

ISO 5349 – ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A MONTAGEM DE ACELERÓMETROS

PACS: 43.40.Ng

Carlos Aroeira⁽¹⁾; Ana Bicker⁽²⁾; Carlos César Rodrigues⁽³⁾

⁽¹⁾ Testwise, Lda.; ⁽²⁾ dBWave I; ⁽³⁾ Instituto Superior Engenharia Lisboa

⁽¹⁾ Parque Industrial Vale Alecrim, Rua do Chumbo, Lote C; 2950-007 Palmela; Portugal; Tel: (+351) 212380501; Fax: (+351) 212380501; carlos.aroeira@testwise.pt

⁽²⁾ Av. Prof. Dr. Cavaco Silva, 33; 2740-120 Porto Salvo; Portugal; Tel: (+351) 214228100; Fax: (+351) 214228120; ambicker@isg.pt

⁽³⁾ Av. Conselheiro Emídio Navarro, 1; 1959-007 Lisboa; Portugal; Tel: (+351) 218317000; Fax: (+351) 218317162; crodrigues@adf.isel.pt

ABSTRACT

The ISO 5349 specifies that the accelerometers should be mounted rigidly in order to perform the hand-arm vibrations measurements. The stiffness concept comes out from the definition of the one degree of freedom function. The ISO 5349 also recommends that the fundamental resonance frequency of the accelerometer should be, at least, greater than five times the maximum frequency of interest, which in the case of the hand-arm vibration measurements is 1250Hz. Being the resonant frequency of the accelerometers usually used is these kind of measurements far bigger than the mentioned value, is the resonance frequency of the accelerometer mounting that remains as the most important issue.

In this paper, the authors will perform a revision of the accelerometer mounting techniques used in hand-arm vibration measurements and the factors that must be taken into consideration for its selection.

RESUMO

A ISO 5349 define que os acelerómetros devem estar rigidamente montados quando se efetuam medições de vibrações. O conceito de rigidez deriva da definição de função com um grau de liberdade. A ISO 5349 também recomenda que a frequência de ressonância do acelerómetro deve ser, no mínimo, cinco vezes superior à máxima frequência de interesse, o que no caso da medição de vibrações no sistema mão-braço é 1250Hz. Sendo a frequência de ressonância dos acelerómetros normalmente utilizados neste tipo de medições muito superior ao valor indicado, é a frequência de ressonância da montagem que está, de facto, em causa.

Neste artigo, os autores apresentarão uma revisão/discussão dos métodos de montagem de acelerómetros em ensaios de vibrações transmitidas ao sistema mão-braço e os fatores que devem ser tidos em consideração na sua seleção. São ainda apresentados resultados de medições mantendo o operador e a ferramenta mas variando o tipo de montagem

1. INTRODUÇÃO

O título da ISO 5349 “Mechanical Vibration: Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration” é contraditório com o que no restante texto é referido em termos de montagem dos sensores, já que recomenda que “os acelerómetros deverão ser montados rigidamente na superfície vibrante”.

Tal é fundamental pois se os acelerómetros forem montados do modo acima indicado, o que será medido são as vibrações na máquina ou na ferramenta (é a superfície vibrante) e não as vibrações transmitidas ao sistema mão-braço, que é o pretendido.

Noutras partes da Norma é sugerida a utilização de acessórios de montagem que não garantem uma montagem rígida. Esta ambiguidade cria dificuldades a quem realiza os ensaios e pode originar erros significativos nos resultados das medições.

Neste artigo vão ser retomados os diversos aspetos envolvidos na seleção da melhor técnica de montagem de acelerómetros para medições de acordo com a ISO 5346

Pretende-se assim fazer uma reflexão, tecnicamente sustentada, sobre o procedimento de montagem adequado tendo em conta o conhecimento e escalonamento dos erros inevitáveis.

2. A INFLUÊNCIA DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO ACELERÓMETRO NOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

Os acelerómetros mais frequentemente utilizados em medição de vibrações transmitidas ao sistema mão-braço são do tipo piezoelétrico. Neste tipo de acelerómetros, a carga elétrica gerada é proporcional à aceleração a que estão sujeitos.

