

SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO NO INTERIOR DE VEÍCULOS

Alcobia, C. J. O. P. J.¹; Mateus, M. L. O. S.²; Janicas, N.³; Silva, M. C. G.⁴

¹ Equiparado a Prof. Adjunto; Dep. de Eng.^a Mecânica - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

² Investigador; ADAI - Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

³ Aluno de Mestrado de Eng.^a Mecânica - Universidade de Coimbra

⁴ Prof. Auxiliar; Dep. de Eng.^a Mecânica - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra



RESUMO

As vibrações são um dos diversos estímulos que podem contribuir para o desconforto físico de uma pessoa num veículo. Neste trabalho apresenta-se o desenvolvimento de um sistema para efectuar a aquisição e tratamento das vibrações induzidas no corpo humano de forma a avaliar o conforto no interior de veículos de acordo com a norma ISO 2631/1. O sistema foi calibrado e comparado com outro verificando-se uma boa concordância entre ambos. São reportados alguns resultados dos ensaios efectuados num veículo ligeiro de passageiros com o objectivo de avaliar o conforto proporcionado pelo mesmo no que às vibrações diz respeito.

1. INTRODUÇÃO

O principal objectivo do trabalho aqui reportado foi o desenvolvimento de um sistema que permita a medição e o tratamento de dados relativos às vibrações induzidas no corpo humano de acordo com a norma ISO 2631/1 ou com outros critérios de avaliação. Descreve-se o equipamento desenvolvido, a sua calibração e a realização de diversos testes efectuados com a finalidade de analisar a funcionalidade do mesmo.

Este trabalho é parte integrante do projecto intitulado “Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação do

conforto em veículos de transporte de passageiros”, com a referência POCTI/2000/EME/34266, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Noção de conforto

O conforto que um indivíduo sente é o resultado da avaliação que o mesmo faz do ambiente que o rodeia, a partir das informações recebidas dos seus órgãos dos sentidos. Assim, alguns factores que podem contribuir para causar desconforto físico a uma pessoa num veículo são:

- Som (nível, frequência, duração, etc.);
- Vibração (magnitude, frequência, duração, ponto de contacto, etc.);
- Luz (luminância, contraste, etc.);
- Aspectos ergonómicos (forma e dimensões do assento, etc.);
- Cheiros e fumos;
- Ambiente térmico (temperatura, humidade, velocidade do ar, etc.).

Se, por um lado, à noção de conforto está associada uma sensação de “bem-estar” por outro, à noção de desconforto está associada uma sensação de “mal-estar” que corresponde a irritação, aborrecimento, descontentamento.

O conceito de conforto tem um elevado grau de subjectividade, dada a grande variabilidade a que estão sujeitas as respostas de diferentes pessoas, podendo, inclusivamente, a mesma pessoa fazer avaliações não coincidentes de uma mesma situação em diferentes momentos.

Quando se pretende analisar o conforto de veículos, há que ter em conta diversos aspectos, tais como: a sua construção, o modo como este é operado, as expectativas e sensações, quer dos condutores, quer dos passageiros, etc. As expectativas das pessoas dependem do próprio veículo em análise pois, se por exemplo, um determinado nível de ruído num veículo de trabalho é esperado, o mesmo já não sucede em relação a um veículo ligeiro.

Atendendo ao aumento de mobilidade das pessoas, uma grande parte do seu tempo é passada no interior de veículos, o que as tornou mais críticas relativamente às condições de conforto oferecidas pelos construtores. Associada à noção de conforto está também a questão da segurança rodoviária, pois alguns estudos (Wyon, 1992 e Mackie, 1974) revelam que num ambiente mais confortável, o desempenho dos condutores é substancialmente superior quando comparado com ambientes mais adversos.

As razões para que os factores anteriormente referidos actuem como

estímulos de desconforto estão, sobretudo, relacionadas com o grau de expectativa dos indivíduos em relação a eles e com o modo como as pessoas os identificam como um potencial motivo que prejudique a sua saúde.

Qualquer condição ambiental pode, no entanto, ser caracterizada a partir de um conjunto de grandezas físicas mensuráveis que é o que, em última análise, é avaliado pelo sistema sensorial do indivíduo. Por isso, as metodologias de análise, para cada um dos aspectos parcelares que se podem considerar na avaliação do conforto, têm evoluído no sentido da criação de índices baseados nessas grandezas físicas, permitindo, deste modo, uma avaliação objectiva através do relacionamento da evolução das grandezas em jogo com a resposta média da sensibilidade humana.

2.2. Vibrações no corpo humano

Considera-se que um corpo está em vibração quando o mesmo descreve um movimento oscilatório relativamente a uma posição de referência. A quantificação do nível de vibração induzida no corpo humano é feita a partir da raiz da média quadrática (RMS) do sinal correspondente ao registo temporal da evolução da aceleração sentida pelo corpo. Esta grandeza, que se denomina como valor equivalente de aceleração a_{eq} [ms^{-2}], quando adimensionalizada relativamente a um valor de referência (correspondente normalmente a $10^{-6} ms^{-2}$) e representada numa escala logarítmica, é expressa em decibel (dB) (cf. equação 1). O valor de referência usado na adimensionalização representa a aceleração mínima à qual o corpo humano é sensível e a que corresponde um valor da aceleração equivalente de zero decibel.

$$a_{eq} (dB) = 20 \log_{10} \left[\frac{a_{eq} (ms^{-2})}{a_{ref} (ms^{-2})} \right] \quad (1)$$

O carácter mais ou menos impulsivo de uma dada vibração é analisado a partir do factor de crista que é definido pela razão

entre o valor do pico máximo instantâneo da aceleração ponderada e o valor equivalente de aceleração durante o período de medição. O factor de crista é um bom indicador da magnitude de choques de curta duração, correspondendo, a valores mais elevados do factor de crista, vibrações mais impulsivas. Por vezes, é também utilizado como um indicador do efeito maléfico contido na vibração em análise.

