



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

ENSAIOS DE RUÍDO E VIBRAÇÕES - ANÁLISE ESTATÍSTICA

PACS: 43.40.-r

Carlos Aroeira⁽¹⁾; Carlos César Rodrigues⁽²⁾

⁽¹⁾ dBwave.i; ⁽²⁾ Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

⁽¹⁾ Av. Prof. Dr. Cavaco Silva, 33; 2740-120 Porto Salvo; Portugal; Tel: (+351) 214228197;

Fax: (+351) 214228120; e-mail: dbwave@dbwave.pt

⁽²⁾ Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1; 1959-007 Lisboa; Portugal; Tel:(+351) 218317000;

Fax: (+351) 218317162; e-mail: crodrigues@adf.isel.pt

Palavras chave: Vibrações, Vibrações Pseudo-Aleatórias, Comparação Interlaboratorial

ABSTRACT

The legal requirement that only Portuguese Institute of Accreditation accredited Laboratories can perform certain assessments of Noise and Vibration, leads those Laboratories to have to perform regularly, Repeatability Tests, Reproducibility Tests and Intercomparison Tests. The acceptance/non-acceptance of the results obtained on such tests, by the competent authorities, is often based on statistical analysis of that data, using parameters such as mean and standard deviation.

But under what conditions can statistical analysis on physical realities, as Exposure to Noise and Vibration, be carried out? Always? Regardless the variability of the obtained results in some particular situations?

RESUMO

A obrigatoriedade legal de apenas Laboratórios Acreditados pelo Instituto Português de Acreditação poderem efectuar determinadas avaliações de Ruído e de Vibrações, determina que os mesmos realizem com regularidade, Ensaios de Repetibilidade, Ensaios de Reprodutibilidade e Ensaios de Comparação Interlaboratorial. A aceitação/não aceitação dos resultados obtidos, por parte das entidades competentes, tem frequentemente por base a análise estatística dos mesmos, designadamente através da utilização de parâmetros como a média e o desvio padrão.

Mas em que condições poderá a análise estatística sobre realidades físicas, como a Exposição a Ruído e a Vibrações, ser efectuada? Sempre? Independentemente da variabilidade dos resultados obtidos em situações particulares?

1. INTRODUÇÃO

Os Ensaios de Comparação Interlaboratorial devem ter como objectivo analisar o modo como os Laboratórios Acreditados pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC) procedem em termos de metodologia de medição, designadamente no que à análise dos resultados obtidos diz respeito.

Dito por outras palavras, os Ensaios de Comparação Interlaboratorial devem permitir às autoridades competentes decidir do bom/mau serviço prestado à sociedade, quando em situações reais aqueles Laboratórios Acreditados decidem da conformidade legal das mesmas.

Assim, em ambiente Acústico e/ou Vibratório controlado, os técnicos dos Laboratórios Acreditados devem proceder, em modo simulado, como se se encontrassem em situação real.

Para tal, devem as autoridades competentes assegurar que as situações controladas em Ensaios de Comparação Interlaboratorial se assemelham, tanto quanto possível, às situações reais correspondentes.

2. VIBRAÇÕES ALEATÓRIAS E PSEUDO-ALEATÓRIAS

Analisemos, então, o que se passa no caso das vibrações transmitidas ao corpo humano.

Usualmente, considera-se que as vibrações geradas por maquinaria, a que os trabalhadores se encontram expostos durante a execução das suas tarefas diárias, são do tipo periódico ou impulsivo. Sendo tal uma realidade, também é verdade que ocorrem situações em que os trabalhadores se encontram expostos a vibrações aleatórias, cuja caracterização conduz a dificuldades específicas, designadamente no que à obtenção de repetibilidade dos resultados da respectiva medição diz respeito.

As vibrações aleatórias ocorrem sem obedecerem a qualquer regra, não apresentando nenhum valor característico, seja de média, de pico ou de conteúdo espectral.

Contudo, as respostas dos sistemas físicos impõem limitações aos valores das vibrações que neles ocorrem, podendo observar-se, frequentemente, a existência de vibrações designadas de pseudo-aleatórias que, por variarem dentro de certos limites, não podem ser consideradas como perfeitamente aleatórias.

Estas vibrações pseudo-aleatórias, podem ter carácter periódico ou não periódico.