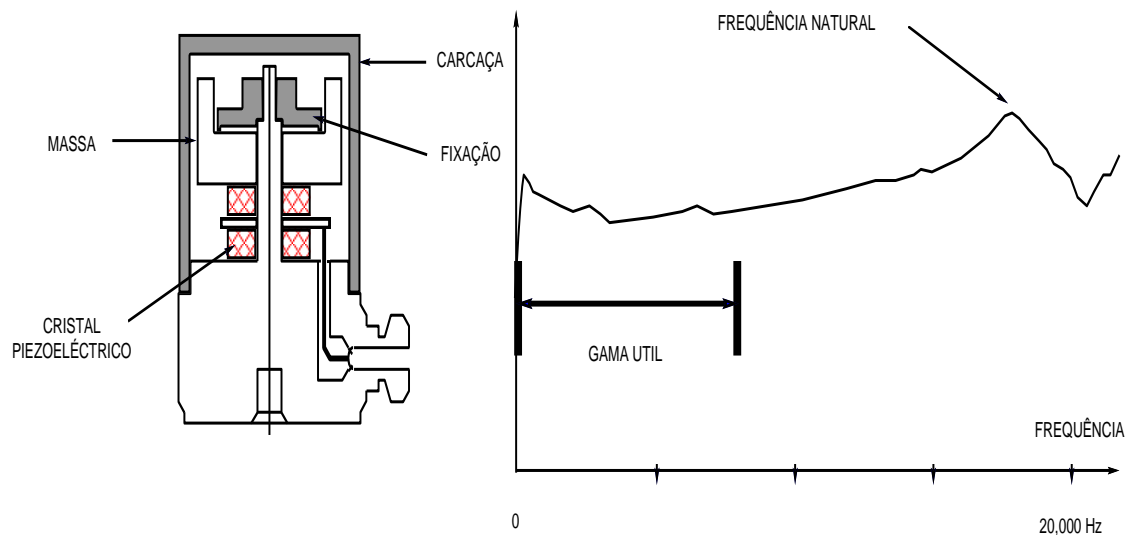


Figura 1 – Resposta em frequência de acelerómetros piezoelétricos

Por outro lado, o conceito de rigidez referido na ISO 5349 deriva da definição de função com um grau de liberdade, onde a relação, em função da frequência, entre a força gerada e a força transmitida, definida como função Transmissibilidade, é a apresentada graficamente na figura seguinte.

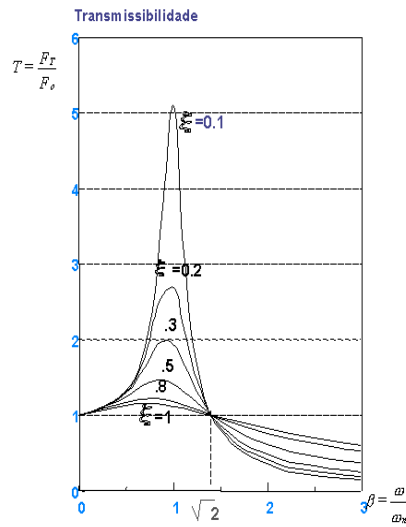


Figura 2 – Representação gráfica da função Transmissibilidade

Da análise do gráfico anterior, verifica-se que quando a abcissa β (quociente entre a frequência natural do sistema com um grau de liberdade e a frequência da força excitadora) iguala a unidade, ocorre um fenómeno denominado ressonância, observando-se uma amplificação da força transmitida.

Naquela função Transmissibilidade definem-se três zonas:

- Zona de comportamento rígido, quando β é muito inferior à unidade. Nesta zona as forças transmitidas são aproximadamente iguais às forças geradas;
- Zona de comportamento flexível, quando β é muito superior à unidade. Nesta zona as forças transmitidas são menores que as forças geradas;
- Zona de ressonância, quando β é aproximadamente igual à unidade. Nesta zona as forças transmitidas são superiores às forças geradas, sendo que a amplitude da Transmissibilidade varia de forma inversamente proporcional ao amortecimento.

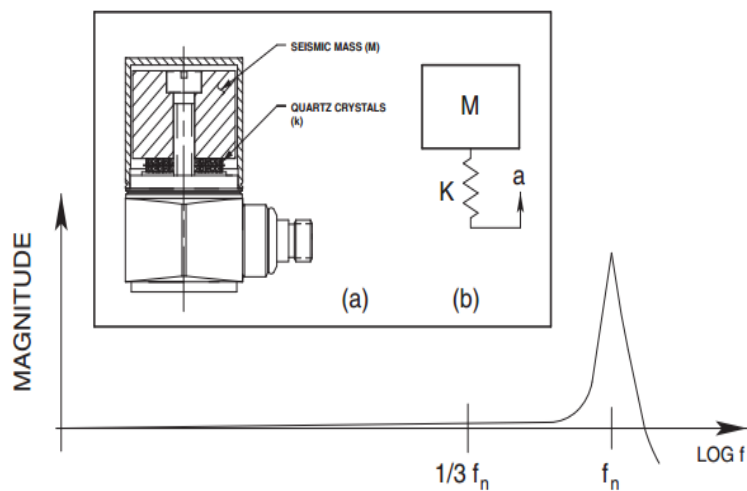


Figura 3 – O acelerómetro representado como um sistema massa-mola com um grau de liberdade (Fonte: DYTRAN INSTRUMENTS)

É pelo exposto que os fabricantes de acelerómetros apresentam, frequentemente, a resposta em frequência destes sensores com uma forma gráfica semelhante à função de Transmissibilidade com um grau de liberdade. Veja-se, por exemplo, a figura anterior.