Quando se estuda o efeito das vibrações nas pessoas, há que ter em conta o facto de o corpo humano ser constituído por várias partes, com comportamentos diversos, quando solicitadas por fenómenos vibratórios. Deste modo, as sensações de desconforto resultantes de vibrações, quando analisadas no seu efeito global dependem, substancialmente, quer do sentido de aplicação, quer da frequência, dos estímulos que as originam. Outros factores a considerar na análise das vibrações sofridas pelo corpo humano são, naturalmente, a intensidade da vibração em causa e o tempo de exposição em que a pessoa está sujeita a ela.

A figura 1 representa um modelo biomecânico que simula o corpo humano, no que diz respeito à sua resposta às vibrações. Cada parte é substituída pelas suas equivalentes massa, unidade elástica e unidade amortecedora. Na figura representam-se ainda as frequências naturais típicas de cada órgão.

Os parâmetros a ter em conta para a análise das vibrações no corpo humano estão indicados na norma ISO 2631-parte 1.

A norma define os métodos de medição a utilizar para vibrações periódicas, aleatórias e transitórias aplicadas a todo o corpo humano, indicando os principais factores a combinar para a determinação do nível de exposição às vibrações. A gama de frequências abrangida é de 0,5 a 80 Hz na análise dos riscos de saúde, do conforto e da percepção das vibrações, e de 0,1 a 0,5 Hz para avaliar o enjoo.

Esta parte da norma ISO 2631 aplica-se às vibrações transmitidas ao conjunto do corpo humano através da superfície de

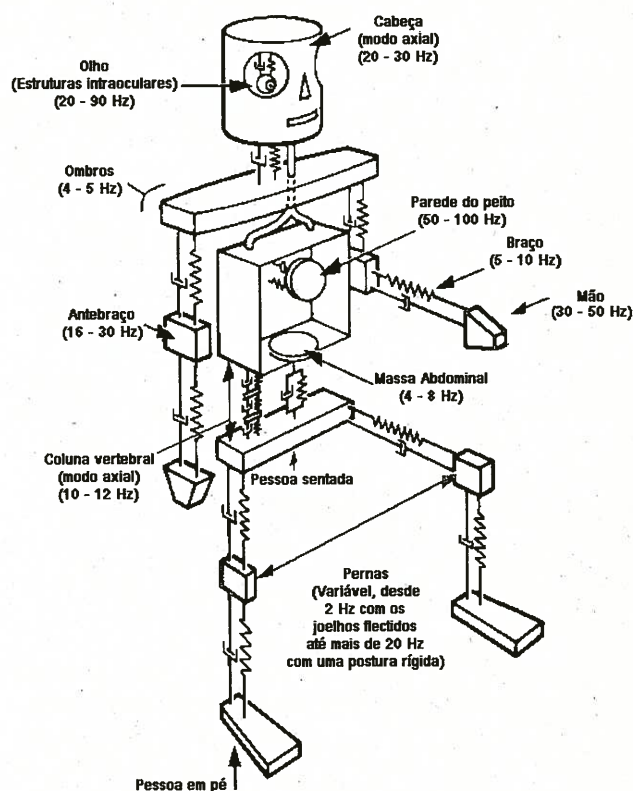


Fig 1 - Modelo mecânico do corpo humano. Adapt. de Brüel & Kjær Technical Review (1989)

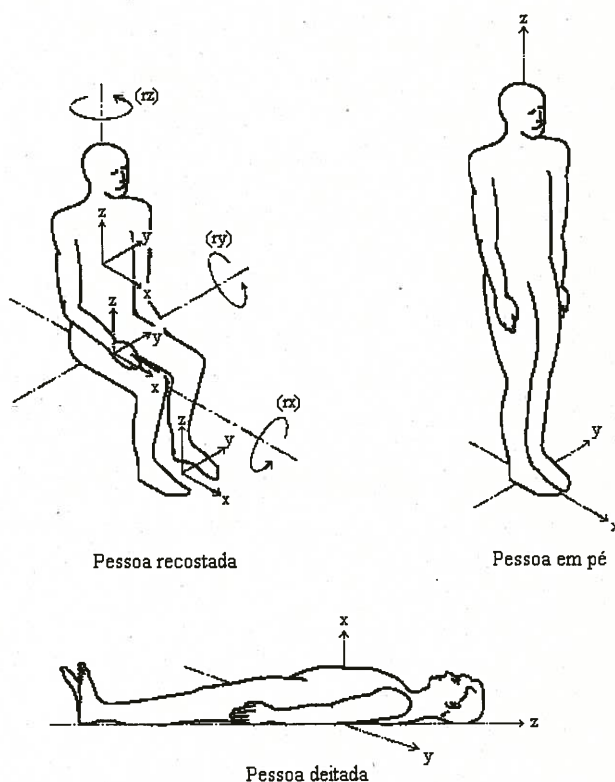


Fig 2 - Sistema de eixos utilizado pela norma ISO 2631 (1997), consoante a posição da pessoa em análise. Adapt. de norma ISO 2631 (1997)

apoio, que podem ser os pés de um indivíduo de pé, o assento de uma pessoa recostada ou a superfície de suporte de um indivíduo deitado (cf. figura 2).

