

Sobre a necessidade de consideração da componente Vibração em projetos onde não é normalmente considerada

Vitor Rosão¹; Ana Carreira²

¹SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído. T: 289998009; F: 289998318;
vitorrosao@schiu.com

²Universidade do Algarve, ISE, DEC. T: 289800100. F: 289800183.
ascarrei@ualg.pt

Resumo: As componentes que são normalmente consideradas nas Avaliações de Impacte Ambiental, para um determinado tipo de projeto, estão mais ou menos bem definidas. No caso da componente Vibração é usual a sua consideração em projetos manifestamente vibráteis, nomeadamente projetos ferroviários e pedreiras. Contudo existem outros tipos de projetos, em que não é usual a consideração da componente Vibração, mas em que os impactes ambientais associados podem não ser negligenciáveis, nomeadamente projetos rodoviários, aeroportuários e parques eólicos. O objetivo da presente comunicação é assim explicitar e demonstrar a pertinência e necessidade de consideração da componente Vibração em outros tipos de projetos, que não os habituais, recorrendo a resultados de medições *in situ* de vibração, para esses tipos de projeto, e à informação bibliográfica, nacional e internacional, disponível sobre a matéria.

1 Introdução

Apesar de existir alguma fragilidade e alguma não uniformidade nos limites tipicamente considerados para a componente Vibração – como se explicitará melhor no capítulo seguinte – existem cada vez maiores evidências científicas relativamente a possíveis efeitos nefastos associados, particularmente em termos de Ruído de Baixa Frequência [1-6], tipicamente resultante da propagação de vibrações em edifícios. Nestas circunstâncias, apesar do grau de incerteza inerente às fragilidades e não uniformidades atuais, considera-se pertinente apresentar resultados típicos associados a alguns tipos de atividades onde não é usual – pelo menos em Portugal – considerar a componente Vibração (ou aspetos particulares associados) na Avaliação de Impacte, de modo a poder perceber que, à luz de alguns dos requisitos existentes, poderá fazer sentido equacionar outro tipo de atenção à componente Vibração, e/ou ao Ruído Estrutural de Baixa Frequência, em projetos futuros.

De notar que a variabilidade dos valores da vibração dependem de vários fatores, para além do tipo de fonte/atividade, nomeadamente tipo de solo e tipo de edifício “receptor”, pelo que os valores aqui apresentados devem ser entendidos apenas como indicativos de situações típicas, carecendo de uma análise mais aprofundada e detalhada para cada caso específico.

2 Limites atuais

Verifica-se que a nível nacional, e internacional, o estabelecimento de limites objetivos/quantitativos para a componente Vibração não é tão normal nem tão consensual como acontece para a componente Ruído. Julga-se que é bem ilustrativo do referido o facto de a versão de 1989 da ISO 2631-2 [7] possuir limites quantitativos que foram abandonados na versão de 2003 [8], constando a seguinte justificação (tradução livre) na Nota 2 do seu Ponto 1:

“Presentemente não é possível estabelecer recomendações para as magnitudes de vibração aceitáveis enquanto não for obtida mais informação”.

Tendo em conta o enunciado, talvez se consiga perceber melhor, pelo menos parcialmente, a inexistência, em Portugal, de requisitos legais limitativos mais abrangentes para a componente Vibração (existem apenas limites legais para a vibração resultante de explosões [9,10] – os quais são inclusive relativamente antigos (1983) e alvo de algumas sugestões de melhoria [11] – e limites legais associados à proteção dos trabalhadores [12,13]).

Pese embora o referido, os Estados Unidos da América (EUA) possuem um quadro legal relativamente bem definido para a componente Vibração, relativamente à avaliação de impactes ambientais associados a projetos viários [14], distinguindo as seguintes situações em termos de impacto devido à componente Vibração (esta distinção encontra-se também na norma internacional [15]):

1. Danos em edifícios/estruturas.
2. Afetação humana devido à sensação da vibração como tal;
3. Afetação humana devido ao Ruído Estrutural resultante da vibração;
4. Afetação do funcionamento de equipamentos/atividades sensíveis devido à vibração.

O resumo dos valores (níveis de vibração; VdB) limite estabelecidos nos Critérios EUA, adaptados também para valores de velocidade eficaz de vibração, em mm/s, encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo dos Critérios EUA

Tipo de uso	Vibração estrutural (VdB e mm/s)			Ruído estrutural*		
	>70	Número de eventos de vibração particular por dia		>70	30 a 70	<30
		30 a 70	<30			
Habitacões e edifícios onde as pessoas usualmente dormem (Habitacões, enfermarias, hotéis, etc)	72 VdB 0,101mm/s	75 VdB 0,143mm/s	80 VdB 0,254mm/s	35 dB(A) 60 VdB 0,025mm/s	38 dB(A) 63 VdB 0,036mm/s	43 dB(A) 68 VdB 0,064mm/s
Zonas com sensibilidade à vibração sobretudo no período diurno (escolas, igrejas, escritórios sossegados, etc)	75 VdB 0,143mm/s	78 VdB 0,202mm/s	83 VdB 0,359mm/s	40 dB(A) 65 VdB 0,045mm/s	43 dB(A) 68 VdB 0,064mm/s	48 dB(A) 73 VdB 0,113mm/s
Salas de concerto, estúdios de televisão, estúdios de gravação	65 VdB 0,045 mm/s			25 dB(A) 50 VdB 0,008 mm/s		
Auditórios	72 VdB 0,101mm/s	80 VdB 0,254 mm/s		30 dB(A) 55 VdB 0,014mm/s	38 dB(A) 63 VdB 0,036 mm/s	
Teatros				35 dB(A) 60 VdB 0,025mm/s	43 dB(A) 68 VdB 0,064 mm/s	

