

Avaliação de vibrações de um trator da FEUP

Evaluation of the vibrations on a lawn-mowing tractor in FEUP

Bruno Augusto¹ | Pedro Menezes¹ | Pedro Campos¹ | Pedro Camacho¹ | Rafael Dias¹ | Tomás Carneiro¹ | Nuno Ramos¹ | Mário Vaz¹

¹ LOME, INEGI, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Portugal

bruno.r.augusto.brca@gmail.com; pedroquartemenezes@gmail.com; pedroj.silvacampos@gmail.com; up201504810@fe.up.pt; up201504459@fe.up.pt; tomasmcarneiro@gmail.com; bruno.r.augusto.brca@gmail.com; nviriato@inegi.pt; gmavaz@fe.up.pt

resumo

O presente artigo visa a apresentação dos resultados da análise de vibrações mecânicas realizada num dos tratores agrícolas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, assim como toda a preparação e procedimento experimental que os originaram. O tema das vibrações mecânicas é omnipresente e existem decretos-lei e regulamentação que regem a exposição do corpo humano às mesmas. Partindo deste pressuposto, foram analisadas normas portuguesas e internacionais de modo a gerar uma análise válida das vibrações, que foram medidas no sistema mão-braço e corpo inteiro. Com a ajuda de acelerómetros, foi criado um procedimento experimental. Este foi levado a cabo e os resultados foram tratados em MATLAB®. Para o efeito, foram criados scripts para passar os dados obtidos de aceleração para o domínio de frequências através de uma Transformada Rápida de Fourier. De seguida, discretizou-se a amplitude de aceleração segundo bandas de terço de oitava consoante o local onde esta foi medida. Através dos devidos fatores de ponderação, os valores totais de aceleração foram obtidos. Os resultados mostram que as vibrações a que o operador é sujeito se encontram dentro dos limites legais. Contudo, são considerados como pouco desconfortáveis, segundo a classificação da norma. De um ponto de vista da segurança, o estudo enfatiza a importância da análise de vibrações em operações de trabalho para conforto e segurança dos operadores.

Palavras-chave: Mecânica experimental / Vibrações Mecânicas / Análise de vibrações em corta-relva

abstract

This article aims to present the results of the analysis of mechanical vibrations carried out in one of the lawn-mowing tractors of the Faculty of Engineering of the University of Porto, as well as all the preparation and experimental procedure that gave rise to them. The theme of mechanical vibrations is omnipresent and there are decree-laws and regulations governing the exposure of the human body to them. Based on this assumption, portuguese and international standards were analyzed as to generate a valid analysis of vibrations. These were measured in the hand-arm and whole-body system. Resorting to accelerometers, an experimental procedure was created. This was carried out and the results were treated in MATLAB®. For this purpose, scripts were created to convert the acceleration data obtained into the frequency domain through a Fast Fourier Transform. Then, the acceleration amplitude was discretized according to third octave bands depending on the place where it was measured. Using the adequate weighting factors, the total acceleration values were obtained. The results show that the vibrations to which the operator is subjected are within legal limits. However, they are considered to be somewhat uncomfortable, according to the standard's classification. From a safety standpoint, the study emphasizes the importance of vibration analysis in work operations for operator comfort and safety.

Keywords: Experimental mechanics / Mechanical vibrations / Lawnmower vibration analysis

1- INTRODUÇÃO

O presente artigo tem como propósito apresentar o processo e os resultados da análise de vibrações, realizada num trator agrícola da FEUP. A vibração mecânica é um fenómeno recorrente nas mais diversas máquinas e equipamentos utilizados pelo ser humano e é proveniente, em geral, de solicitações dinâmicas dos sistemas de acionamento ou da interação com o exterior. A análise das vibrações produzidas por máquinas é relevante devido a diversos aspetos, mas destaca-se a determinação das vibrações transmitidas na interface máquina/utilizador. Visto que as vibrações mecânicas são prejudiciais para a saúde e conforto humano, é imperativo ter conhecimento dos níveis de exposição que o utilizador de uma dada máquina está exposto. Com o objetivo de analisar as vibrações emitidas pelo trator agrícola da FEUP, foi necessário fazer uma recolha e estudo de legislação relativa à exposição e produção de vibrações. A recolha e estudo de normas relativas à realização de medições de vibração, e tratamento dos resultados, foi também necessária. Em relação às medições, estas foram executadas com acelerómetros, juntamente com todo o equipamento de montagem e aquisição de dados necessário. As vibrações foram medidas na mão do utilizador, no assento (diretamente debaixo dos glúteos) e no apoio para os pés (chassis). A interpretação dos resultados experimentais teve como precedente a manipulação apropriada dos dados adquiridos.