Em termos do rigor dos ensaios de vibrações deve garantir-se que a resposta em frequência do acelerómetro utilizado seja tal que permita operar na zona rígida da função Transmissibilidade, de modo a assegurar que o valor medido pelo cristal existente no interior do acelerómetro é o mesmo a que todo o acelerómetro se encontra sujeito.

A ISO 5349-2 refere que a frequência de ressonância do acelerómetro e da respectiva montagem dever ser, no mínimo, cinco vezes superior à gama de frequências em estudo, o que no caso da medição das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço é de 1250Hz. Sendo a frequência de ressonância dos acelerómetros normalmente utilizados neste tipo de medições muito superior ao valor atrás referido, o que está, de facto, em causa é a frequência de ressonância da montagem.

3. A INFLUÊNCIA DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DA MONTAGEM DO ACCELERÓMETRO NOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

Na ISO 5349 é referido que “O método de montagem deverá proporcionar uma resposta em frequência linear ao longo da gama de frequências a medir, ou seja, não deverá atenuar ou amplificar e não deve gerar quaisquer ressonâncias nesta gama de frequências.”

É conhecida a influência da montagem dos acelerómetros piezoelétricos na resposta em frequência dos resultados obtidos em medições de vibrações. A montagem do acelerómetro comporta-se como um sistema com um grau de liberdade ao qual está associada uma frequência natural frequentemente designada por frequência de ressonância da montagem.

De modo a garantir o máximo rigor nos ensaios de vibrações deve utilizar-se uma montagem que permita operar na zona rígida da função Transmissibilidade, de modo a assegurar que o valor medido pelo cristal existente no interior do acelerómetro é o mesmo a que está sujeito o objeto onde o acelerómetro se encontra montado.

Assim, o modo como o sensor é colocado em contacto com o ponto de medição influencia significativamente os resultados obtidos. Como regra geral, pode afirmar-se que quanto mais rígida for a ligação do sensor ao ponto de medição, maior rigor se obterá nos respetivos resultados.

Deste modo, se observarmos a figura seguinte, que apresenta as frequências de ressonância de diversos tipos de montagem de acelerómetros, de imediato seleccionaríamos a montagem com a referência 1 – acelerómetro fixo por perne roscado, já que é a que apresenta uma frequência de montagem com o valor mais elevado.

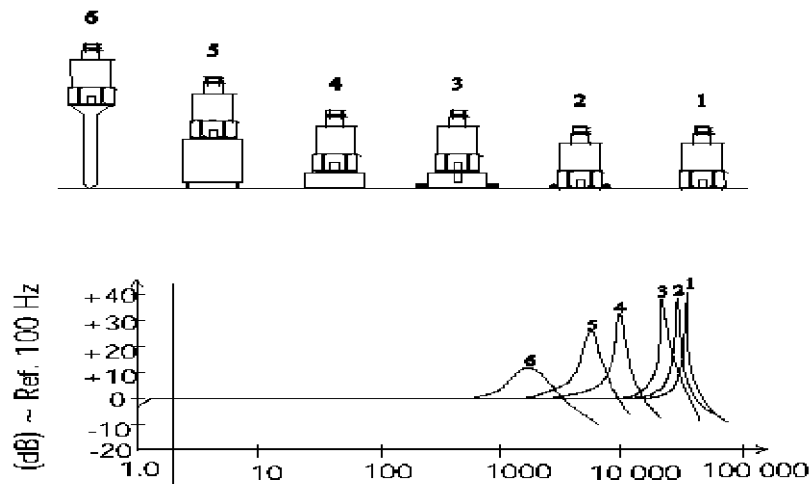


Figura 4 – Frequências de ressonância de diversos tipos de montagem de acelerómetros

De acordo com a ISO 5349, a frequência de ressonância de montagem teria de ser superior a cinco vezes a gama de medição que se estende até aos 1250Hz, ou seja, 6250Hz.

Este valor de frequência de ressonância de montagem só é conseguido com montagens muito rígidas, como, por exemplo, recorrendo à utilização de uma base magnética plana montada em superfícies planas ou através de perne de montagem roscado.