* A transformação da vibração em ruído depende de vários fatores, nomeadamente da frequência de vibração e das características de Absorção Sonora no interior do compartimento. Em condições normais de absorção sonora e para um Espectro predominantemente nos 60 Hz, é expectável uma diferença de 25 dB entre o nível de ruído em dB(A) e o nível de vibração [14]. Para um Espectro predominantemente nos 30 Hz, ou inferior, a diferença é tipicamente maior (pode chegar a uma diferença de 50 dB, para frequências predominantes abaixo dos 30 Hz [14]), pelo que os limites apresentados são os mais exigentes e associados a um Espectro predominantemente nos 60 Hz.

Não existindo requisitos legais aplicáveis, em Portugal, à globalidade das 4 Situações descritas, é usual recorrer aos denominados Critérios LNEC, estabelecidos, e.g., na referência [16].

Destes Critérios é possível selecionar os valores limite habituais que se transcrevem na Tabela 2.

Tabela 2: Valores limite com base nos Critérios LNEC

Danos em edifícios/estruturas (excluem-se monumentos e edifícios sensíveis)	Afetação humana devido à sensação da vibração como tal	Afetação humana devido ao Ruído Estrutural resultante da vibração	Afetação do funcionamento de equipamentos/atividades sensíveis devido à vibração
$v_{ef} < 3,5 \text{ mm/s}$	$v_{ef} < 0,11 \text{ mm/s}$	$v_{ef} (f \geq 60 \text{ Hz}) < 0,03 \text{ mm/s}$	Especificação dos fabricantes

Na tentativa de uniformizar e esclarecer alguns aspetos dos Critérios EUA [14] e dos Critérios LNEC [16], e tendo em conta as gamas de frequência de análise estabelecidas na norma internacional [15], a referência [17] sugere a consideração dos valores limite, para vibração continuada, que se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3: Sugestão de valores limite como base nos Critérios EUA e nos Critérios LNEC

Danos em edifícios/estruturas	Afetação humana devido à sensação da vibração como tal	Afetação humana devido ao Ruído Estrutural resultante da vibração	Afetação do funcionamento de equipamentos/atividades sensíveis devido à vibração
Frequências de análise: 1 a 500 Hz	Frequências de análise: 1 a 80 Hz	Frequências de análise: 16 a 250 Hz	Frequências de análise: 1 a 500 Hz
Edifícios Comuns $v_{max,ef,1s} < 3,5 \text{ mm/s}$	Edifícios com usos comuns com sensibilidade à vibração (habitações, escolas, hospitais, escritórios, etc) $v_{max,ef,1s} < 0,11 \text{ mm/s}$	Edifícios com usos comuns com sensibilidade ao ruído estrutural (habitações, escolas, hospitais, escritórios, etc) $v_{max,ef,1s} < 0,030 \text{ mm/s}$	$v_{max,ef,1s}(CV) \leq v_{max,ef,1s}(SV)$ Caso seja superior, ver caso a caso o limite adequado a observar em função do tipo de equipamento/atividade específica.
Edifícios extremamente sensíveis a danos e monumentos $v_{max,ef,1s} < 0,8 \text{ mm/s}$	Salas de concerto, estúdios de televisão e estúdios de gravação $v_{max,ef,1s} < 0,045 \text{ mm/s}$	Salas de concerto, estúdios de televisão e estúdios de gravação $v_{max,ef,1s} < 0,008 \text{ mm/s}$	

$v_{max,ef,1s}$: Valor máximos da velocidade eficaz de vibração, de segundo a segundo (componente mais expressiva, horizontal ou vertical); CV: Com a vibração da atividade vibrátil em causa; SV: Sem a vibração da atividade vibrátil em causa.

De notar que estes limites, e outros quaisquer que possam ser definidos de forma diferenciada, poderão ser sempre suscetíveis de crítica e/ou sugestões de melhoria, como acontece inclusive com a componente Ruído [18] apesar da sua maior consolidação.

Não é objetivo da presente comunicação discutir em detalhe a adequabilidade dos limites mas apenas utilizar os limites – não vinculativos – que se afiguram possuir atualmente maior fundamentação, para analisar a sua possibilidade de cumprimento ou incumprimento em algumas atividades, onde normalmente não é estudada a componente Vibração (ou algum aspeto

particular associado) e assim fornecer alguma informação de base para eventuais decisões futuras.