2- REGULAMENTAÇÃO

Para impedir legalmente a exposição dos trabalhadores a vibração excessiva, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia aprovaram a Diretiva no 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho de 2002. Esta compila as prescrições mínimas de segurança e saúde em relação à exposição a vibração. Toda a exposição a vibrações excessivas pode levar a problemas físicos (e não só) irreparáveis, que se manifestam a curto, médio e longo-prazo.

O maior destaque desta diretiva vai para a apresentação dos valores limite e valores de ação de exposição para as vibrações transmitidas ao sistema mão-braço e ao corpo inteiro, apresentados na Tabela 1. Transcreve-se diretamente da norma as seguintes definições:

- **Valor de ação de exposição** - o valor da exposição pessoal diária, calculado num período de referência de oito horas, expresso em metros por segundo quadrado, que, uma vez ultrapassado, implica a tomada de medidas preventivas adequadas;
- **Valor limite de exposição** - o valor limite da exposição pessoal diária, calculado num período de referência de oito horas, expresso em metros por segundo quadrado, que não deve ser ultrapassado.

Tabela 1 | Valores de ação de exposição e valores limite de exposição.

Valores de Exposição	Sistema mão-braço	Corpo Inteiro
Valor de ação de exposição / ms^{-2}	2,5	0,5
Valor limite de exposição / ms^{-2}	5	1,15

3- NORMALIZAÇÃO

3.1. Norma EN ISO 5349-1

A presente parte da Norma ISO 5349 especifica os requisitos gerais em matéria de medição e descrição da exposição às vibrações transmitidas pelo sistema mão-braço segundo três eixos ortogonais. Define uma ponderação em frequências e filtros de limitação de banda a fim de permitir uma comparação uniforme das medições. Os valores obtidos podem ser utilizados para prever os efeitos nocivos das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço, na gama de frequências abrangida pelas bandas de oitava compreendidas entre 8Hz e 1000Hz.

A seguinte simbologia é utilizada pela parte 1 da Norma ISO 5349:

- $a_{hw}(t)$ [m/s^2]: valor instantâneo da aceleração, ponderada em frequência, das vibrações unidirecionais transmitidas pelo sistema mão-braço no instante t ;
- a_{hw} [m/s^2]: valor eficaz da aceleração, ponderada em frequência, das vibrações unidirecionais transmitidas pelo sistema mão-braço;
- $a_{hwx}, a_{hwy}, a_{hwz}$ [m/s^2]: componentes no eixo x, y e z de a_{hw} ;
- a_{hv} [m/s^2]: valor total da aceleração eficaz, ponderada em frequência. Representa a raiz quadrada da soma dos quadrados dos valores de a_{hw} segundo os três eixos;
- $A(8)$: termo apropriado para a exposição diária às vibrações (valor total da vibração contínua equivalente para um período de 8h);
- T : duração da exposição total diária às vibrações a_{hv} ;
- T_0 : duração de referência de 8h (28 800 s);
- W_h : características da ponderação, em frequência, para as vibrações transmitidas pelo sistema mão-braço.

3.1.1. Caracterização das vibrações transmitidas pelo sistema mão-braço

Em termos de transdutores de vibrações, a utilização de acelerómetros é viável. Relativamente à sua colocação e orientação, as vibrações transmitidas pelo sistema mão-braço devem ser medidas e registadas para as três dimensões de acordo com o sistema de coordenadas ortogonais definido pela Figura 1. As vibrações nas três direções deverão ser, preferencialmente, medidas simultaneamente. As medições devem ser efetuadas na superfície vibrante, o mais próximo possível do centro da zona de prensão da máquina, da ferramenta ou da peça trabalhada. Os transdutores deverão ser rigidamente ligados. As Normas ISO 5348 e 5349-2 dão mais informações sobre a montagem dos acelerómetros.

