. Para o sistema mão-braço o valor limite de exposição diária admissível é de 5 m/s^2 enquanto que o valor de ação de exposição diária é de $2,5 \text{ m/s}^2$.

Na Tabela 4.3 é apresentado o tempo de ação contínua até atingir os valores de ação e de limite de exposição de bateristas com formação musical, recorrendo à equação (2.12).

Tabela 4.3 – Duração da exposição até ultrapassar os limites admissíveis - Bateristas com formação musical.

Sistema Mão-Braço	Tempo até ultrapassar o valor de ação de exposição diário [h:min]	Tempo até ultrapassar o valor limite de exposição diário [h:min]
Esquerdo	2:40	10:45
Direito	1:21	5:36

Devido às acelerações serem superiores na mão direita em relação à mão esquerda, atingindo os limites de exposição diários para a mão esquerda, o baterista ultrapassa os limites de exposição admissíveis pelas diretrizes internacionais, ou seja, os limites de exposição são dependentes exclusivamente do tempo obtido para a mão direita, quer do valor de ação de exposição quer do valor limite de exposição diário. Para os bateristas profissionais o valor limite recomendado de horas de ensaios é de cinco horas e

trinta e seis minutos por dia, e ao praticar durante este tempo os bateristas já ultrapassam o limite do valor de ação de exposição diário para o sistema mão braço esquerdo e direito.

Os bateristas inquiridos no presente estudo praticam bateria diariamente num intervalo entre três e cinco horas por dia. Não atingem o valor limite de exposição diária mas entram no campo de ação de exposição, correndo desta forma riscos em relação à sua saúde.

Na Tabela 4.4 é apresentado o tempo de ação contínua até atingir os valores de ação e de limite de exposição diários de bateristas sem formação musical.

Tabela 4.4 - Duração da exposição até ultrapassar os limites admissíveis - Bateristas sem formação musical.

Sistema Mão-Braço	Tempo até ultrapassar o valor de ação de exposição diário [h:min]	Tempo até ultrapassar o valor limite de exposição diário [h:min]
Esquerdo	0:19	1:18
Direito	0:15	0:58

À semelhança dos bateristas profissionais, os bateristas sem formação musical estão também sujeitos a acelerações superiores no sistema mão-braço direito, sendo estas muito superiores às dos bateristas com formação profissional. O tempo limite de exposição até ultrapassar o valor limite de exposição diário imposto pelas diretrizes internacionais é de apenas cinquenta e oito minutos por dia, um tempo muito reduzido quando comparado com os músicos profissionais. De acordo com os dados relativos ao número de horas semanais que os bateristas praticam, com a metodologia utilizada, todos os inquiridos se encontram em situação de risco, mesmo não praticando todos os dias durante uma semana.

São apresentados na Figura 4.7 os valores do parâmetro A(8) tendo em conta os valores de aceleração média ponderada e uma média de tempo de exposição diário.

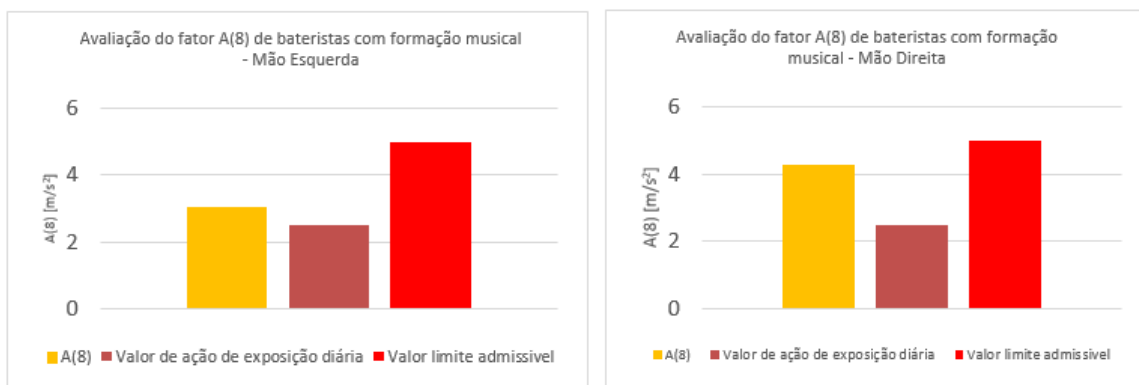


Figura 4.7 – Comparação do valor A(8) com os valores impostos pelas diretrizes internacionais.

Para bateristas com formação musical, tendo em conta uma média de tempo de exposição diária, não são atingidos os valores limites de exposição. Mais uma vez é possível verificar que a exposição do sistema mão-braço direito é superior quando comparada com o esquerdo, sendo que, ao atingir os limites na mão esquerda, a mão direita entra numa zona fora do limite de exposição. De modo análogo procede-se à avaliação para o grupo de bateristas autodidatas, apresentando os valores do parâmetro $A(8)$ obtidos na Figura 4.8.