Observando os quadros anteriores verifica-se que o tipo de requisito mais exigente, e que tem assim maior importância para os objetivos da presente comunicação, é a “Afetação humana devido ao Ruído Estrutural resultante da vibração”. De notar que este tipo de requisito corresponde, no essencial, à limitação do Ruído Ambiente no interior dos edifícios, o que pode entrar, de alguma forma, em “conflito” com o denominado Critério de Incomodidade (Artigo 13.º do Regulamento Geral do Ruído [19]), pois este Critério não é aplicável, de acordo com a legislação (Artigo 19.º [19]), a infraestruturas de transporte e, para outras infraestruturas, só é aplicável para níveis sonoros superiores a 45 dB(A) no exterior ou superiores a 27 dB(A) no interior (n.º 5 do Artigo 13.º [19]).

Ainda que não se deva perder de vista a realidade da legislação nacional, julga-se que não se devem perder também de vista os critérios legais de outros países e os desenvolvimentos mais recentes nesta matéria, os quais apontam de facto para a necessidade de uma abordagem diferenciada – tipicamente mais exigente – para a afetação humana associada ao Ruído de Baixa Frequência, devido às seguintes principais razões, de acordo com o Anexo C da referência [2]:

- Diminuição da Sensação de Altura (“*pitch*”) do som.
- Perceção dos sons como pulsações e flutuações.
- Aumento muito rápido da Sensação de Intensidade (“*loudness*”) e da incomodidade com o aumento dos níveis de pressão sonora.
- Queixas de sensação de pressão no ouvido.
- Incómodo causado por efeitos secundários, como trepidação de elementos do edifício, janelas e portas, ou o tilintar do “*bric-a-brac*”.
- Menor perda da transmissão sonora nos edifícios.

Mais se refere que já existem inclusive países a estudar limites específicos para o Ruído de Baixa Frequência, por exemplo a Grã-Bretanha (GB) [20] (a curva limite associada, e que não deve ser ultrapassada para qualquer banda de frequência de 1/3 de oitava, está apresentada na Figura 1).

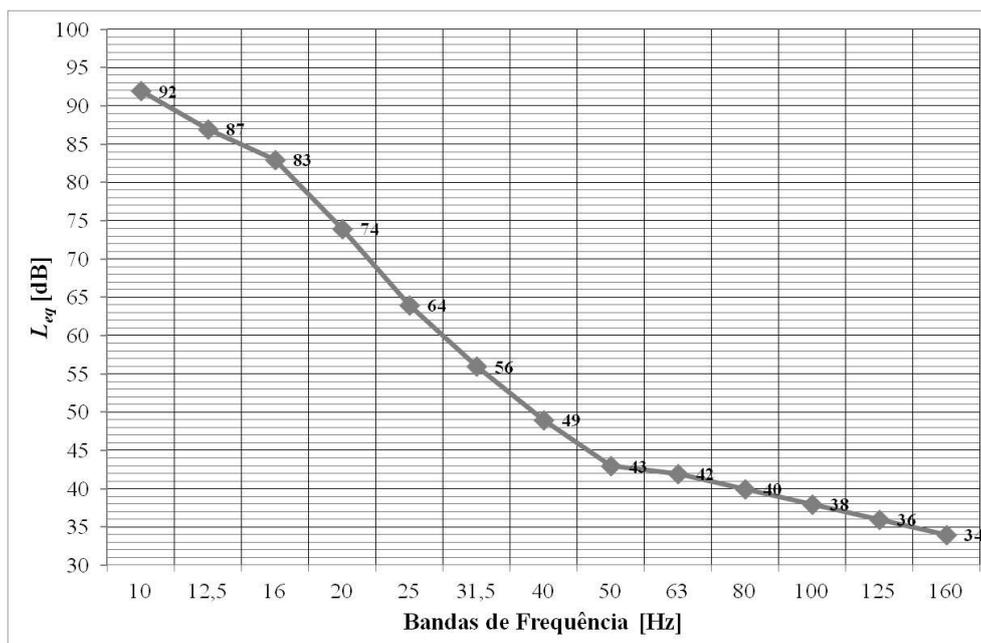


Figura 1: Curva de limitação do Ruído de Baixa Frequência (GB)

Tal curva representa, *grosso modo* (ver nota de rodapé da Tabela 1, e informação sobre o denominado *fator de radiação* na referência [21]), um limite mínimo (energia concentrada nos 63 Hz) do valor máximo da velocidade eficaz de vibração, de segundo a segundo, igual a **0,002 mm/s**, o que representa assim um limite ainda mais exigente do que os limites estabelecidos na Tabela 3 para Ruído Estrutural, indiciando assim a “equivalência” e pertinência alternativa dos requisitos em termos de Vibração e/ou de Ruído Estrutural de Baixa Frequência.

3 Tráfego ferroviário

É usual estudar, em Portugal, a componente Vibração para projetos ferroviários (fase de exploração) contudo – sobretudo nos tempos mais recentes – não tem sido habitual considerar aplicável o limite associado ao Ruído Estrutural (tipicamente $v_{max,ef,1s} < 0,030$ mm/s), em grande medida devido à inaplicabilidade do Critério de Incomodidade a infraestruturas de transporte (Artigo 19.º do DL 9/2007 [19]). Mesmo que o Critério de Incomodidade fosse aplicável a infraestruturas de transporte, o limite da sua aplicabilidade seria (n.º 5 do Artigo 13.º [19]) $L_{Aeq} > 45$ dB(A), no exterior, ou $L_{Aeq} > 27$ dB(A) no interior dos edifícios.