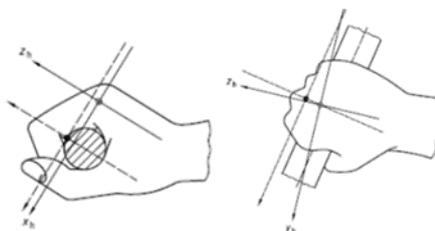


Fig. 1 | Sistema de coordenadas de mão, EN ISO 5349-1

A ponderação em frequência W_h , necessária na determinação da aceleração eficaz, reflete a importância das diferentes frequências em causar lesões às mãos. Supõe-se que as vibrações em cada uma das três direções têm um potencial de dano equivalente. As medições devem ser feitas nos três eixos e a avaliação da exposição às vibrações deverá assentar na seguinte grandeza:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (1)$$

3.1.2. Caracterização da exposição transmitida ao sistema mão-braço

A fim de facilitar comparações entre exposições diárias de diferentes durações, a exposição diária às vibrações deve ser expressa em termos da energia equivalente do valor da vibração total, ponderado em frequência, para um período de 8h, representado por $A(8)$:

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

onde a_{hvi} é o valor da vibração total para a operação i , n é o número de exposições individuais às vibrações e T_i é a duração da operação i .

3.1.3. Conversão dos valores obtidos por bandas de um terço de oitava para acelerações ponderadas em frequência

A medição de a_{hw} requer a aplicação de filtros de ponderação em frequência e filtro passa-banda. Em alternativa à utilização de um filtro W_h , os valores eficazes das acelerações em bandas de um terço de oitava podem ser usadas para obter a correspondente aceleração, ponderada em frequência. Esta foi a via tomada neste trabalho. O valor eficaz da aceleração ponderada em frequência, a_{hw} , pode ser calculado da seguinte forma:

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \quad (3)$$

onde W_{hi} é o fator de ponderação para a banda i em terços de oitava e a_{hi} [m/s²] é o valor eficaz da aceleração medido na banda i em terços de oitava.

3.2. Norma NP ISO 2631-1

3.2.1. Medição de vibrações

A grandeza primária da amplitude da vibração deve ser a aceleração, expressa em m/s². A vibração deverá ser medida num sistema de coordenadas com a origem num ponto considerado de entrada da vibração no corpo (Figura 2).

O valor eficaz da aceleração ponderada em frequência deve ser determinado por ponderação e adição adequada de dados em banda estreita ou em banda de terço de oitava. A conversão de dados de banda de terço de oitava deve recorrer aos fatores de ponderação W_{hi} , definidos na norma, que diferem consoante tem-se a direção z (W_k) ou x e y (W_d). A aceleração ponderada deverá ser determinada em conformidade com a seguinte equação:

$$a_w = \sqrt{\sum_i (W_i a_i)^2} \quad (4)$$

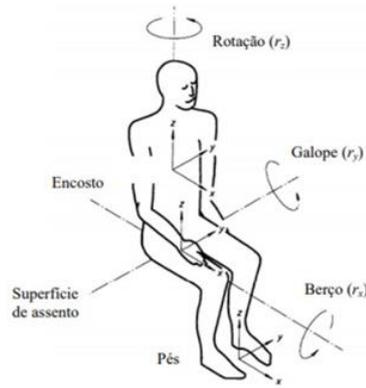


Fig. 2 | Sistema de coordenadas para a medição de vibrações - posição: sentado, NP ISO 2631-1.

na qual a_w representa a aceleração ponderada em frequência, W_i representa o fator de ponderação para a banda de terço de oitava i e a_i representa o valor eficaz da aceleração para a banda de terço de oitava i . O valor eficaz total da aceleração ponderada, determinada a partir das vibrações, em coordenadas ortogonais, pode ser calculado através de:

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (5)$$

onde a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} representam os valores eficazes das acelerações ponderadas relativas aos eixos ortogonais x , y e z , respectivamente e k_x , k_y e k_z representam fatores multiplicativos.

3.2.2. Conforto e saúde

A norma permite realizar uma estimativa do efeito da vibração no conforto de pessoas saudáveis, especificando análises para diversas posições. No entanto, como na medição de vibrações realizada, o operador se encontrava sentado, apenas será abordada esta posição. A Tabela 1 apresenta valores de referência que a norma define para cada estado de conforto.