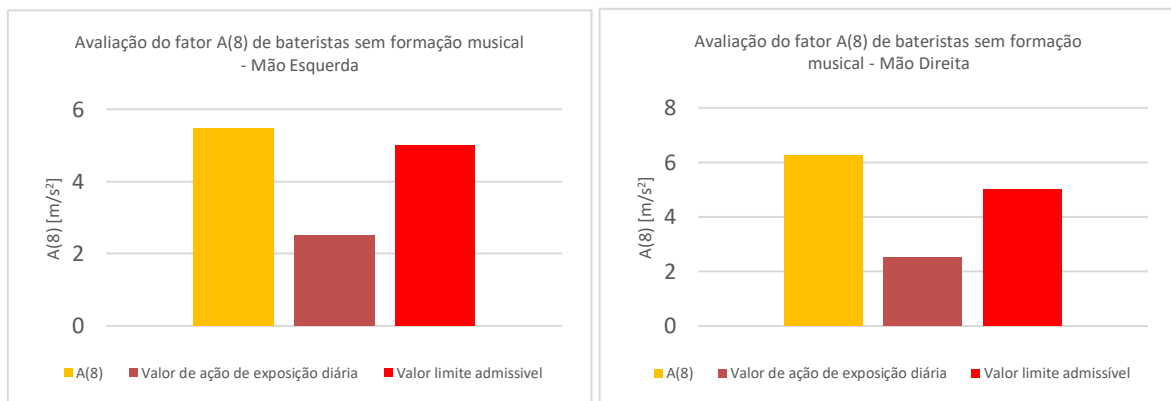


Figura 4.8 - Comparação do valor $A(8)$ com os valores impostos pelas diretrizes internacionais.

Para bateristas sem formação musical verifica-se que tanto para o sistema mão braço esquerdo, como para o direito, os valores de $A(8)$ ultrapassam os limites impostos pelas diretrizes internacionais, mais uma vez constatando-se uma predominância de exposição do sistema mão-braço direito. O cálculo deste parâmetro tem por base os valores de aceleração média ponderada e uma média de valores de exposição diária, tendo em conta os dados da Tabela 3.1.

Sabendo que no geral, o sistema mão-braço direito é o mais solicitado, a estimativa relativa ao número de anos que um baterista demora até desenvolver a doença de Raynaud (dedos brancos) com uma probabilidade de 10%, é feita com base nos valores de $A(8)$ obtidos para este mesmo sistema, exposto na Figura 4.9. Tendo em conta até aqui os dados analisados, como seria de esperar para bateristas profissionais o número de anos (equação 2.14) até ao aparecimento de sintomas da doença de Raynaud, com uma probabilidade de 10%, é superior em relação aos bateristas autodidatas. O número de anos até ao aparecimento dos primeiros sintomas é aumentado se ocorrer uma diminuição do número de horas diárias de exercícios de precursão e se estes exercícios forem praticados com magnitudes inferiores de vibração, bastando para isso mudar a pega ou o tipo de baqueta. Importante referir que este parâmetro tem por base uma aproximação do número

de horas que os bateristas inquiridos praticam semanalmente de forma contínua, não sendo regra geral para todos os praticantes de instrumentos de percussão.

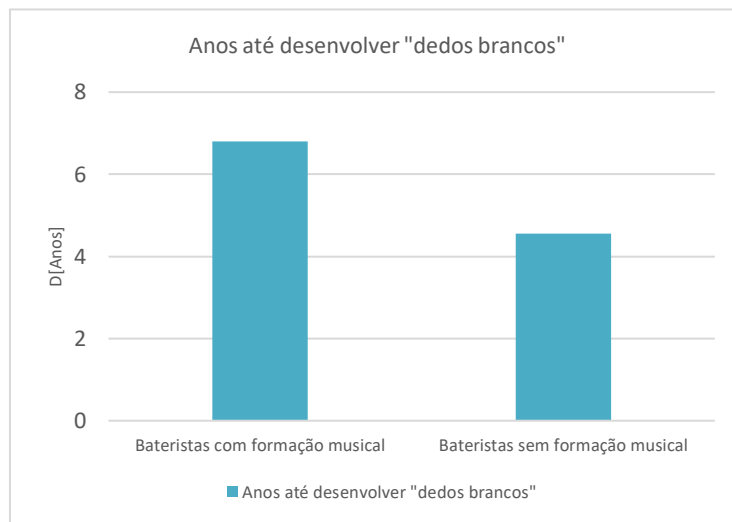


Figura 4.9 – Número de anos que os bateristas levam até desenvolver a doença de Raynaud com 10% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente capítulo apresenta-se o conjunto de questões identificadas na fase de avaliação e análise da exposição de bateristas às vibrações induzidas pela prática do instrumento de percussão.

Primeiramente foi necessário identificar e caracterizar todos os elementos constituintes de um conjunto de tambores mais comum de forma a englobar o maior número de bateristas possíveis que se identificassem com o estudo realizado. A familiarização com os conceitos e termos utilizados por bateristas facilitou a interação com os voluntários que participaram no presente estudo. Esta fase embrionária do estudo realizado tornou-se numa mais-valia na fase de análise dos dados obtidos, visto que o principal parâmetro que influencia a magnitude das vibrações induzidas ao sistema mão-braço, entre outros, é o tipo de pega da baqueta utilizado pelos bateristas.