4. AS CURVAS DE PONDERAÇÃO EM FREQUÊNCIA DA ISO 5349

A ISO 5349-1 define a seguinte curva de ponderação em frequência:

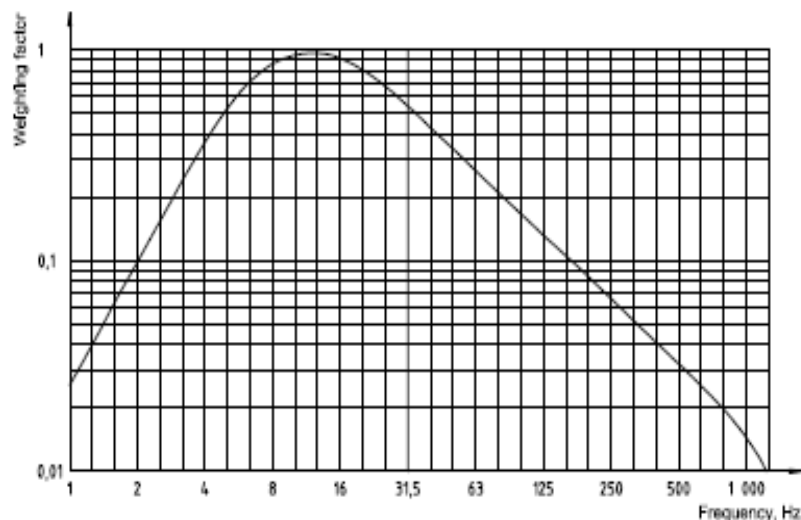


Figura 5 – Curva de ponderação em frequência referida na ISO 5349-1

Observando o gráfico anterior, de imediato se percebe que as frequências superiores a 500Hz são ponderadas em valor inferior a 4% relativamente às frequências compreendidas entre 8 e 16Hz.

Assim, após a aplicação da referida ponderação, a percentagem do valor contabilizado para o valor medido, em frequências superiores a 500Hz, é inferior ao erro associado à resposta em frequência da maioria dos acelerómetros utilizados para este tipo de medições (desvio da linearidade inferior a 5%; sensibilidade transversal inferior a 5%).

Dito de outra forma, a ISO 5349 especifica uma atenuação superior ao erro inerente à utilização de acelerómetros para frequências superiores a 500Hz.

Pode ocorrer que o erro decorrente apenas da imprecisão do acelerómetro a frequências entre 8 e 16Hz seja superior aos valores ponderados medidos a frequências superiores a 500Hz, designadamente quando a importância das componentes de baixa frequência, inferiores a 100Hz, for muito maior do que as de alta frequência, superiores a 500Hz, como é a realidade observada na grande maioria das máquinas e ferramentas.

5. A LOCALIZAÇÃO DA MONTAGEM DO ACELERÓMETRO

A ambiguidade da ISO 5349 surge, em particular, na respectiva parte 2, quando se refere à localização dos acelerómetros. Por um lado indica que “A realização de medições diretamente na palma da mão são, normalmente, apenas possíveis com recurso a adaptadores de montagem”, enquanto que no anexo D, dá como exemplo alguns adaptadores que claramente não cumprem o requerido anteriormente relativamente à rigidez da montagem nas altas frequências, superiores a 500Hz.

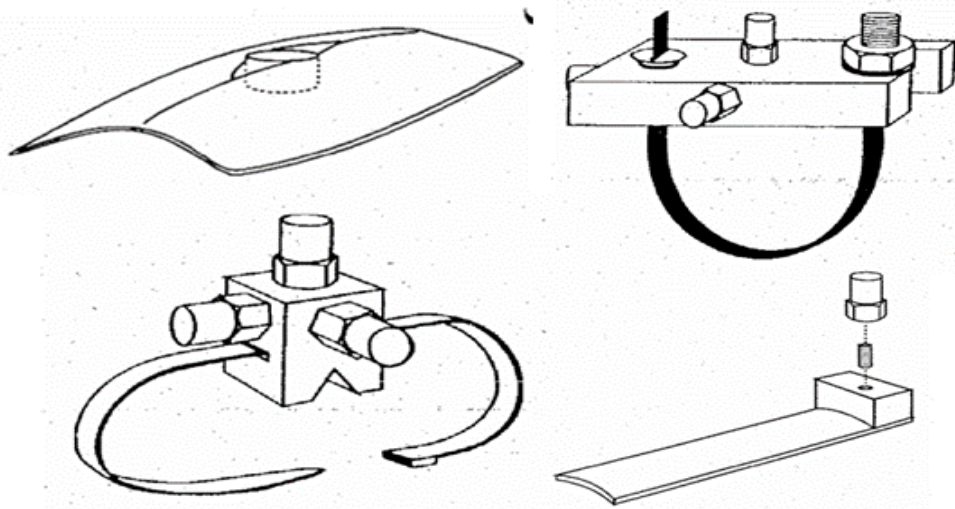


Figura 6 – Exemplos de adaptadores de montagem de acelerómetros referidos na ISO 5349-2