No caso em estudo, a exposição a vibrações decorre durante mais do que um período com diferentes amplitudes de vibração. A amplitude da vibração equivalente $a_{w,e}$, ponderada em frequência, pode ser calculada através da expressão (6).

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{wi}^2 T_i}{\sum T_i} \right]^{1/2} \quad (6)$$

Caso sejam feitas medições em mais do que um ponto referente ao corpo inteiro, a análise deve ser feita não só numa perspetiva individual, mas também numa perspetiva global. A análise

Tabela 2 | Estado de conforto, definido pelo intervalo de amplitudes equivalentes de vibração.

Estado	Limite inferior de $a_{w,e} / \text{ms}^{-2}$	Limite superior de $a_{w,e} / \text{ms}^{-2}$
Não é desconfortável	-	0.315
Pouco desconfortável	0.315	0.63
Razoavelmente desconfortável	0.5	1
Desconfortável	0.8	1.6
Muito desconfortável	1.25	2.5
Extremamente desconfortável	2.5	-

global tem como base o valor total global de vibração, obtido pela raiz da soma dos quadrados dos valores totais de vibração, em cada ponto de medição para o corpo inteiro (7).

$$a_v^{global} = \sqrt{\sum a_{v_i}^2} \quad (7)$$

3.2. Norma ISO 10326-1:2016

A norma ISO 10326-1:2016 apresenta soluções para a instrumentação dos assentos de veículos, quando se pretende realizar uma análise relativa às vibrações transmitidas pelo veículo ao utilizador. A Figura 3 tem presente a representação esquemática do disco de montagem, apresentada pela norma ISO 10326-1:2016. Uma versão deste equipamento, possível de observar no seguinte capítulo, foi fabricada por impressão 3D.

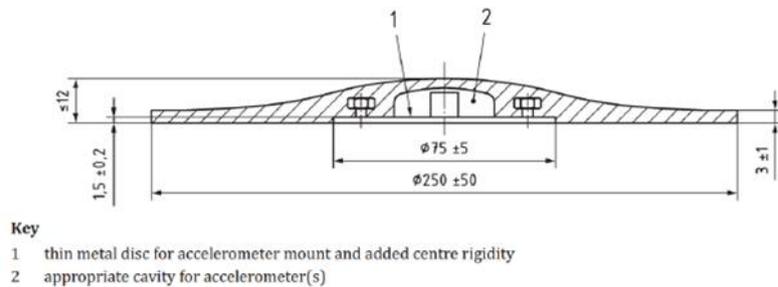


Fig. 3 | Instrumentação do assento, segundo a norma ISO 10326-1:2016.

4-PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O teste do corta-relvas teve lugar no campus da FEUP, junto ao Departamento de Engenharia Mecânica, num trajeto de utilização rotineira. Inclui um percurso de relva a contornar algumas árvores com o pente no nível de corte e dois outros em cima do pavimento em paralelo. Para além destes casos, foram também executadas medições com o trator parado, que incluíram as ações de ligar e desligar o equipamento. O sistema de aquisição de dados foi montado no próprio corta-relvas, em cima do reservatório de relva cortada, localizado na parte traseira. Assim, dada a forma achatada da UPS, esta foi pousada no reservatório, à sua frente o chassis dos módulos de aquisição e o portátil pousado em cima. Todos os equipamentos foram fixos com cuidado ao trator, usando a fita adesiva. Posteriormente, iniciou-se a montagem dos acelerómetros no corta-relvas. O acelerómetro do pé foi fixo ao lado da borracha do apoio de pé, ou seja, na chapa que constitui o próprio apoio de pé. O acelerómetro não fixou diretamente na superfície de apoio ao pé, pois a cobertura de borracha estava solta.

Como observado na Figura 4, a montagem foi realizada com a ajuda de cera de abelha e o acelerómetro foi seguro, por cima, com fita adesiva. No fim, foram fixos os cabos de todos os acelerómetros ao trator. O acelerómetro do assento foi montado na chapa com cera de abelha



Fig.4 | Montagem do acelerómetro do pé.

na face de contacto, mas sem fita adesiva no topo, como mostra a Figura 5. O disco polimérico vermelho (fabricado por impressão 3D com base na norma ISO 10326-1:2016) foi colocado no topo, tendo precaução com a saída do fio do acelerómetro, e fixou-se o mesmo ao banco com a fita adesiva. Finalmente, colocou-se uma espuma por cima do conjunto e fixou-se o mesmo ao assento, também com a ajuda de fita adesiva.