A segunda abordagem realizada neste estudo foi a determinação de qual seria o melhor método para quantificar da forma mais correta a exposição a que os bateristas estão sujeitos durante a prática do instrumento de percussão. Antes de se iniciar a metodologia de aquisição de dados foram realizados vários testes com o acelerómetro na baqueta, na luva e no banco do baterista. Nestes “pré-ensaios” chegou-se à conclusão que a gama de vibrações no corpo inteiro a que o baterista está exposto não justificava o seu estudo de modo mais aprofundado. Dessa forma, e também por questões de morosidade do processo de aquisição e tratamento de dados, optou-se exclusivamente por uma análise aprofundada das vibrações induzidas no sistema mão braço. Não esquecendo no entanto que o banco da bateria é um elemento muito importante de todo o conjunto tendo este sido alvo de alguns estudos no âmbito da ergonomia por parte dos músicos.

Para aferir o melhor método de aquisição de dados foi necessário analisar as normas e as diretrizes internacionais, para que o presente estudo possa ser aceite pela comunidade científica. As normas ISO 5349 serviram de base para a metodologia de aquisição de dados referentes à análise de vibrações no sistema mão-braço, incluindo o

posicionamento correto do acelerómetro e os parâmetros mais importantes a serem determinados para posterior análise dos dados obtidos.

No decorrer do processo de aprendizagem de um percussionista, quer o instrumento de percussão seja ou não a bateria, são desenvolvidas técnicas que têm como objetivo eliminar um braço dominante, ou seja, promover um equilíbrio entre o braço direito e o braço esquerdo. Durante a aquisição de dados em tempo real, e mais tarde com a sua confirmação após avaliar e analisar os dados obtidos, verificou-se a predominância do braço direito em relação ao braço esquerdo. Os níveis de aceleração para o membro direito são superiores quando comparados com o braço esquerdo, mesmo para bateristas com formação musical. A metodologia de aquisição de dados deste estudo para além de permitir a medição e a quantificação das vibrações induzidas no sistema mão-braço, revelou ser um bom método para aferir as diferenças de utilização entre os dois membros superiores.

Começando pelos valores de aceleração eficaz, o eixo y é o eixo onde a aceleração demonstra ser predominante, devendo-se ao facto do posicionamento do acelerómetro de acordo com as normas que foram seguidas. Numa tentativa de aferir a melhor localização do acelerómetro foram recolhidos dados provenientes das baquetas e da luva para posterior análise. Como se pôde verificar na Tabela 4.1 os valores da aceleração total, com o acelerómetro posicionado na baqueta, são muito superiores quando comparados com os valores de aceleração total recolhidos com o acelerómetro localizado na luva. Estes valores tão elevados de aceleração devem-se ao facto de ser a baqueta o elemento que está em contacto direto com os tambores e pratos. Estes valores não foram tidos em conta em análises posteriores do parâmetro $A(8)$ e, conseqüentemente na avaliação do risco de aparecimento de sintomas da doença de Raynaud, visto que estes valores de aceleração não são os absorvidos na totalidade pelos bateristas.

De um modo mais pormenorizado pode-se concluir que o braço esquerdo dos bateristas com formação musical não alcança $2,5 \text{ m/s}^2$, sendo as acelerações em todos os eixos ortogonais muito próximas. No braço direito destes, já existe uma clara dominância do eixo vertical, em que o valor médio de aceleração atinge valores próximos dos $4,5 \text{ m/s}^2$. No que diz respeito a bateristas autodidatas os valores de aceleração são muito superiores, registando-se uma diferença de 5 m/s^2 entre a mão direita de bateristas com formação e a mão direita de bateristas sem formação musical. O mesmo acontece para o braço esquerdo. Foram registados para este uma aceleração média, no eixo dominante, de aproximadamente

8 m/s² enquanto que para o braço direito a aceleração quase chegou aos 10 m/s². Contrariamente ao que seria de esperar, os valores de aceleração entre o braço esquerdo e direito dos bateristas sem formação musical apresentam diferenças menores quando comparadas com os valores de aceleração entre os dois braços dos bateristas profissionais.

A diferença de magnitude das vibrações a que os dois grupos estão sujeitos, deve-se em parte à técnica utilizada por cada grupo de bateristas. Os bateristas profissionais recorrem a pegas mais complexas que demoram anos a aperfeiçoar. Estas técnicas permitem que este grupo de bateristas possa tocar durante mais tempo, cerca de cinco horas e meia por dia, sem que o nível de exposição alcance valores superiores aos limites internacionais, embora entrem numa zona de ação de exposição. No que diz respeito a bateristas sem formação musical, para não ultrapassarem os limites impostos pelas diretrizes internacionais o tempo recomendado é de apenas uma hora por dia.

Dos dois grupos dos bateristas inquiridos, apenas os bateristas sem formação musical é que apresentam valores do parâmetro A(8) superiores aos limites impostos pelas diretrizes internacionais. Os bateristas com formação musical encontram-se numa zona onde devem ser tomadas apenas medidas de prevenção.