Tal como anteriormente foi referido, o modo como as vibrações afectam a saúde, o conforto, a percepção e o enjoo depende da sua frequência, sendo, por isso, utilizados diferentes factores de ponderação na análise das mesmas. Diferentes eixos têm diferentes factores de ponderação. A norma define, em função dos três eixos ortogonais, dois factores de ponderação (w_k e w_d) relativos à saúde, conforto e percepção. Outros factores de ponderação estão consagrados, nomeadamente para a situação de enjoo (w_f) e para situações especiais com factores adicionais (w_c , w_e e w_f).

No anexo A da referida norma apresentam-se as expressões matemáticas que permitem obter as curvas de ponderação em função da frequência da vibração. O corpo humano apresenta picos de sensibilidade em função da frequência da vibração consoante a aceleração seja na direcção z (4 - 10 Hz) ou nas direcções x e y (0,5 - 2 Hz).

Para factores de crista superiores a nove a norma indica outros métodos de avaliação, tais como: o método do RMS móvel e o método da quarta potência da dose de vibração.

A análise do sinal da aceleração pode ser feita através dum espectro de banda de largura constante ou de banda de largura proporcional (e.g. terço de oitava) da aceleração não ponderada. Utilizando bandas de terço de oitava, a aceleração ponderada é determinada de acordo com a seguinte equação:

$$a_w = \left[\sum_i (w_i a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

onde:

- a_w é a aceleração ponderada para um determinado eixo;
- w_i é o factor de ponderação para a i-ésima banda de terço de oitava;

- a_i é o RMS da aceleração para a i-ésima banda de terço de oitava.

O valor da vibração total, determinado a partir do RMS da aceleração ponderada em cada uma das coordenadas ortogonais é obtido através da seguinte equação:

$$a_v = \left(k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

onde:

- a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} são as acelerações ponderadas para os eixos x, y, z, respectivamente;
- k_x , k_y , k_z são os factores de ponderação em função do tipo de análise pretendida.

O uso do valor da vibração total, a_v , é recomendado para efectuar a avaliação do conforto e da percepção.

Para a avaliação das vibrações relativamente à saúde, deve-se considerar cada eixo de forma independente. Neste caso, a avaliação do efeito das vibrações deve ser feita para o eixo que apresentar maior valor de aceleração ponderada. No entanto, quando as vibrações em dois ou mais eixos forem similares, o valor da vibração total (a_v) deve ser usado para estimar os riscos de saúde.

Na situação em que se enquadra o trabalho aqui reportado - conforto no interior de veículos - é recomendado utilizar o valor de a_v . Na análise de um indivíduo num veículo de passageiros, não é, até à data, conclusiva a evidência que suporte uma dependência da vibração em função do tempo no efeito do conforto.

Na norma são indicados valores indicativos numa escala de desconforto (cf. tabela 1) que, de acordo com as experiências realizadas até à data, correspondem a valores aproximados das respostas das pessoas em relação às vibrações totais a que os indivíduos estão sujeitos em transportes públicos.

Tabela 1 - Escala de desconforto indicada na norma ISO 2631 (1997).

Valores de a_v	Escala de desconforto
$< 0,315 \text{ ms}^{-2}$	não é desconfortável
$0,315 \text{ a } 0,63 \text{ ms}^{-2}$	um pouco desconfortável
$0,5 \text{ a } 1,0 \text{ ms}^{-2}$	razoavelmente desconfortável
$0,8 \text{ a } 1,6 \text{ ms}^{-2}$	desconfortável
$1,25 \text{ a } 2,5 \text{ ms}^{-2}$	muito desconfortável
$> 2,0 \text{ ms}^{-2}$	extremamente desconfortável

3. SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ANÁLISE DAS VIBRAÇÕES

3.1. Equipamento de aquisição e condicionamento

O sistema de aquisição, que se esquematiza na figura 3, baseia-se num computador pessoal portátil equipado com uma placa de conversão analógica-digital PCMCIA à qual está ligado um condicionador do sinal proveniente de um acelerómetro piezoeléctrico triaxial. O sinal adquirido é armazenado e posteriormente tratado com software desenvolvido para o efeito.

Nos testes efectuados, como elementos sensores primários utilizaram-se dois acelerómetros piezoeléctricos triaxiais Brüel & Kjær, do tipo 4322 designados por sensor A e B. As sensibilidades axiais de um destes sensores, de acordo com as especificações do fabricante, estão indicadas na tabela 2.

Tabela 2 - Sensibilidades do acelerómetro triaxial da Brüel & Kjær do tipo 4322 (sensor A).