O último acelerómetro foi colocado no topo da mão e foi fixo com fita isoladora eléctrica (Figura 6). O cabo do acelerómetro seguiu o braço, e foi fixo ao ombro com uma tira de fita adesiva. Foi então possível ligar um canal a cada ponto dos módulos de aquisição de dados.

O corta-relvas realizou vários trajetos em relva (com o mecanismo de corte em funcionamento) e no paralelo. Na Figura 7, apresentam-se algumas imagens da realização da atividade experimental.

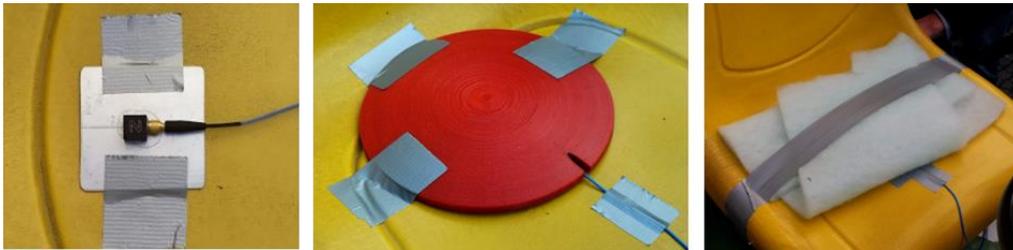


Fig.5 | Montagem do acelerómetro no assento.



Fig. 6 | Montagem do acelerómetro na mão da operadora.



Fig. 7 | Aspeto final da montagem e percurso em relva.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os dados recolhidos pelos acelerómetros nos seis ensaios (2 para cada modalidade: “relva”, “paralelo” e “só a trabalhar”) foram tratados com recurso ao software MATLAB®. Para o efeito, foram criadas funções e *scripts* para tratamento dos dados, de acordo com as Normas EN ISO 5349-1 e NP ISO 2631-1. Os dados fornecidos por cada acelerómetro estavam escritos em termos de amplitude de aceleração (em g , onde $g=9.81 \text{ ms}^{-2}$) em função do tempo (s), para cada componente em x , y e z . Foi então necessário transformar o registo da resposta do sistema do domínio temporal para o domínio das frequências. Para o efeito, aplicou-se uma transformada rápida de Fourier, usualmente denominada por FFT (*Fast Fourier Transform*).

O passo seguinte consistiu em discretizar a resposta em aceleração, que já se encontra no domínio das frequências, para as bandas de frequência em terços de oitava mais importantes, consoante o tipo de vibração. Para as vibrações no sistema mão-braço, considerou-se as bandas com frequências centrais entre 4 e 2000 Hz, que incluem o intervalo da norma ISO 5349-1. Para as vibrações transmitidas ao corpo inteiro (glúteos e pé) considerou-se as bandas explícitas na norma NP ISO 2631-1, com frequências centrais entre 0.1 e 400 Hz. Em cada banda calculou-se o valor eficaz (RMS) e representou-se através de um gráfico de barras.

O valor eficaz (RMS) de aceleração para cada intervalo de frequências, a_{hi} para o sistema mão-braço e a_i para corpo inteiro, foi posteriormente multiplicado pelo valor de ponderação associado. Para o sistema mão-braço, a expressão (3) permite calcular o valor eficaz da aceleração total ponderado a_{hw} na direção considerada, enquanto que, para o corpo inteiro, tem-se a_w com a aplicação da expressão (4).

Os valores totais de aceleração a_{hv} e a_v (ms^{-2}) foram determinados para cada ensaio, e para cada modo de funcionamento (paralelo, relva e só a trabalhar), através das expressões (1) e (5), respetivamente. Para o corpo inteiro (a_v), considerou-se a hipótese que origina maiores valores de aceleração isto é, $k_x=1.4$; $k_y=1.4$; $k_z=1$. A amplitude da vibração equivalente ($a_{w,e}$) e o valor total global de aceleração (a_v^{global}) foram obtidos pelas expressões (6) e (7) da norma 2631-1, respetivamente. Para a exposição média diária às vibrações (2), de acordo com a informação obtida junto dos jardineiros, considerou-se:

- Tempo total com o minitractor corta-relva: 4 horas;
- Parcela gasta em relva: 90% (3.6 horas);
- Parcela gasta em paralelo: 5% (0.2 horas);
- Parcela gasta só a trabalhar: 5% (0.2 horas).