Por fim, pode-se afirmar que o grupo de bateristas sem formação musical necessita de menos anos até ter os primeiros sintomas da doença dos “dedos brancos”.

No global, os bateristas sem formação musical estão expostos a maiores níveis de vibração induzida que os bateristas profissionais. No entanto, os bateristas sem formação não praticam com tanta assiduidade exercícios de percussão como os bateristas profissionais, visto que estes podem ser professores, que exercem a sua função durante seis horas por dia (estimativa) ou pertencerem a conjuntos musicais que estejam em constantes digressões.

5.1. Sugestões de trabalhos futuros

No âmbito musical, em particular na percussão, visto que existe uma escassez de informação e de estudos no tema de análise de vibrações induzidas ao sistema biomecânico, surgem muitas propostas referentes a este. Algumas das seguintes sugestões para trabalhos futuros dão seguimento ao estudo realizado na presente dissertação e no final são apresentadas outras sugestões enquadradas na temática em estudo.

- Analisar as vibrações induzidas ao sistema mão-braço de percussionistas utilizando baquetas em alumínio com o cabo em polipropileno. Comparar os resultados obtidos com os dados adquiridos da presente dissertação.

- Analisar as vibrações induzidas ao sistema mão-braço de percussionistas sendo o instrumento de percussão uma bateria eletrônica em vez de uma bateria tradicional e comparar os valores obtidos. As baterias eletrônicas são cada vez mais utilizadas por iniciantes no mundo da percussão visto que podem ser utilizadas sem incomodar as pessoas ao seu redor. Estas baterias possuem os tambores e pratos fabricados em borracha que é um material diferente do das baterias tradicionais.

- Analisar as vibrações induzidas ao sistema mão-braço de um baterista simulando as condições de uma atuação de um concerto ao vivo, com a mesma intensidade, tempo decorrido e pausas a que o baterista está habituado a praticar.

- Realizar um estudo, incidido nos conservatórios de música, para avaliar as vibrações induzidas no sistema mão-braço de alunos que iniciam a aprendizagem na prática de um instrumento de percussão. Segundo os bateristas inquiridos no presente estudo, são necessárias muitas horas diárias de treino até aperfeiçoar a técnica de tocar bateria, desta forma, os alunos que não possuem experiência podem entrar numa zona de risco para a sua saúde a longo prazo.

- Investigar o momento em que a baqueta toca na membrana, ou pele, de um dos tambores. Avaliar as forças e as vibrações a que este material está sujeito, pois as peles dos tambores são o elemento que sofre maior nível de desgaste logo a seguir às baquetas, o que provoca desafinação do tambor e conseqüentemente o efeito de ressonância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. W. Schmidt, *The History of the Ludwig Drum Company*, 1st ed. Hal Leonard, 1991.
- [2] J. C. Fernandes, *Segurança nas vibrações sobre o corpo humano*. Texto académico 2000.
- [3] T. M. Saliba, *Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração*. São Paulo, 2009.
- [4] G. Tavares, *Elementos orgânicos fundamentais de máquinas e implementos agrícolas*. Londrina, UDUEL, 2000. ISBN 8572160906.
- [5] C. A. da C. Braga, *Exposição ocupacional a vibrações no sistema mão-braço no sector da construção*. Porto: FEUP, 2007. Tese de Mestrado.
- [6] “ISO 2631-1 (E). *Mechanical vibration and shock- Evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1:General requirements.*” 1997.
- [7] B. Rehn, I. A. Bergdahl, C. Ahlgren, C. From, B. Jarvholm, R. Lundsstrom, T. Nilsson, and G. Sundelin, “*Musculoskeletal Symptoms Among Drivers of All-Terrain Vehicles,*” *J. Sound Vib.*, vol. 253, no. 1, pp. 21–29, 2002.
- [8] N. S. Soeiro, “Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional,” *I Work. Vibrações e Acústica*, pp. 1–10, 2011.
- [9] “ISO 5805 (E) *Mechanical vibration and shock - Human exposure - Vocabulary,*” 1997.
- [10] R. M. B. J. Milho, “O esforço , o conforto e a vibração no sistema mão-braço , associados à utilização de luvas anti-vibratórias,” Universidade Nova de Lisboa, 2009. Tese de Mestrado.
- [11] L. Barregard, L. Ehrenström, and K. Marcus, “*Hand-arm vibration syndrome in Swedish car mechanics.*” *Occup. Environ. Med.*, vol. 60, no. 4, pp. 287–294, 2003.
- [12] M. Bovenzi, A. J. L. Welsh, and M. J. Griffin, “*Acute effects of continuous and intermittent vibration on finger circulation*” *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, vol. 77, no. 4, pp. 255–263, 2004.