De acordo com o estabelecido na “Table 10-1” da referência [14], um valor de 27 dB(A), resultante de vibração, corresponde a uma velocidade eficaz de vibração de **0,180 mm/s**, para frequências predominantes menores do que 30 Hz, **0,032 mm/s** para frequências predominantes entre 30 Hz e 60 Hz e **0,006 mm/s** para frequências predominantes superiores a 60 Hz. Significa assim que, para frequências predominantes acima de 30 Hz, o limite do n.º 5 do Artigo 13.º [19] poderá ser suficiente para proteção da população ($v_{max,ef,1s} < 0,030$ mm/s) relativamente ao Ruído Estrutural, mas poderá deixar de o ser para frequências predominantes abaixo dos 30 Hz.

As frequências predominantes da vibração (onde a maior parte da energia está concentrada) dependem de vários fatores, nomeadamente: a) tipo de comboio e velocidade de circulação, b) tipo de linha férrea, c) tipo de solo e d) distância do ponto de avaliação à linha férrea.

Os espetros apresentados na referência [22], para medições efetuadas na envolvente da Linha do Algarve, para distâncias entre 8 e 9 metros, revelaram, para os 4 tipos de comboio caracterizados (Alfa, Intercidades, Regional e Mercadorias), frequências predominantes entre cerca de 20 Hz e 200 Hz.

Apresenta-se na Figura 2 o esboço da variação típica do valor máximo da velocidade eficaz de vibração, de segundo a segundo ($v_{max,ef,1s}$), com a distância d ao centro de uma via-férrea, de acordo com o indicado na “Figure 10-1” da referência [14], de acordo com medições realizadas *in situ* [22] e de acordo com a fórmula de cálculo seguinte [23,22]:

$$v_{max,ef,1s} = v_{max,ef,1s,ref} \times \left(\frac{d}{d_{ref}}\right)^{F_d} \times \left(\frac{c}{c_{ref}}\right)^{F_c} \times F_R \times F_B \quad (1)$$

onde $v_{max,ef,1s}$ corresponde ao valor máximo da velocidade eficaz de vibração, de segundo a segundo, ocorrente a uma distância d para um comboio a circular a uma velocidade c , $v_{max,ef,1s,ref}$ corresponde ao valor máximo da velocidade eficaz de vibração, de segundo a segundo, ocorrente a uma distância de referência d_{ref} para um comboio a circular a uma velocidade de referência c_{ref} , F_d corresponde ao fator de variação com a distância, dependente do tipo de comboio e do tipo de solo mas tipicamente $-1 \leq F_d \leq -0,6$, F_c corresponde ao fator de variação com a velocidade, tipicamente $F_c = 0,9$, F_R corresponde ao fator de qualidade da linha, tipicamente $F_R = 0,8$, e F_B corresponde ao fator de ampliação dos edifícios, tipicamente $F_B = 2$.

De notar que se assume que a variação apresentada na Figura 2 é representativa quer da gama de frequências 16 a 250 Hz quer da gama 1 a 80 Hz quer da gama 1 a 500 Hz (de acordo com a referência [22], os valores na banda de frequência 16 a 250 Hz eram, no máximo, 1,5 vezes

superiores aos valores na banda de frequência 1 a 80 Hz), o que significa a concentração típica da energia entre os 16 e os 80 Hz.

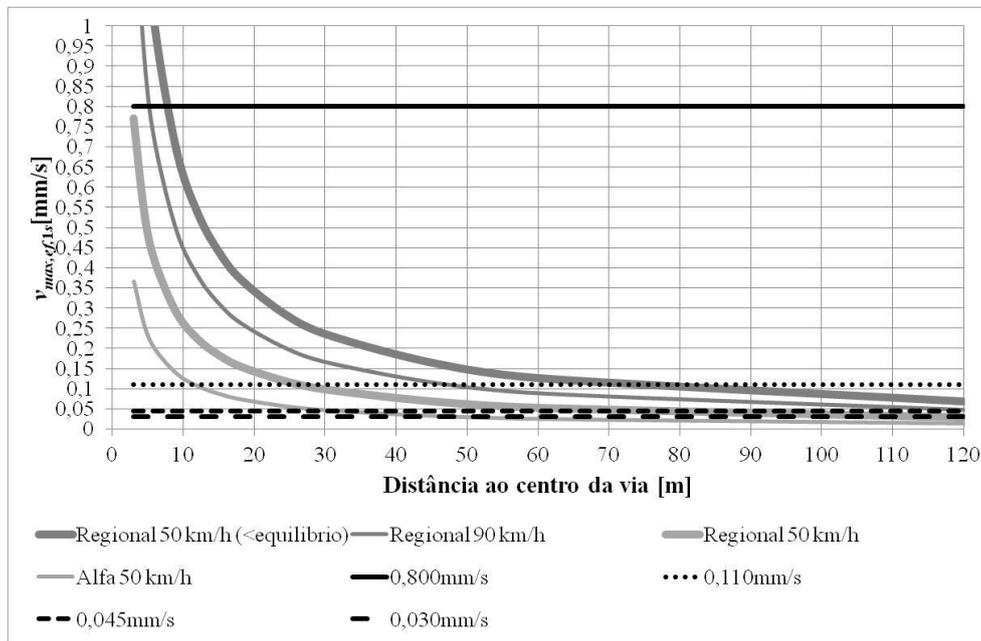


Figura 2: Variações típicas da vibração na envolvente de vias férreas

A análise da Figura 2 permite constatar que para vias férreas o Ruído Estrutural pode ter influência para distâncias à via relativamente elevadas, da ordem dos 120 metros, dependendo do tipo de via, do tipo de comboio e do tipo de solo.