Eixo	x	y	z	Unidades
Sensibilidade de carga (159,2 Hz)	1,001	1,008	1,014	pC/ms^{-2}
Sensibilidade de carga (1,25 Hz)	1,054	1,061	1,068	pC/ms^{-2}

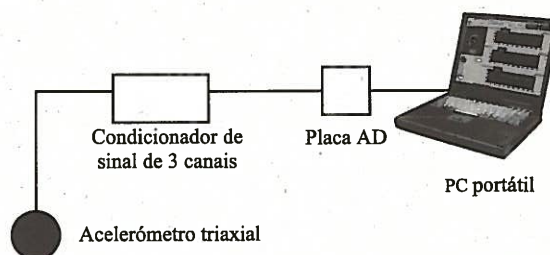


Fig 3 – Esquema do sistema de aquisição.

A saída do sensor é ligada a um sistema de condicionamento de sinal composto por três canais iguais, cuja saída se destina a ser ligada à referida placa de aquisição instalada no computador. Cada canal do sistema de condicionamento é composto por dois estágios distintos de amplificação. O estágio de entrada corresponde a um amplificador de carga, cuja função é transformar em tensão o sinal de carga correspondente à saída dos acelerómetros. Esta função é assegurada por um circuito integrado do tipo AD 549, o qual possui uma impedância de entrada da ordem de $10^{13} \Omega$ e uma corrente de polarização de entrada, tipicamente, de 100 fA. O circuito implementado possui uma frequência de corte de 160 Hz, que é claramente superior à frequência máxima do sinal que se pretende analisar. A saída do amplificador de carga é ligado ao segundo estágio, constituído por um amplificador de instrumentação de precisão, do tipo AD 524. Para ser possível uma boa adaptação da amplitude dos sinais de tensão correspondentes à vibração, é possível seleccionar quatro valores de ganho diferentes: 1, 10, 100 ou 1000. Para além do ganho, é também possível regular o valor do desvio de zero na entrada e na saída, através de simples potenciómetros multipista.

Cada um dos três canais do sistema de condicionamento é alimentado por um conversor DC/DC cuja saída é de ± 15 volt, o que, para além de possibilitar a alimentação de energia dos circuitos de cada canal, garante um melhor isolamento entre os três canais.

Todo o conjunto, correspondente aos três eixos, encontra-se montado nas respectivas placas de circuito impresso, feitas em fibra "epoxy", devidamente encerradas no interior de uma caixa metálica o que lhe confere uma elevado grau de imunidade a ruídos eléctricos induzidos.

Destinando-se este sistema a ser utilizado para a medição das vibrações no interior de veículos pesados e ligeiros, é possível alimentá-lo directamente de uma bateria ou de uma tomada do veículo, em virtude de a sua alimentação poder ser feita com uma tensão contínua compreendida entre 9 e 28 volt.

3.2. Programa de computador

Foi escrito um programa de computador no programa comercial de desenvolvimento de aplicações Testpoint que permite ao utilizador controlar todos os parâmetros relevantes de aquisição, tais como: a frequência de varrimento dos canais, o iní-

cio e o fim da aquisição, etc. Este programa divide-se em duas partes fundamentais: uma de aquisição e armazenamento do sinal e outra de tratamento dos dados.

Para a aquisição e armazenamento do sinal eléctrico proveniente do condicionador de sinal é apenas necessário atribuir um nome ao ficheiro onde serão registadas as leituras e definir a taxa de aquisição que deve ser escolhida com algum cuidado. Na escolha da taxa de aquisição é necessário ter em conta o teorema de Nyquist, que diz que "a taxa de aquisição de um sistema que está a adquirir um sinal deve ter uma frequência pelo menos dupla da frequência mais elevada do referido sinal". Para sinais de vibração no corpo humano, uma frequência de aquisição de 160 amostras/segundo é suficiente, dado que a gama de vibrações a considerar situa-se, de acordo com a norma ISO 2631, dos 0,1 aos 80 Hz. Para além deste teorema deve-se ter em conta o algoritmo da Transformada Rápida de Fourier (FFT),

The screenshot shows a software window titled "VIBRAÇÕES:Panel tratamento de dados". It contains the following elements:

- Ficheiro de dados:** A text field with "C:\micra_4.dat" and a "File" button.
- Ficheiro de resultados:** A text field with "C:\Micra50" and a "File" button.
- Buttons:** "Processamento", "Guardar", and "Sair".
- Obter taxa de aquisição:** A button to refresh the acquisition rate.
- Taxa aquisição:** A text field showing "273".
- Sensor:** Radio buttons for "Sensor A" and "Sensor B".
- Visualizar:** A button to view the data.
- Amostra:** Radio buttons for "Total" and "Parcial".
- Desde:** A text field showing "1000".
- a:** A text field showing "33768".
- ax:** A display showing "0.0348".
- ay:** A display showing "0.0483".
- az:** A display showing "0.261".
- Situação:** Radio buttons for "Saúde", "Conforto", and "Percepção".
- Kx:** A text field showing "1".
- Ky:** A text field showing "1".
- Kz:** A text field showing "1".
- RMS ponderado para os 3 eixos:** A display showing "0.267".
- RMS linear:** A button.
- Eixo x:** A display showing "0.243".
- Eixo y:** A display showing "0.243".
- Eixo z:** A display showing "0.343".
- 3 eixos:** A display showing "0.485".

Fig 4 - Visualização do painel de tratamento do sinal.

utilizado para filtrar o sinal, que utiliza séries com a dimensão de potência de base dois (Bendat, 1997). Logo, se a série de dados a tratar não tiver esta dimensão, o algoritmo de cálculo adiciona zeros até alcançar uma dimensão correspondente a uma potência de base dois, o que alterará de forma considerável o resultado final.