- [13] C. D. Neto, Estudo Sobre Os Níveis De Vibração Transmitidos Ao Usuário De Marretas. Tese de Mestrado, DEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.
- [14] J. Malchaire, a Piette, and N. Cock, “Associations between hand-wrist musculoskeletal and sensorineural complaints and biomechanical and vibration work constraint” *Ann. Occup. Hyg.*, vol. 45, no. 6, pp. 479–491, 2001.
- [15] L. E. Necking, G. Lundborg, R. Lundström, L. E. Thornell, and J. Fridén, “Hand muscle pathology after long-term vibration exposure” *J. Hand Surg. Am.*, vol. 29, no. 5, pp. 431–437, 2004.
- [16] “ISO 2631 (E). *Guide for evaluation of Human exposure to whole-body vibration*” 1978.
- [17] “ISO 5349 (E) - *Guide for evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements*” 1979.
- [18] “ISO 5349-1 (E) *Mechanical vibration -Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements*” vol. E, 2001.
- [19] “ISO 5349-2 (E) *Mechanical vibration -Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace,*” 2002.
- [20] T. F. T. Almeida, “Avaliação biomecânica na prática de enduro,” Dissertação de Mestrado, DEM, Universidade de Coimbra, 2013.
- [21] “*DIRECTIVE 2002/44/EC. On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents*”
- [22] D. Pereira. Site, Banco da bateria e baquetas. Acesso: 2 de Março de 2016. Disponível em <http://www.bateristas.pt>.
- [23] D. Buch. Site, Saúde para bateristas. Acesso: 2 de Março de 2016. Disponível em: <http://www.drummershealth.com>.
- [24] C. Sequeira, “Sensores para medições de Vibrações Mecânicas – Acelerómetros,” *Rev. Manutenção*, vol. 116, pp. 4–6, 2013.
- [25] C. da C. M. H. Mathias, “Análise de vibrações mecânica com FPGA” Artigo científico, 2008.
- [26] V. Ferreira, “Avaliação das vibrações induzidas ao sistema mão-braço na prática

desportiva” Dissertação de Mestrado, DEM, Universidade de Coimbra, 2015.

APÊNDICE A

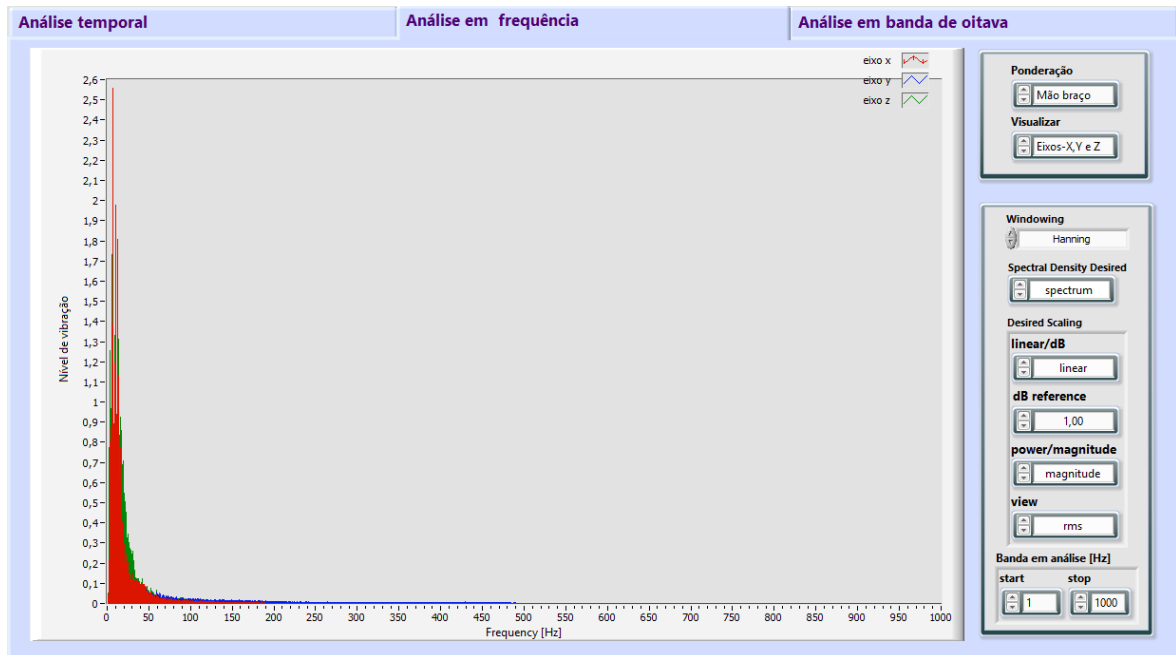


Figura 1A – Interface da função de análise em frequência do programa de análise de aceleração.