4 Tráfego rodoviário

Não é usual estudar, em Portugal, a componente Vibração, ou o Ruído de Baixa Frequência, para projetos rodoviários (fase de exploração).

Apresenta-se na Figura 3 o esboço da variação típica do valor máximo da velocidade eficaz de vibração, de segundo a segundo ($v_{max,ef,1s}$), com a distância d ao centro de uma via rodoviária (veículos com pneus de borracha) de acordo com o indicado na “Figure 10-1” da referência [14], de acordo com medições realizadas *in situ* (ver capítulo “8 Medições efetuadas”) e de acordo com a equação (1) [23,22] devidamente adaptada.

A análise da Figura 3 permite constatar que para vias rodoviárias o Ruído Estrutural pode ter influência para distâncias à via não negligenciáveis, da ordem dos 60 metros, dependendo do tipo de pavimento, do tipo de veículo e do tipo de solo, o que demonstra a pertinência deste tipo de análise [24].

Apresentam-se na Figura 4 alguns espetros associados a medições realizadas *in situ* (ver capítulo “8 Medições efetuadas”), onde se verifica a concentração da energia entre os 8 Hz e os 100 Hz.

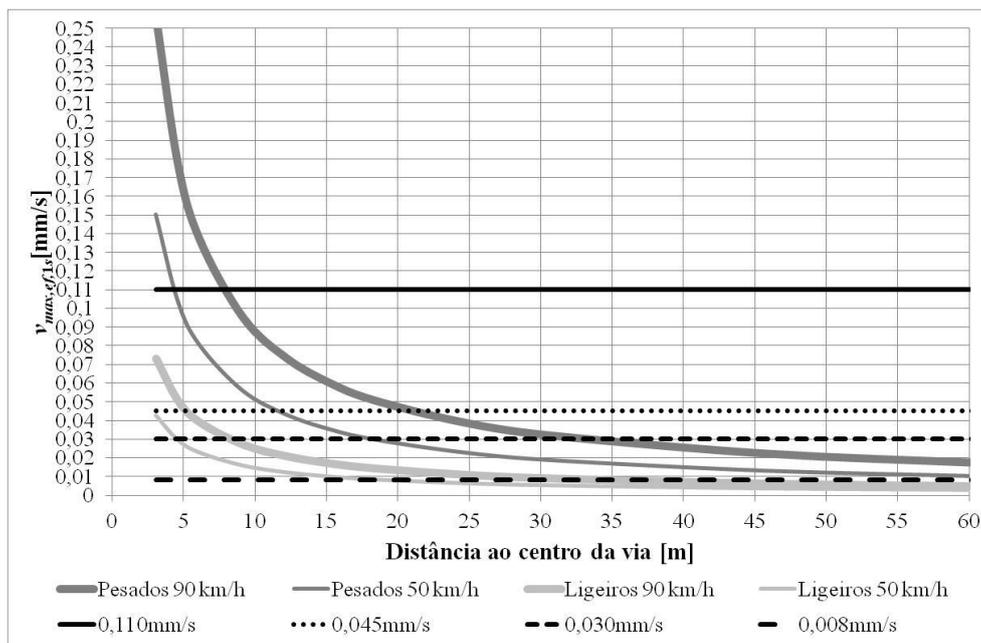


Figura 3: Variações típicas da vibração na envolvente de vias rodoviárias

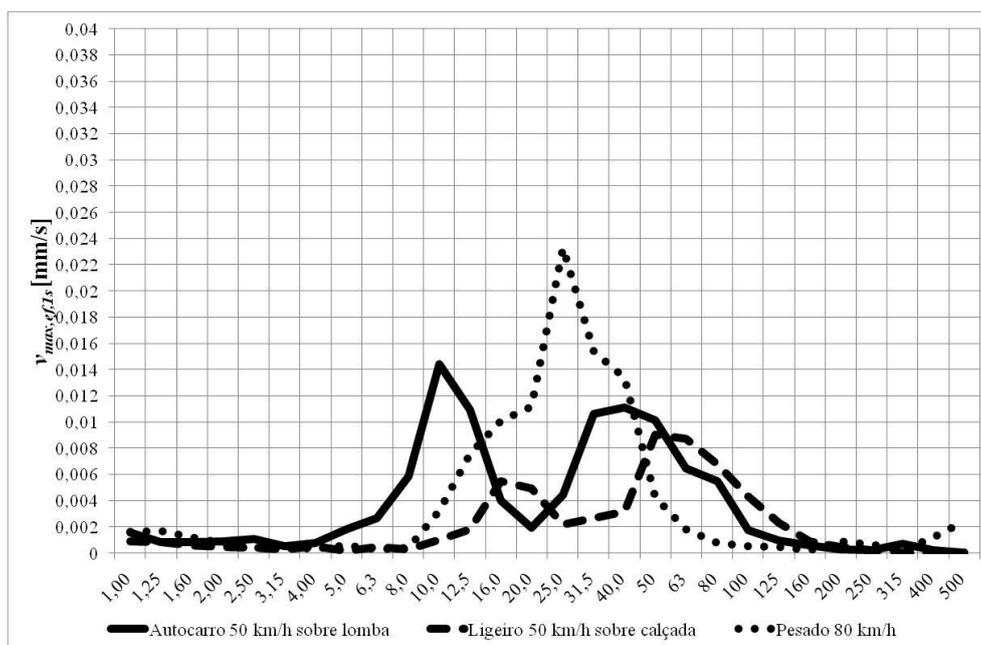


Figura 4: Espectros típicos vibração rodoviária

5 Tráfego aéreo

Não é usual estudar, em Portugal, a componente Vibração, ou o Ruído de Baixa Frequência, para projetos aeroportuários (fase de exploração).