Atendendo ao supra exposto, deve-se ter em consideração o tempo de aquisição, e escolher, em função deste, uma taxa de aquisição que permita que os dados recolhidos tenham uma dimensão igual ou ligeiramente inferior a uma potência de base dois.

Na figura 4 apresenta-se uma imagem da interface gráfica do programa de tratamento de dados. Para proceder ao tratamento, o utilizador tem de aceder ao ficheiro de dados. Este ficheiro, quando gerado por uma aquisição deste programa, tem registado a data, a hora de início da leitura e a taxa de aquisição. Assim, deve-se obter a taxa de aquisição daquele ficheiro, pressionando o botão criado para o efeito. Em virtude da existência de dois sensores primários, cada um com diferentes rectas de calibração, no programa é possível definir qual dos acelerómetros foi utilizado na aquisição.

O utilizador pode ainda escolher a situação que pretende analisar (saúde, conforto ou percepção). Os factores de ponderação estão, para cada caso, definidos no programa, podendo no entanto, o utilizador definir outros valores. Caso se pretenda guardar os resultados, é necessário atribuir o nome ao ficheiro de resultados.

Quando a amostra a tratar tem dimensão pequena, o erro no cálculo dos valores ponderados poderá ser elevado, não fazendo sentido o seu cálculo, podendo calcular-se simplesmente o valor de RMS linear.

No programa desenvolvido é possível visualizar graficamente os dados, o que permite tomar uma decisão sobre a dimensão da amostra que se quer tratar. O programa permite que se opte por fazer um

tratamento de toda a amostra ou apenas de uma parte seleccionada.

O processamento do sinal consiste em primeiro lugar na leitura do ficheiro, separando o sinal de cada um dos três eixos. Este sinal, valor em tensão, é convertido para um valor de aceleração instantânea, através da recta de calibração determinada para cada eixo, consoante o acelerómetro definido pelo utilizador. A etapa seguinte, a mais crítica e demorada, consiste em fazer passar, para cada eixo, o sinal por filtros de banda passante iguais às bandas de terço de oitava. Como entre 0,5 e 80 Hz há 23 bandas de terço de oitava, obtêm-se 23×3 sinais. Seguidamente é calculado o RMS do sinal de cada uma das bandas. Depois do cálculo destes obtêm-se a aceleração ponderada, para cada eixo, em função do RMS e do factor de ponderação de cada banda. Finalmente, calcula-se o valor da vibração total, em função da aceleração ponderada de cada eixo e dos factores de ponderação.

Os valores da aceleração ponderada de cada eixo e da vibração total são apresentados pelo programa. Depois do processamento concluído, podem-se alterar os factores de multiplicação e/ou a situação em análise.

3.3. Calibração do sistema

Para a calibração do sistema utilizou-se uma máquina de ensaios de fadiga (cf. figura 5), onde era possível gerar um movimento oscilatório de amplitude e frequência constantes, tendo-se obtido as rectas de calibração do sistema para os três eixos ortogonais de cada um dos sensores primários.

A referida máquina permite, através de um LVDT ("Linear Variable Differential Transformer"), medir o deslocamento imposto ao acelerómetro, previamente fixado. O sinal seleccionado para calibrar o sistema de aquisição foi o correspondente a um deslocamento harmónico simples.



Fig 5 – Calibração para o eixo z do sensor A.

Em virtude dos acelerómetros tri-axiais utilizados medirem as acelerações nas três direcções ortogonais, calibraram-se cada um dos seus eixos independentemente.

Foram feitas leituras em diversas frequências de forma a testar a independência do sistema em relação à frequência de oscilação.

As frequências utilizadas e as respectivas amplitudes de oscilação estão indicadas na tabela 3.

Tabela 3 – Frequências e amplitudes de calibração.

Frequência [Hz]	1	5	15	30
Amplitude [mm]	2,5	1,5	0,75	0,15
	2,0	1,2	0,60	0,12
	1,5	0,9	0,45	0,09
	1,0	0,6	0,30	0,06
	0,5	0,3	0,15	0,03

Convém referir que, apesar das frequências de utilização do sistema de acordo com a ISO 2631 serem de 0,5 a 80 Hz, apenas foi possível utilizar na calibração uma frequência máxima de 30 Hz em função das características da máquina disponível.

Na figura 6 representam-se os sinais das saídas em tensão do acelerómetro e do LVDT durante um dos ensaios de calibração realizados.

O sinal do LVDT é relativo ao deslocamento, enquanto que o sinal do acelerómetro é relativo à aceleração, pelo

que, como seria de esperar, os sinais apresentam um desfasamento de 180°.

O processamento do sinal do LVDT consistia em determinar a amplitude média do sinal em tensão, converter esta amplitude, através do valor da sensibilidade estática do LVDT (0,015 m/V), no correspondente valor de deslocamento médio e obter o valor da aceleração linear máxima.

Para o sinal do acelerómetro apenas se determinou a média das amplitudes máximas do sinal em tensão, ou seja o pico do sinal.

Com os valores da aceleração linear máxima imposta na máquina e da amplitude do sinal do acelerómetro obtiveram-se as rectas de calibração para cada um dos eixos. Na figura 7 está representada uma das rectas de calibração, no caso para o eixo y do sensor A.