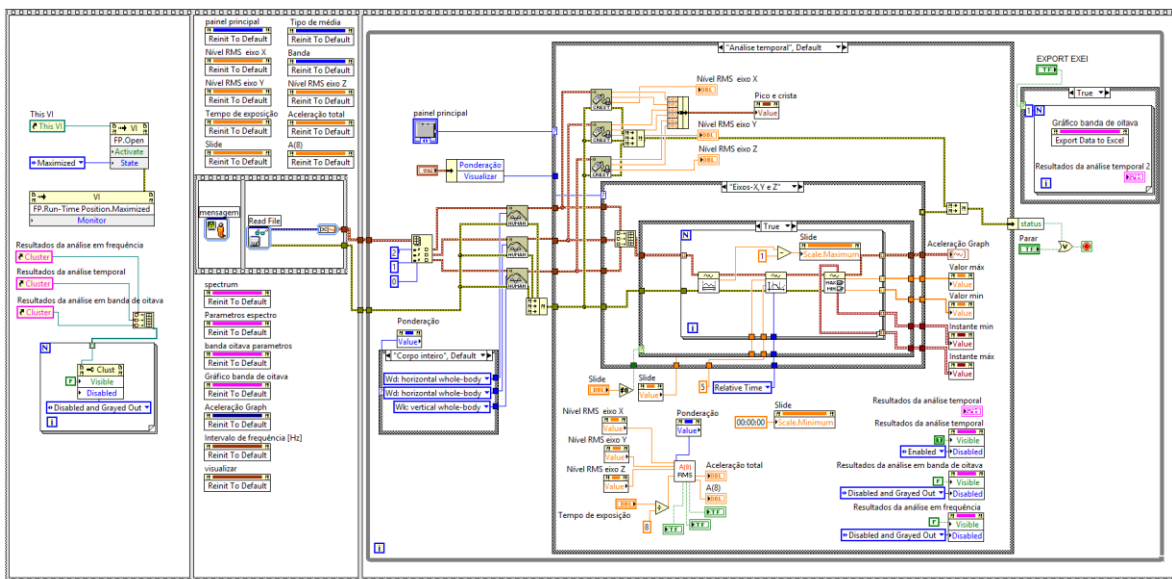


Figura 2A – Código da função de análise temporal do programa de análise de aceleração.

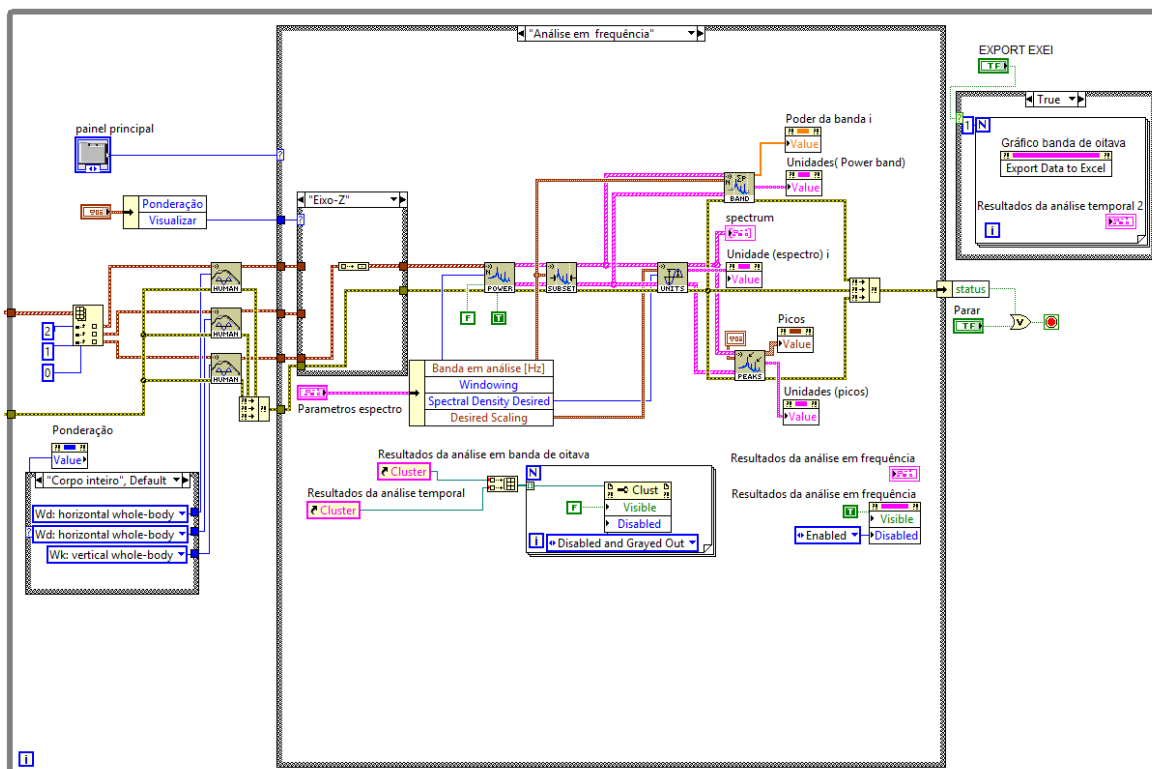


Figura 3A – Código da função de análise em frequência do programa de análise de aceleração.