3. VIBRAÇÕES PSEUDO-ALEATÓRIAS, NÃO PERIÓDICAS, NOS LOCAIS DE TRABALHO

Um exemplo de vibração pseudo-aleatória, é aquela a que se encontra exposto um operador de um guilho de corte utilizado em ensaios destrutivos de estruturas metálicas de forma complexa, com soldaduras por pontos. Neste caso, a resistência ao corte tem variações limitadas mas perfeitamente aleatórias, que decorrem do local onde a ferramenta é aplicada e da direção de corte pretendida.

Outro exemplo de uma vibração pseudo-aleatória, é aquela a que se encontra exposto um condutor de um empilhador, sem suspensão, quando, em andamento, percorre um pavimento em mau estado, com irregularidades de diferentes dimensões distribuídas aleatoriamente.

4. EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES DE UM CONDUTOR DE UM EMPILHADOR

Os factores que influenciam as vibrações sentidas pelo condutor, no respectivo assento, durante a utilização de um empilhador, sem suspensão, são os seguintes:

- Velocidade: quanto maior for a velocidade de andamento do empilhador, maior será o nível de vibrações;
- Irregularidade do pavimento: quanto mais irregular for o pavimento, maior será o nível de vibrações;
- Estilo de condução: a condução mais ou menos agressiva do condutor influencia o comportamento vibratório do empilhador e, conseqüentemente, o nível de vibrações;
- Percurso seguido: a possibilidade de o condutor poder desviar, ou não, o empilhador de eventuais irregularidades existentes no pavimento, influencia o nível de vibrações;
- Estado de manutenção: a existência de determinadas avarias no empilhador, influencia o nível de vibrações.

5. MEDIÇÃO DAS VIBRAÇÕES PSEUDO-ALEATÓRIAS, NÃO PERIÓDICAS, A QUE SE ENCONTRA EXPOSTO UM CONDUTOR DE UM EMPILHADOR

Todas as medições a seguir referidas foram efectuadas por um Laboratório Acreditado pelo IPAC para a realização de ensaios de avaliação da exposição dos trabalhadores às vibrações no local de trabalho, de acordo os requisitos da NP ISO 2631-1:2007¹ e da NP EN ISO/IEC 17025:2005².

Por se tratar de um Laboratório Acreditado, a medição e a análise das vibrações em causa deve seguir o estabelecido no Guia Relacre 23³ (adiante designado simplesmente por Guia).

A Figura 1 mostra o registo temporal da medição de vibrações realizada no assento do condutor de um empilhador, sem suspensão, numa instalação fabril, com pavimento em mau estado.

O registo ilustra a evolução temporal das vibrações medidas durante 30 minutos, com integração por períodos de 1 segundo.

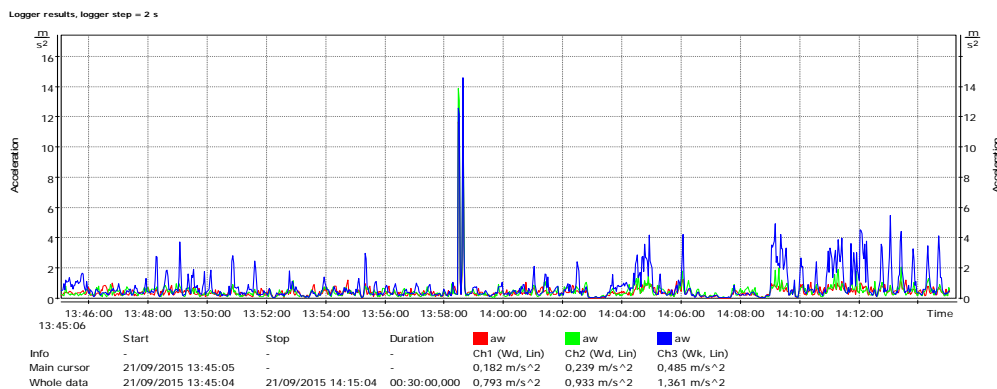


Figura 1 - Evolução temporal da vibração pseudo-aleatória, não periódica, medida no assento do condutor de um empilhador sem suspensão, com integração de 1 segundo

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

A Figura 2 mostra o mesmo registo temporal, efetuado em simultâneo com o mostrado na Figura 1, mas com integração por períodos de 3 minutos, tal como é estabelecido no Guia.