Na tabela 4, apresentam-se os valores da sensibilidade estática e do coeficiente de correlação para os três eixos de ambos os sensores.

Tabela 4 - Sensibilidade estática e factor de correlação do sistema.

Sensor	Eixo	Sensibilidade estática	Factor de correlação
A	x	1,057	0,999
	y	1,070	0,997
	z	9,524	0,999
B	x	1,039	0,999
	y	1,075	0,999
	z	9,630	0,987

4. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Para testar o sistema efectuaram-se ensaios comparativos com outro sistema de aquisição e análise de vibrações.

O sistema desenvolvido tem sido utilizado em diversas medições no interior de veículos, apresentando-se de seguida um caso prático exemplificativo da sua utilização.

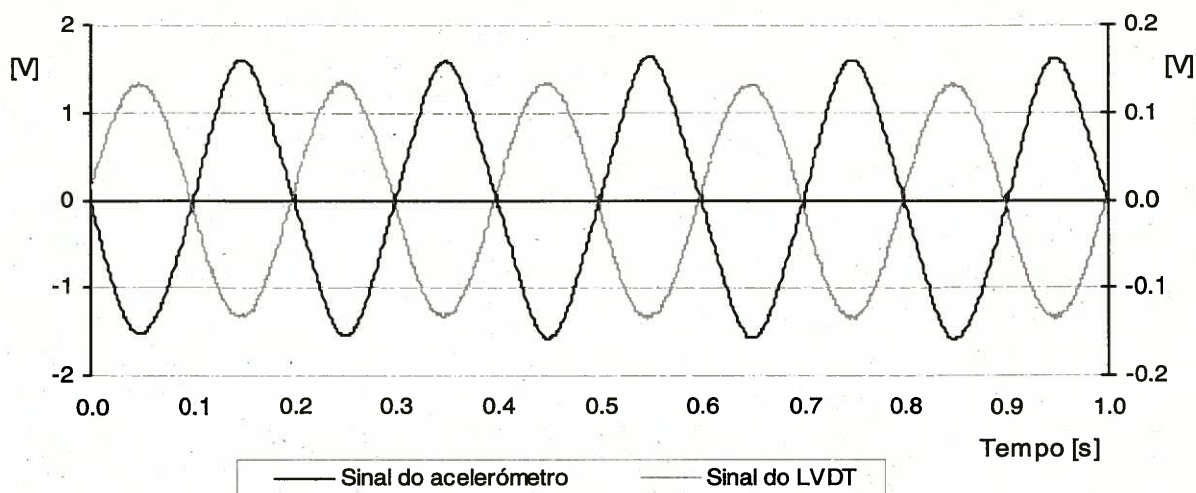


Fig 6 – Sinal do acelerómetro vs. sinal do LVDT.

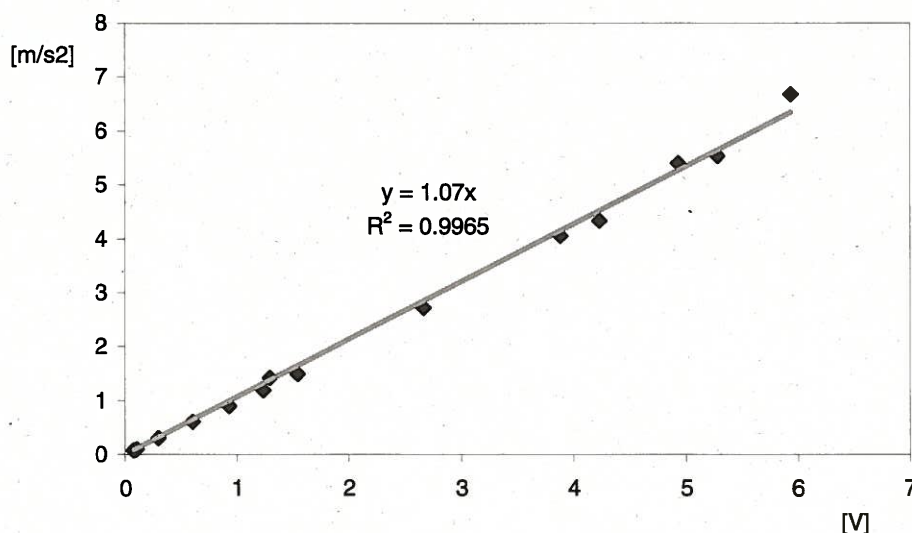


Fig 7 – Recta de calibração para o eixo y do sensor primário A.

4.1. Teste comparativo

Efectuou-se um ensaio comparativo do sistema desenvolvido com um outro sistema baseado num sonómetro Brüel & Kjær que analisa as vibrações do corpo humano de acordo com a versão anterior (1985) da norma ISO 2631. Assim, no software do sistema desenvolvido pelos autores foram introduzidos os factores de ponderação em frequência que eram utilizados na versão de 1985.

O objectivo deste ensaio foi verificar a concordância da resposta dos dois sistemas.

O ensaio foi realizado na máquina de ensaios de fadiga, impondo uma frequência e amplitude de oscilação constante ao

acelerómetro (sensor A). Os valores da aceleração para cada eixo e o correspondente valor total foram adquiridos e analisados através dos dois sistemas. Tal como durante os ensaios realizados durante a calibração adquiriu-se o sinal do LVDT da própria máquina por forma a confirmar o sinal de aceleração imposto. O tempo de aquisição de cada uma das leituras foi de vinte segundos.