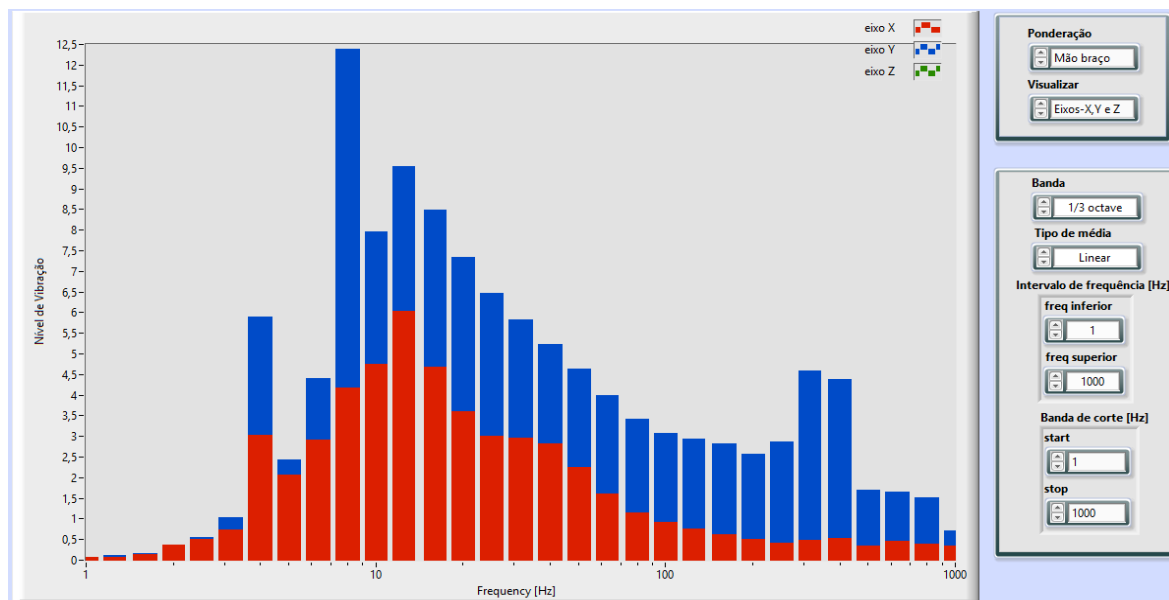


Figura 4A – Interface da função de análise em banda de oitava do programa de análise de aceleração.

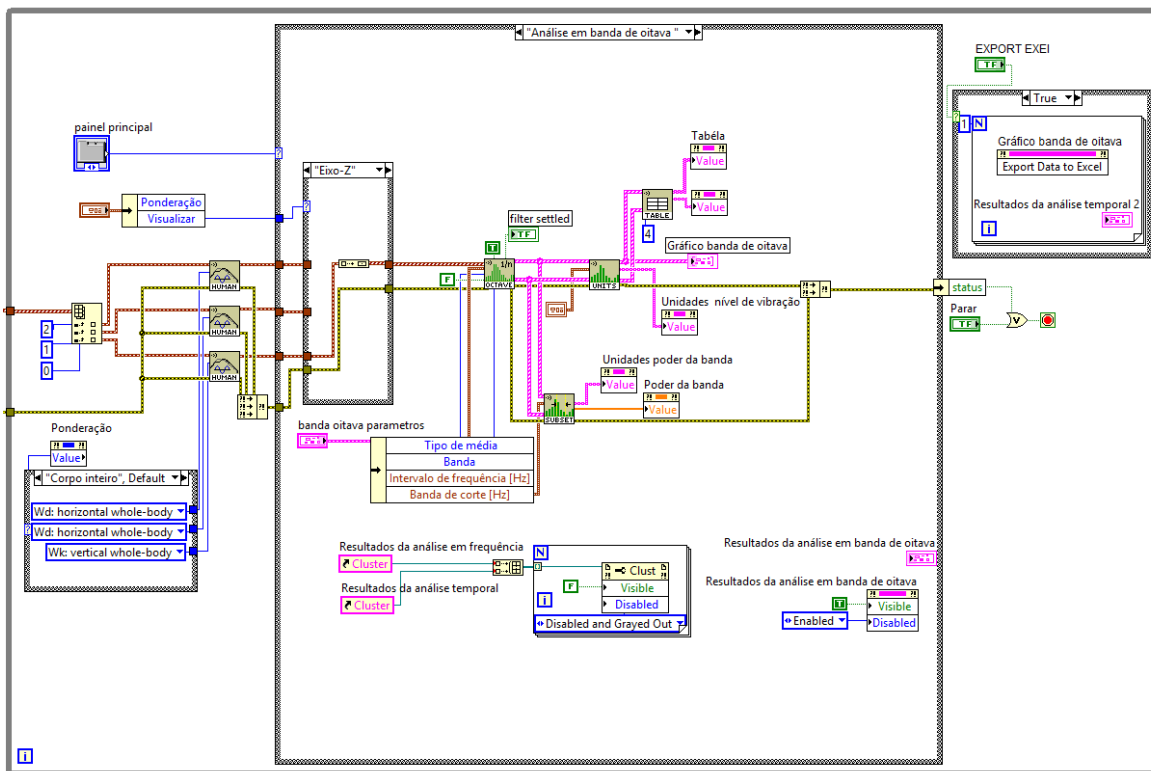


Figura 5A – Código da função de análise em banda de oitava do programa de análise de aceleração.

APÊNDICE B

São apresentados os dados adquiridos em separado dos bateristas que participaram no presente estudo. Todos os valores apresentados correspondem a acelerações, em $[m/s^2]$.