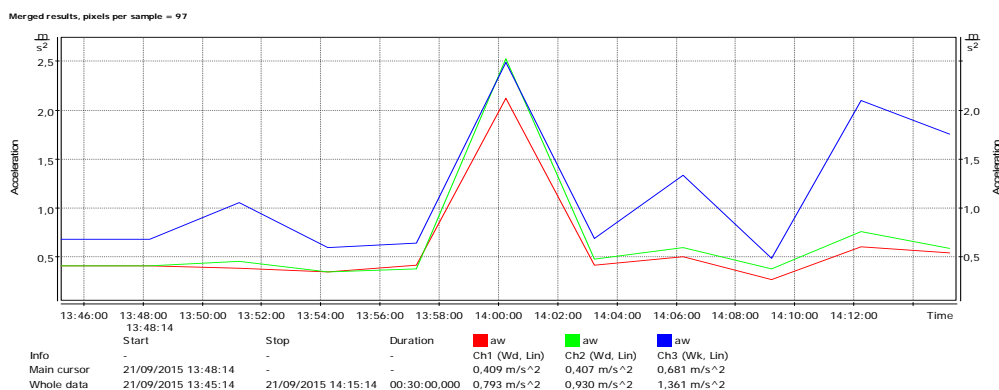


Figura 2 - Evolução temporal da vibração pseudo-aleatória, não periódica, medida no assento do condutor de um empilhador sem suspensão, com integração de 3 minutos

Numericamente, os resultados obtidos na medição correspondente ao gráfico ilustrado na Figura 2 (período de integração de 3 minutos), são os constantes na Tabela 1.

Amostra	Hora	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}
1	13:48:14	0,409	0,407	0,681
2	13:51:14	0,384	0,454	1,054
3	13:54:14	0,348	0,345	0,596
4	13:57:14	0,415	0,378	0,642
5	14:00:14	2,123	2,523	2,489
6	14:03:14	0,42	0,481	0,693
7	14:06:14	0,506	0,594	1,338
8	14:09:14	0,273	0,382	0,486
9	14:12:14	0,603	0,757	2,099
10	14:15:14	0,54	0,589	1,756

Tabela 1 - Valores obtidos, em m/s²

Aos valores constantes na Tabela 1, correspondem os parâmetros estatísticos, designadamente, média, desvio padrão e coeficiente de variação, constantes na Tabela 2.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Parâmetro	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}
Média	0,60	0,69	1,18
Desvio padrão	0,54	0,66	0,71
Coeficiente de variação	90%	95%	60%

Tabela 2 - Média, desvio padrão e coeficiente de variação, dos valores constantes na Tabela 1, em m/s^2

Aplicando o critério de validação referido no Guia, que estabelece um coeficiente de variação máximo de 15%, é necessário proceder a uma selecção de valores entre os constantes na Tabela 1, obtendo-se o mostrado na Tabela 3.

Amostra	Hora	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}
1	13:48:14	0,409	0,407	0,681
3	13:54:14	0,348	0,345	0,596
4	13:57:14	0,415	0,378	0,642
6	14:03:14	0,42	0,481	0,693
	Média	0,40	0,40	0,65
	Desvio padrão	0,03	0,06	0,04
	Coeficiente de variação	8%	14%	7%

Tabela 3 - Selecção dos valores obtidos de modo a cumprir o estabelecido no Guia, em m/s^2

A Tabela 4 a seguir apresentada, permite comparar a média dos valores obtidos, considerando o constante na Tabela 1, ou apenas o constante na Tabela 3.

Média	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}
Todas as amostras (Tabela 1)	0,60	0,69	1,18
Amostras seleccionadas (Tabela 3)	0,40	0,40	0,65
Variação	67%	58%	55%

Tabela 4 - Comparação entre a média de todos os valores obtidos e a dos valores seleccionados, em m/s^2

De acordo com a legislação portuguesa aplicável à exposição dos trabalhadores a vibrações transmitidas ao corpo inteiro, designadamente o Decreto-Lei nº 46/2006⁴, os correspondentes limites legais são os constantes na Tabela 5.

Risco aceitável	$A(8) \leq 0,5$
Risco aceitável com medidas preventivas adequadas	$0,5 < A(8) \leq 1,15$
Risco inaceitável	$A(8) > 1,15$

Tabela 5 - Limites legais para a exposição a vibrações transmitidas ao corpo inteiro, em m/s^2

Procedendo em conformidade com o exigido na legislação em vigor, isto é, multiplicando os valores obtidos nas medições efectuadas pelo respectivo factor de correcção K e admitindo que o trabalhador se encontra exposto às vibrações medidas durante as 8 horas de cada dia de

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

trabalho, obtém-se os resultados constantes na Tabela 6, que permitem avaliar a conformidade legal das vibrações analisadas.