Sendo difícil estimar, com precisão, os erros decorrentes da utilização de uma montagem que não reflecta com rigor as condições de utilização real, pode afirmar-se, sem incorrer em grande risco, que os erros decorrentes de uma montagem de ensaio que não seja fiel às condições de utilização real, são maiores que os decorrentes de se utilizar uma montagem não rígida, quando o que está em estudo são fenómenos vibratórios com frequências superiores a 500Hz.

Assim, só em casos em que o espectro de frequência das vibrações das máquinas apresente componentes muito dominantes acima dos 500Hz se revela estritamente necessária uma montagem de acelerómetro de elevada rigidez. Nas outras situações, que são a maioria, é preferível optar por uma montagem eventualmente menos rígida mas mais próxima da realidade, perdendo algum rigor nas medições a frequências superiores de 500Hz.

6. IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA DOS REQUISITOS DA ISO 5349 PARA A MONTAGEM DE ACELERÓMETROS

Dada a oportunidade de acompanhar anualmente, no âmbito do funcionamento de um laboratório de ensaios (acreditado de acordo com a NP EN ISO 17025), a realização de dezenas de ensaios de avaliação da exposição dos trabalhadores às vibrações transmitidas pelas mãos, tem-se a oportunidade de viver as dificuldades decorrentes desta contradição.

Por um lado ao nível das auditorias de acreditação do laboratório para a norma em causa, exigida pela regulamentação Portuguesa, levanta-se uma dificuldade prática que decorre do critério técnico de cada auditor relativamente ao aspecto da montagem; o que é bom para uns parece não o ser para outros.

Em termos de instrumentação surge outra dificuldade. Caso se utilize uma montagem que simule realisticamente a fixação do acelerómetro à ferramenta quando em utilização pelo trabalhador, esta montagem, funciona como um filtro mecânico e permite utilizar acelerómetros que medem até 500g. Caso o acelerómetro seja rigidamente fixado à ferramenta, existem situações em que este nível é ultrapassado e tem de ser selecionado outro acelerómetro, com uma gama de medida maior.

Por fim, existem inúmeras situações em que quando se utiliza uma montagem rígida do acelerómetro, não se está a medir de forma realista as vibrações a que os trabalhadores estão expostos, havendo consciência que os resultados dos ensaios se desviam da realidade, para mais ou para menos,

Assim considera-se que seria da maior utilidade, a norma sofrer uma revisão de forma a ultrapassar as suas contradições e ambiguidades, para que os resultados dos ensaios de avaliação da exposição fossem tão realistas quanto possível, e independentes dos critérios dos técnicos que realizam os ensaios, analisam ou avaliam.

7. CONCLUSÃO

Nas medições efetuadas de acordo com a ISO 5349, só é estritamente necessária uma montagem de acelerómetro de elevada rigidez, em casos em que o espectro de frequência das vibrações das máquinas em estudo apresente componentes marcadamente dominantes acima dos 500Hz.

Nas outras situações, que são a maioria, é preferível optar pela montagem o mais realista possível e perder rigor nas medições a frequências superiores a 500Hz.

Considera-se que seria da maior utilidade, que a norma sofresse uma revisão de forma a ultrapassar as suas contradições e ambiguidades, para que os resultados dos ensaios de avaliação da exposição fossem tão realistas quanto possível, e independentes dos critérios dos técnicos que realizam os ensaios.

Em medições de vibrações transmitidas ao sistema mão-braço, em que seja utilizada uma montagem que reflecta de uma forma realista as condições de trabalho e operacionalidade, os resultados obtidos serão muito mais rigorosos em termos das vibrações a que os trabalhadores se encontram expostos.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Directiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho – Relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações)
- [2] ISO 5349-1:2001 – Mechanical Vibration. Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration: Part 1 – General requirements
- [3] ISO 5349-2:2001 – Mechanical Vibration. Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration: Part 2 – Practical guidance for measurement at the workplace
- [4] Handbook of Human Vibration, M.J.Griffin, Academic Press, 1990
- [5] E.U. Guide to good practice on Hand-Arm Vibration – European Commission Directorate General Employment, Social Affairs and Equal Opportunities