Apresenta-se de seguida, a título de exemplo, os gráficos de aceleração para o sistema mão-braço, direção x , ensaio 2, na relva (Figuras 8,9 e 10).

A Tabelas 3 e 4 apresentam, respetivamente, um resumo dos resultados obtidos referentes à exposição média diária e à amplitude de vibração equivalente.

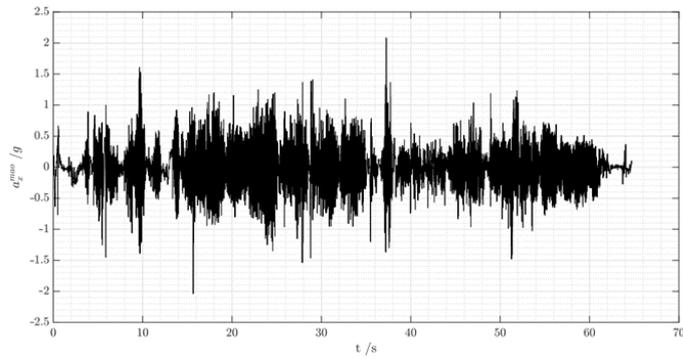


Fig. 8 | Resultado experimental, segundo a direção x , obtido na segunda medição (ensaio 2, sistema mão-braço) da vibração do trator na relva.

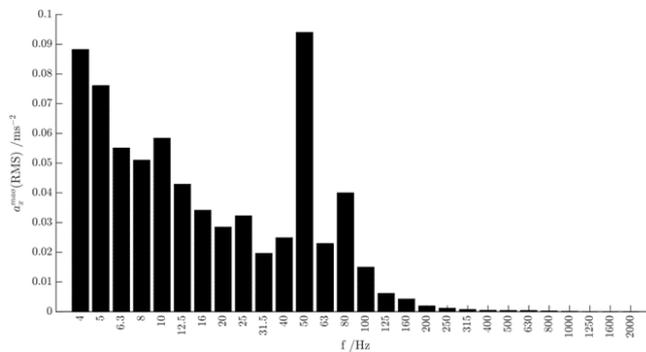


Fig. 9 | Aceleração discretizada (ISO 5349-1), segundo a direção x , obtida da segunda medição (ensaio 2, sistema mão-braço) da vibração do trator na relva.

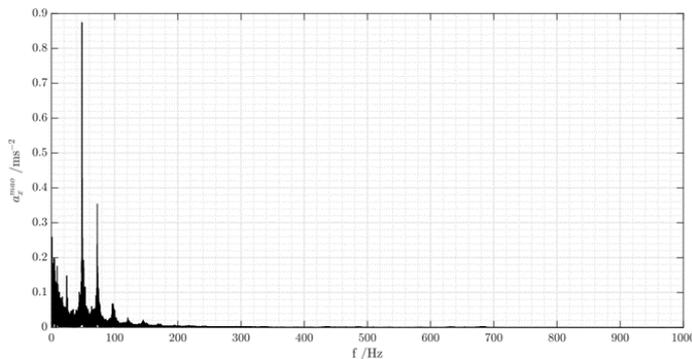


Fig. 10 | Aceleração em função da frequência, segundo a direção x , obtida da segunda medição (ensaio 2, sistema mão-braço) da vibração do trator na relva.

Tabela 3 | – Resumo dos resultados obtidos referentes à exposição média diária.

Ponto de medição	$A(8)$ (média) / ms^{-2}	Valor de ação de exposição / ms^{-2}	Valor limite de exposição / ms^{-2}
Mão (sistema mão-braço)	0,1513	2.5	5
Glúteos	0,1850	0.5	1.15
Pé	0,1692	0.5	1.15
Corpo inteiro (valor global)	0,2506	0.5	1.15

Tabela 4 | Resumo dos resultados relativos à amplitude de vibração equivalente.