As frequências e amplitudes impostas, bem como a aceleração total equivalente obtida pelos dois sistemas de medida, estão indicadas na tabela 5.

Da análise dos dados obtidos pode-se verificar que existe uma boa concordância

entre os valores medidos por ambos os sistemas de leitura.

Tabela 5 – Resultados do ensaio comparativo.

Freq. [Hz]	Amplitude [mm]	Aceleração BK2231 [ms ⁻²]	Aceleração Sistema [ms ⁻²]	Dif. [%]
10	1,04	2,22	2,33	4,7
	0,54	1,15	1,20	4,2
5	1,73	1,29	1,21	6,6
	0,87	0,65	0,61	6,6

4.2. Caso prático

A situação aqui apresentada diz respeito à análise do conforto efectuada a um veículo ligeiro. Foram realizados diferentes ensaios na viatura em questão, apresentando-se os resultados das seguintes situações: condução em estrada asfaltada a 50 (4ª velocidade), 90 e 120 km/h (5ª velocidade) e condução a 40 km/h (4ª velocidade) em pavimento empedrado com diversas irregularidades.

Nos ensaios realizados, e de acordo com a norma ISO 2631, o sensor primário foi colocado entre o assento e o condutor da viatura.

Na figura 8 está representada a evolução durante dois segundos da aceleração para o eixo z do veículo a deslocar-se em estrada asfaltada à velocidade de 120 km/h.

Na figura 9 apresentam-se as análises espectrais do sinal de aceleração para as quatro situações estudadas. Pode-se observar que é no pavimento de pior qualidade que surgem as componentes com frequências mais elevadas.

Nas análises espectrais é visível a existência de uma grande concentração das vibrações medidas dentro da gama de frequências para as quais o corpo humano tem maior sensibilidade (4-10 Hz).

Na tabela 6, apresenta-se um resumo do tratamento dos dados para as quatro situações aqui reportadas.

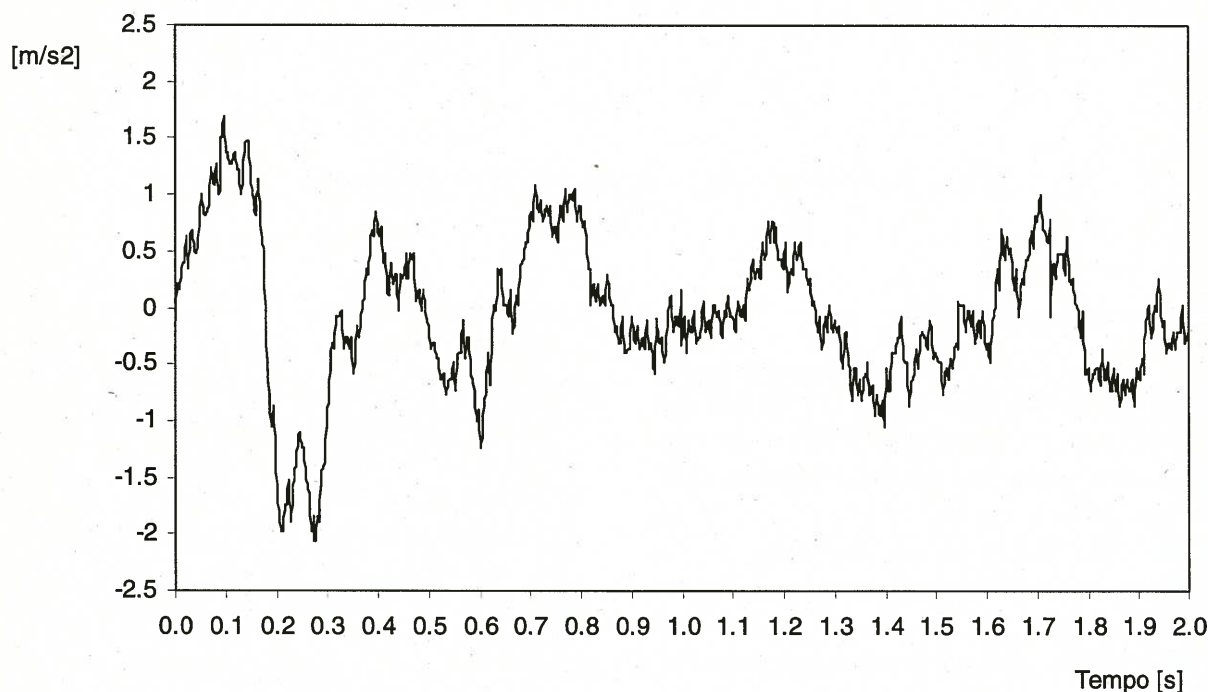


Fig 8 – Aceleração segundo o eixo z do veículo a uma velocidade de 90 km/h.