Apresenta-se na Figura 5 a comparação da curva limite de Ruído de Baixa Frequência [20], com os espectros típicos mínimos, associados aos aviões com maior e menor componentes de baixa frequência, de acordo com a base de dados da referência [25], que fazem ultrapassar a curva limite [20]. Para o Espectro Tipo 1 o nível sonoro global mínimo corresponde a 38 dB(A)

(ultrapassagem da curva limite na banda de 100 Hz) e para o Espectro Tipo 2 a 28 dB(A) (ultrapassagem da curva limite na banda de 160 Hz), o que representa valores muito reduzidos que abrangem, normalmente, uma área muito significativa na envolvente dos aeroportos, e demonstram assim o grande potencial de interesse do estudo da Vibração e/ou do Ruído de Baixa Frequência na envolvente dos aeroportos (e.g., a referência [26] aponta de facto para essa necessidade).

De referir que os valores apresentados na Figura 5 correspondem a ruído aéreo que será atenuado pelo isolamento sonoro da fachada e telhado dos edifícios, isolamento esse que tende para zero para as baixas frequências, pelo que se pode assumir, de forma aproximada e para baixas frequências, níveis sonoros do ruído aéreo semelhantes no exterior e no interior dos edifícios.

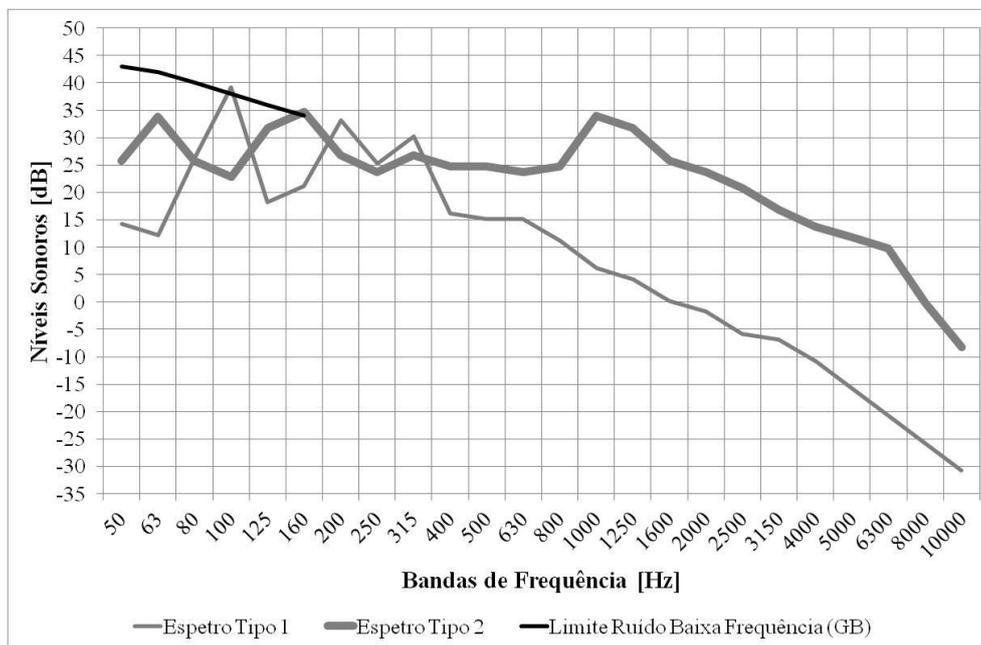


Figura 5: Espectros típicos mínimos de aeronaves superiores ao limite de Ruído de Baixa Frequência

6 Parques Eólicos

Não é usual estudar, em Portugal, a componente Vibração, ou o Ruído de Baixa Frequência, para projetos de Parques Eólicos (fase de exploração).