	Glúteos	Pé	Corpo inteiro (valor global)
Amplitude de vibração equivalente ($a_{w,e}$) (média)	0,2616	0.2392	0.3544

6. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Com base nos valores de exposição referidos na Tabela 3, constata-se que, de facto, a exposição média diária não atinge o valor de ação de exposição, tanto para as vibrações transmitidas para o sistema mão-braço, como para o corpo inteiro (pé e glúteos). Contudo, entre os dois tipos de vibração transmitida, é a aceleração de corpo inteiro que mais se aproxima do respetivo valor de ação (0.5 ms^{-2}), sendo nos glúteos o local onde se mediu o maior valor: 0.1850 ms^{-2} . Numa perspetiva global das vibrações transmitidas ao corpo inteiro, o valor de exposição média diária aproxima-se ainda mais dos valores limite. Em termos de conforto, foi obtida uma amplitude equivalente de vibração média (Tabela 4), para a análise global do corpo inteiro, de 0.3544 ms^{-2} , que a norma ISO 2631-1 caracteriza como sendo um pouco desconfortável.

Uma questão pertinente para a análise dos resultados é entender a influência das ponderações utilizadas. As ponderações aplicadas aos valores de aceleração efetiva discretizados, no domínio das frequências, são obtidas de modo a destacar as amplitudes de aceleração produzidas nas frequências mais prejudiciais ao ser humano. A ponderação dá pouca importância às frequências menos danosas. Portanto, mesmo que sejam observadas amplitudes máximas da ordem dos $4g$, estas ocorrem com alguma raridade, e talvez sejam produzidas em frequências de pouca relevância, levando à obtenção de valores de exposição média diária baixos. Refere-se ainda o facto de que a duração diária total da exposição às vibrações (4 horas) é metade da duração de referência, para o cálculo da exposição média diária. Caso o tempo de utilização fosse superior, os valores de exposição média diária seriam naturalmente superiores e mais próximos dos valores críticos.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível concluir o seguinte:

- Existem valores mínimos impostos, que limitam a aceleração a que um utilizador pode estar exposto, e a aceleração a partir da qual devem ser tomadas medidas de prevenção para a segurança dos utilizadores, instituídos pela Diretiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu.
- Neste trabalho destacam-se as normas EN ISO 5349-1, que enfrenta as vibrações transmitidas ao sistema mão-braço; NP ISO 2631-1, que trata das vibrações transmitidas ao corpo inteiro; e ISO 10326-1:2016, que explicita a conceção de um disco de montagem, necessário para a medição de vibrações transmitidas pelo assento;
- A execução das medições de vibração requer uma panóplia considerável de equipamentos e acessórios, que inclui acelerómetros, cabos, módulos de aquisição, um computador, material adesivo, entre outros;
- Os resultados obtidos cumprem com os valores impostos pela diretiva europeia, pelo que não existe nenhuma irregularidade, ao contrário do que era esperado. No entanto, os resultados experimentais mostram que a amplitude equivalente de vibração do trator é suficiente para causar desconforto.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Professor Mário Vaz, pela orientação dada no desencadear deste trabalho assim como ao Eng. Nuno Viriato, pelo apoio. Ficamos também agradecidos ao Sr. Rui Silva e à Sra. Rosa Vieira, pelo tempo disponibilizado na realização dos testes. Agradecemos aos técnicos das Oficinas de Mecânica, pelo fornecimento de material necessário para a montagem do equipamento de medição. Por fim, agradecemos ao Prof. Pedro Leal Ribeiro e ao Prof. Gomes de Almeida, pelo apoio prestado no tratamento dos resultados experimentais.

REFERÊNCIAS

Parlamento Europeu. Diretiva 2002/44/CE. 2002

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

Instituto Português da Qualidade. NP ISO 2631-1 – Vibrações Mecânicas e Choque - Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações - Parte 1 - Requisitos Gerais. 1997

International Standards Organization. ISO 10326-1:2016 - Mechanical vibration | Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration | Part 1: Basic requirements. 2016

John Deere (site) - consultado em novembro de 2019

PCB Piezotronics (site) - consultado em dezembro de 2019

Ni – National Instruments (site) - consultado em dezembro de 2019