Tabela 1B – Dados obtidos para o baterista 1, valores em m/s^2 .

Músico 1 - SFM	Braço Esquerdo		Braço Direito	
	Mão	Baqueta	Mão	Baqueta
Nível RMS X	5,67	22,09	9,37	18,14
Nível RMS Y	12,71	46,57	13,11	40,18
Nível RMS Z	13,53	21,34	9,46	36,08
Fator de Crista X	7,23	11,01	8,36	8,64
Nível de Pico X	91,89	243,02	109,76	156,77
Fator de Crista Y	8,60	14,38	8,92	15,44
Nível de Pico Y	119,84	670,12	83,59	620,49
Fator de Crista Z	8,85	15,34	10,24	13,48
Nível de Pico Z	48,74	327,52	96,89	486,56
Aceleração Total	19,41	55,79	18,69	56,97

Tabela 2B - Dados obtidos para o baterista 2, valores em m/s^2 .

Músico 2 - CFM	Braço Esquerdo		Braço Direito	
	Mão	Baqueta	Mão	Baqueta
Nível RMS X	3,86	5,56	4,27	8,28
Nível RMS Y	3,97	6,11	5,40	17,16
Nível RMS Z	2,98	5,48	3,86	10,04
Fator de Crista X	9,61	15,17	10,76	62,98
Nível de Pico X	37,12	125,72	45,92	350,37
Fator de Crista Y	7,87	23,03	8,88	55,84
Nível de Pico Y	31,27	395,35	117,08	341,26
Fator de Crista Z	12,56	28,89	21,67	63,03
Nível de Pico Z	37,46	290,02	34,29	345,88
Aceleração Total	6,29	9,92	7,89	21,54

Tabela 3B - Dados obtidos para o baterista 3, valores em m/s^2 .

Músico 3 - SFM	Braço Esquerdo		Braço Direito	
	Mão	Baqueta	Mão	Baqueta
Nível RMS X	4,55	7,09	8,68	9,49
Nível RMS Y	5,14	26,26	9,08	21,10
Nível RMS Z	2,91	4,98	3,80	22,68
Fator de Crista X	8,94	15,48	6,41	12,62
Nível de Pico X	40,66	109,82	55,62	119,79
Fator de Crista Y	10,33	13,68	6,69	20,82
Nível de Pico Y	30,04	359,24	60,75	439,35
Fator de Crista Z	11,03	21,65	7,40	13,85
Nível de Pico Z	56,65	107,73	28,15	314,13
Aceleração Total	7,45	27,65	13,12	32,39

Tabela 4B - Dados obtidos para o baterista 4, valores em m/s^2 .

Músico 4 - SFM	Braço Esquerdo		Braço Direito	
	Mão	Baqueta	Mão	Baqueta
Nível RMS X	7,41	12,26	8,41	16,58
Nível RMS Y	6,45	20,58	6,72	26,15
Nível RMS Z	6,76	13,88	5,25	25,01
Fator de Crista X	7,29	9,14	10,41	15,21
Nível de Pico X	61,34	112,12	77,18	252,31
Fator de Crista Y	6,27	12,08	11,46	22,35
Nível de Pico Y	60,34	316,07	73,92	460,08
Fator de Crista Z	11,48	23,17	16,18	18,94
Nível de Pico Z	42,16	321,68	109,32	473,85
Aceleração Total	11,92	32,04	11,98	36,38

Tabela 5B - Dados obtidos para o baterista 5, valores em m/s^2 .

Músico 5 - CFM	Braço Esquerdo		Braço Direito	
	Mão	Baqueta	Mão	Baqueta
Nível RMS X	2,23	4,96	2,23	7,45
Nível RMS Y	2,52	12,17	5,61	20,68
Nível RMS Z	2,68	12,75	2,09	12,32
Fator de Crista X	11,23	13,07	6,81	19,36
Nível de Pico X	25,01	97,47	15,17	96,05
Fator de Crista Y	9,94	18,93	11,60	17,74
Nível de Pico Y	25,084	391,70	24,22	215,96
Fator de Crista Z	12,18	17,48	8,68	15,78
Nível de Pico Z	32,69	215,45	48,70	201,31
Aceleração Total	4,30	18,31	6,39	25,20

Tabela 6B - Dados obtidos para o baterista 6, valores em m/s^2 .

Músico 6 - CFM	Braço Esquerdo		Braço Direito	
	Mão	Baqueta	Mão	Baqueta
Nível RMS X	1,31	4,93	2,97	6,26
Nível RMS Y	1,38	11,48	1,93	23,52
Nível RMS Z	1,55	10,27	2,62	5,04
Fator de Crista X	12,28	13,73	10,20	15,24
Nível de Pico X	16,05	67,75	30,35	95,42
Fator de Crista Y	12,15	15,51	11,19	16,64
Nível de Pico Y	16,73	178,18	21,63	391,38
Fator de Crista Z	11,83	20,35	11,64	27,91
Nível de Pico Z	18,35	209,04	30,57	140,56
Aceleração Total	2,45	16,18	4,41	24,85