Apresenta-se na Figura 6 a comparação da curva limite de Ruído de Baixa Frequência [20], com o espectro típico mínimo, associado ao funcionamento de Aerogerador, de acordo com a referência [27], que faz ultrapassar a curva limite [20]. Para o espectro tipo apresentado o nível sonoro global mínimo corresponde a 35 dB(A) (ultrapassagem da curva limite nas bandas de 125 Hz e 160 Hz), o que representa valores muito reduzidos que abrangem, normalmente, uma área relativamente significativa na envolvente dos Parques Eólicos, e demonstra assim o grande potencial de interesse do estudo da Vibração e/ou do Ruído de Baixa Frequência na envolvente dos Parques Eólicos, como é apontado por várias referências [28,29].

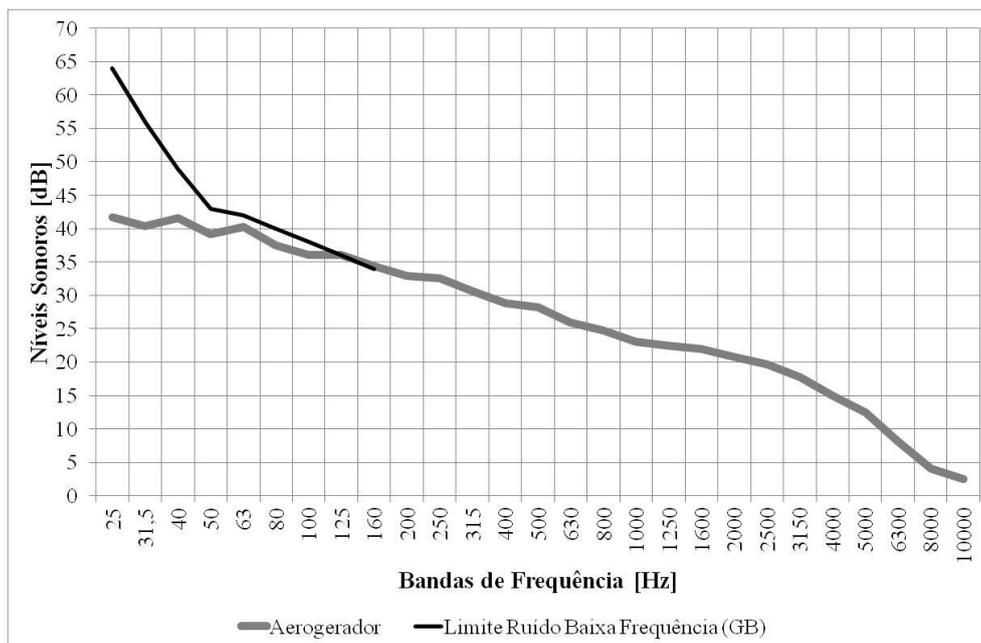


Figura 6: Espectro típico mínimo de aerogerador superior ao limite de Ruído de Baixa Frequência

7 Outras atividades

De acordo com o explicitado atrás, todos os projetos suscetíveis de gerar Vibrações e/ou Ruído de Baixa Frequência, nos “receptores sensíveis” envolventes, superiores aos limites da Tabela 3 e/ou aos limites da Figura 1 deverão ser alvo de maior atenção relativamente a estes fatores, pois é elevada a probabilidade de afetação da população. O “Quadro 18” da referência [17] lista os tipos de fontes em que poderá ocorrer ultrapassagem do limite da Figura 1, de onde se destaca o ruído associado a navios de grande porte.

8 Medições efetuadas

As medições de vibração realizadas *in situ* foram efetuadas com um acelerómetro PCB 393B31 e com um analisador de sinal Svantek 946A. Estas medições foram efetuadas na envolvente de vias de tráfego rodoviário em Estoi (Faro), para diferentes tipos de veículos (pesados e ligeiros) e tipo de vias (via nacional 90 km/h, via urbana 50 km/h, e via em calçada) de forma a guiar os valores apresentados na Figura 3 e o gráfico da Figura 4. Apresentam-se, na Figura 7, apontamentos fotográficos das medições de vibração efetuadas.



Figura 7: Apontamentos fotográficos das medições de vibração efetuadas

9 Conclusões

De acordo com o explicitado atrás e em conformidade com o que começa a ser feito em outros países, deverá começar-se a equacionar, em Portugal, a inclusão da componente Vibração, e/ou do Ruído Estrutural de Baixa Frequência, nas Avaliações de Impacte Ambiental (AIA) de projetos suscetíveis de ultrapassar os valores limite apresentados na Tabela 3 ou na Figura 1, ou outros limites associados que eventualmente possam vir a ser definidos.

Considera-se ser de referir que, no entender dos autores, mais do que garantir preventivamente, em fase de AIA, que os valores limite não serão ultrapassados – o que poderá implicar custos insuportáveis e possivelmente inapropriados, face às incertezas associadas – deverá garantir-se que serão efetuadas monitorizações direcionadas para a problemática do Ruído Estrutural de Baixa Frequência, de forma a obter informação que permita decisões futuras mais fundamentadas, ajustadas e equilibradas, onde todas as partes saiam a ganhar.