Média	a_x	a_y	a_z	A(8)	Avaliação
Todas as amostras	0,84	0,966	1,18	1,18	Risco inaceitável
Amostras seleccionadas	0,56	0,56	0,65	0,65	Risco aceitável com medidas preventivas adequadas

Tabela 6 - Avaliação dos resultados obtidos, em m/s^2 , por comparação com o estabelecido na legislação aplicável em vigor

6. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A análise das Figuras e das Tabelas anteriormente apresentadas permite concluir que:

- i) o gráfico constante na Figura 1 permite identificar os momentos em que o empilhador percorre pavimento mais regular e pavimento com irregularidades, bem como quando se encontra imobilizado;
- ii) o gráfico constante na Figura 2 torna menos perceptível o que na realidade acontece, designadamente, o que causa as variações observadas no nível das vibrações medidas;
- iii) os valores constantes na Tabela 1 e na Tabela 2, mostram uma grande variabilidade, típica das vibrações sentidas no assento do condutor de veículos sem suspensão, quando percorrem pavimentos em mau estado, isto é, típica de vibrações pseudo-aleatórias, não periódicas.

Constata-se também, que a aplicação do critério referido no Guia, determina que:

- a) seja necessário recolher 10 amostras para se obterem 4 consideradas válidas;
- b) seja necessário, por se afastarem da média, remover 6 amostras das 10 recolhidas;
- c) sendo necessárias apenas 3 amostras, como estabelece o Guia, existem diversas possibilidades alternativas de remoção de amostras que satisfaçam aquele critério;
- d) entre as amostras removidas se encontram as que correspondem a maiores níveis de vibração;
- e) as amostras removidas correspondem às medições efectuadas nos locais onde o pavimento se apresentava em pior estado;
- f) as amostras removidas correspondem às piores situações de exposição do trabalhador às vibrações transmitidas ao corpo inteiro;
- g) à luz dos limites estabelecidos na legislação portuguesa aplicável em vigor, ocorre uma alteração significativa da avaliação efectuada;
- h) não é possível caracterizar adequadamente o nível de vibrações pseudo-aleatórias, não periódicas, a que os trabalhadores frequentemente estão expostos no respectivo local de trabalho;

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

ou seja:

- i) conduz à subestimação dos níveis de vibração realmente sentidos pelos trabalhadores durante a realização das respectivas tarefas diárias.

7. UTILIZAÇÃO DE FONTES DE VIBRAÇÃO PSEUDO-ALEATÓRIAS EM ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL

A Norma ISO/IEC 17043:2010 - Conformity assessment. General requirements for proficiency testing⁵ é muito explícita e estrita sobre os critérios de estabilidade e homogeneidade das fontes vibratórias utilizadas em Ensaios de Comparação Interlaboratorial, não permitindo que um gerador de vibrações pseudo-aleatórias, não periódicas, seja utilizado naquele tipo de ensaios.

8. CONCLUSÃO

Um empilhador, sem suspensão, percorrendo um pavimento em mau estado, com irregularidades de diferentes dimensões distribuídas aleatoriamente, como é comum ocorrer em pavimentos em mau estado, é um gerador de vibrações pseudo-aleatórias, não periódicas.

Conforme estabelecido na Norma ISO/IEC 17043:2010, as autoridades competentes não podem, nos Ensaios de Comparação Interlaboratorial, utilizar geradores de vibrações pseudo-aleatórias, não periódicas.

Não sendo permitida a utilização daquele tipo de geradores em Ensaios de Comparação Interlaboratorial, não é possível às autoridades competentes garantir a qualidade dos serviços prestados pelos Laboratórios Acreditados em situações tão comuns como a da caracterização das vibrações transmitidas ao corpo de um condutor de um empilhador.

9. REFERÊNCIAS

- [1] NP ISO 2631-1:2007 - Vibrações mecânicas e choque. Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1: Requisitos gerais
- [2] NP EN ISO/IEC 17025:2005 - Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração
- [3] Guia Relacre 23, Edição junho de 2014 - Guia de boas práticas de medição de vibrações. Exposição dos trabalhadores às vibrações
- [4] Decreto-Lei nº 46/2006 - Prescrições mínimas de protecção da saúde e segurança dos trabalhadores em caso de exposição aos riscos devidos a vibrações
- [5] ISO/IEC 17043:2010 - Conformity assessment. General requirements for proficiency testing