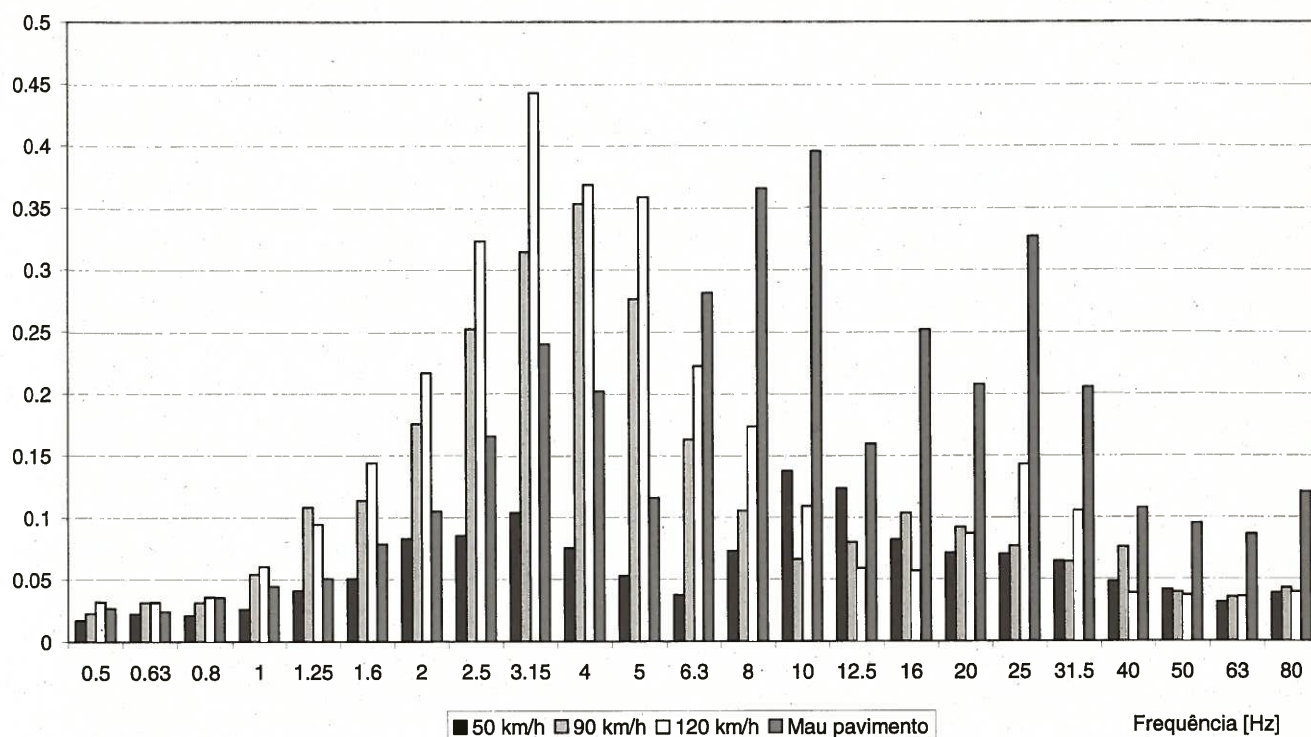


Fig 9 – Análise espectral das vibrações segundo o eixo z.

Tabela 6 – Valores da aceleração medida no veículo [ms⁻²].

Ensaio	Eixo x	Eixo y	Eixo z	a _v
50 km/h	0,035	0,048	0,261	0,267
90 km/h	0,087	0,107	0,606	0,621
120 km/h	0,106	0,137	0,755	0,774
Mau pav.	0,100	0,213	0,776	0,811

Como seria de esperar os valores das vibrações vão sendo maiores à medida que a velocidade do veículo vai aumentando. Comparando os valores de aceleração obtidos com os valores indicativos da tabela 1 pode-se concluir que as vibrações induzidas a 120 km/h e no pavimento em mau estado sugerem a existência de desconforto. O ensaio realizado a 50 km/h é o único que indica a inexistência de qualquer sensação de desconforto.

5. CONCLUSÕES

Descreveram-se os principais detalhes relativos à construção de um sistema de aquisição e tratamento de sinais de aceleração cujo principal objectivo é o de medir as vibrações induzidas no corpo humano para, entre outras situações, avaliar o conforto no interior de veículos.

O sistema desenvolvido foi calibrado e testado num comparativo com outro sistema de aquisição e tratamento obtendo-se uma boa coerência entre os mesmos. Uma das vantagens do sistema desenvolvido é a versatilidade que ele apresenta no processamento do sinal adquirido.

Foram apresentados alguns resultados relativos à utilização do sistema na avaliação das condições de conforto num modelo de veículo ligeiro de transporte de passageiros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia, pelo suporte financeiro do presente trabalho através do projecto POCTI/2000/EME/34266, e ao grupo de Construções Mecânicas do DEM-FCTUC, em especial ao Prof. Amílcar Ramalho, pela disponibilização da máquina de ensaios de fadiga.

BIBLIOGRAFIA

ISO 2631, *Mechanical vibration and shock - evaluation of human exposure to whole-body vibration*, Geneva: International Standard Organization, 1997.

ISO 2631, *Mechanical vibration and shock - evaluation of human exposure to whole-body vibration*, Geneva: International Standard Organization, 1985.

Bendat, J. S., *Random data - analysis and measurement procedures*, John Wiley & Sons, 1986 (ISBN: 0 471-04000-2).

Wyon, David P., *Driver vigilance: the effects of compartment temperature*, SAE Paper 920168, 1992.

Mackie, R.R., *A study of heat, noise and vibration in relation to driver performance and physiological status*, 1974.