De forma a ilustrar conclusivamente a problemática desta temática e a subsequente necessidade de realização do maior número possível de medições direcionadas, de forma a obter toda a informação possível, transcreve-se parte do texto constante no Anexo B da referência [8] (tradução livre): “*Este anexo pretende encorajar a obtenção de dados tendo em conta todos os parâmetros que afetam os seres humanos nos edifícios e que dão origem a queixas. A resposta humana à vibração em edifícios é muito complexa. Em muitos casos o grau de incomodidade e as queixas não podem ser explicados diretamente pela magnitude da vibração medida... O objetivo da obtenção de dados ... é facilitar a eventual definição de um indicador mais geral da incomodidade devido à vibração. Este indicador poderá ser usado como base para a revisão futura desta parte da ISO 2631*”.

Referências

- [1] Job, R. F. Soames – *Sources and effects of low-frequency noise*. J. Acoust. Soc. Am. 99 (5), May 1996.
- [2] Instituto Português da Qualidade – *NP ISO 1996-1: Acústica: Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente: Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de avaliação*. 2011. (ISO 1996-1: 2003)
- [3] Alves-Pereira, Mariana; Branco, Nuno A. A., Castelo – *Sobre o Impacto de infrassons e ruído de baixa frequência na saúde pública: Dois casos de exposição residencial*. Revista Lusófona de Ciências e Tecnologias da Saúde, (4) 2, 186-200, 2007.
- [4] Kaczmarek Anna; Łuczak, Anna – *A Study of Annoyance Caused by Low-Frequency Noise During Mental Work*. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE), Vol. 13, No. 2, 117–125, 2007.
- [5] Pawlaczyk-Luszczynska, Malgorzata; Dudarewicz, Adam; Waszkowska, Malgorzata; Sliwinska-Kowalska, Mariola – *Annoyance related to low frequency noise in subjective assessment of workers*. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Vol. 28, n.º 1, 2009.
- [6] Broner, N. – *A simple outdoor criterion for assessment of low frequency noise emission*. Acoustics Australia, Vol. 39 April n.º 1-7, 2011.
- [7] International Organization for Standardization - *ISO 2631-2: Evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)*. 1989.

- [8] International Organization for Standardization - *ISO 2631-2: Mechanical vibration and shock: Evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*. 2003.
- [9] Diário da República Portuguesa. Portaria nº 457/83, de 19 de abril.
- [10] Instituto Português da Qualidade – *NP 2074: Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares*. 1983.
- [11] Bernardo, Pedro; Dinis da Gama, Carlos – *Sugestões para melhoria da norma portuguesa de controle de vibrações em construções*. Instituto Superior Técnico, 2006.
- [12] Diário da República Portuguesa. Decreto-Lei nº 46/2006, de 24 de fevereiro.
- [13] Jornal Oficial das Comunidades Europeias. Diretiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002.
- [14] Federal Transit Administration, United States of America – *Transit Noise and Vibration Impact Assessment*. 2006.
- [15] International Organization for Standardization - *ISO 14837-1: Mechanical vibration. Ground-borne noise and vibration arising from rail Systems. Part 1. General guidance*. 2005.
- [16] Schiappa de Azevedo, Fernando; Patrício, Jorge – *Vibrações Ambientais: Critérios de danos e de incomodidade. Actualidade e perspectivas futuras*. La Rioja, TecniAcustica 2001.
- [17] Rosão, Vitor - *Desenvolvimentos sobre Métodos de Previsão, Medição, Limitação e Avaliação em Ruído e Vibração Ambiente*. Faro, Doutoramento em Ciências do Mar, da Terra e do Ambiente, Especialidade Acústica, 2011.
- [18] Rosão, Vitor; Conceição, Eusébio – *Sugestões fundamentadas de alteração do Decreto-lei n.º 9/2007, de acústica ambiental*. TecniAcustica, Cáceres, 2011.
- [19] Diário da República Portuguesa. Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de janeiro.
- [20] Moorhouse, Andy; Waddington, David; Adams, Mags – *Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance*. University of Salford, 2005.
- [21] Rosão, Vitor; Carreira, Ana – *Análise comparativa de medições de vibração e de isolamento sonoro em edifícios*. Valladolid, TecniAcustica 2013.
- [22] Rosão, Vitor; Rodrigues, C. César; Conceição, Eusébio – *Performing railway traffic vibration forecast using in situ vibration measurements*. Lisboa, Internoise 2010.
- [23] Suhairy, Sinan al – *Prediction of ground vibration from railways*. Swedish National Testing and Research Institute, 2000.
- [24] Schreurs, E.; Koeman, T.; Jabben, J. – *Low frequency noise impact of road traffic in the Netherlands*. Paris, Acoustics 2008.
- [25] <http://www.aircraftnoisemodel.org/>.
- [26] Quality of Life in Airport Regions (QLAIR) - *Including ground noise in noise-nuisance reduction policies*. Airport Regions Conference, 2009.
- [27] Moller, Henrik; Pedersen, Christian Sejer – *Low-frequency noise from large wind turbines*. J. Acoust. Soc. Am. 129 (6), June 2011.
- [28] HGC Engineering – *Low Frequency noise and infrasound associated with wind turbine generator systems: a literature review*. Ontario Ministry of the Environment, 2010.
- [29] Tickell, Colin – *Low frequency, infrasound and amplitude modulation noise from wind farms – some recent findings*. Acoustics Australia, Vol. 40, n.º 1, April 2012.