



44º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA EAA EUROPEAN SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL ACOUSTICS AND NOISE MAPPING

ANÁLISE COMPARATIVA DE MEDIÇÕES DE VIBRAÇÃO E DE ISOLAMENTO SONORO EM EDIFÍCIOS

PACS:

Vitor Rosão¹; Ana Carreira²

¹ SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído

Rua de Faro, Bloco B, 2.º Frente, Estoi

8005-463 Faro, Portugal

Tel.: 00351 289 998 009; Fax: 00351 289 998 318; E-mail: vitorrosao@schiu.com

² UALG-Universidade do Algarve, ISE, DEC

Campus da Penha

8005-139 Faro, Portugal

Tel.: 00351 289 800 100; Fax: 00351 289 800 183 E-mail: ascarrei@ualg.pt

RESUMO

No presente trabalho foram efetuadas medições de isolamento sonoro *in situ*, de acordo com as normas aplicáveis da série ISO 140, e medições de vibração dos elementos separadores em causa. Pretende-se comparar os resultados das medições diretas de isolamento sonoro com os resultados das previsões de isolamento sonoro, tendo por base as medições de vibração, de forma a verificar a viabilidade de aplicação desta metodologia na determinação mais rigorosa dos caminhos de propagação sonora entre espaços e da definição mais rigorosa, eficaz e direcionada das intervenções de melhoria de isolamento sonoro a efetuar, quando necessárias.

1 INTRODUÇÃO

Quando se deteta *in situ*, através do uso, e.g., da Norma NP EN ISO140-4 [1], a existência de um isolamento sonoro deficiente – tipicamente o não cumprimento da legislação dos requisitos acústicos dos edifícios [2] – entre dois espaços, Emissor e Recetor, num edifício, e queremos resolver o problema, nem sempre é fácil a resposta às seguintes questões:

- Será suficiente intervir no elemento divisório?
- Será necessário intervir também nos elementos marginais?
- Existirá uma propagação aérea relevante?

A dificuldade de resposta às perguntas enunciadas prende-se com o fato da medição típica [1] fornecer a diferença de níveis sonoros entre o Emissor e o Recetor, mas não distinguir quais os Caminhos Sonoros que mais contribuem para essa diferença.

De acordo com a Norma EN 12354-1 [3] pode-se considerar a existência dos Caminhos Sonoros principais entre o Emissor e o Recetor, ilustrados na Figura 1:

- Caminhos Estruturais:
 - o E1: Caminho Estrutural irradiado no recetor através da Divisória.
 - o E2 e E3: Caminhos Estruturais irradiados no recetor através das Paredes Laterais.
 - o E4 e Ei: Caminhos Estruturais irradiados no recetor através do Chão, Teto e outros elementos.
- Caminhos Aéreos:
 - o A1: Caminho Aéreo através de abertura no elemento Divisória.
 - o A2 e Ai: Caminhos Aéreos através de outras aberturas.

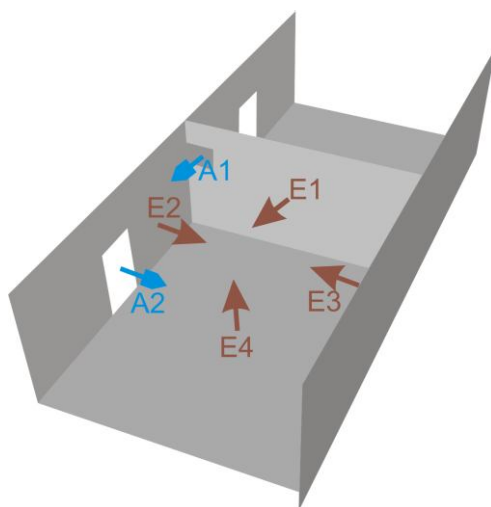


Figura 1: Esquema dos caminhos sonoros num edifício entre o Emissor e o Recetor

O presente trabalho procura assim analisar a viabilidade de utilização de medições de vibração *in situ*, para além das medições de isolamento sonoro típicas [1], para determinação da contribuição de cada um dos Caminhos Estruturais em causa, num determinado isolamento sonoro, de forma a poder determinar, quantitativamente, quais os caminhos sonoros em que é mais eficaz a intervenção, por forma a reabilitar acusticamente um espaço.

2 FUNDAMENTOS E SIMPLIFICAÇÕES TEÓRICAS

2.1 Relações entre os Níveis Sonoros e as Reduções Sonoras

O Nível Sonoro L_R medido (apercebido) no Recetor pode ser escrito como a soma energética dos Níveis Sonoros L_{Ei} , associados aos n Caminhos Estruturais, com os Níveis Sonoros L_{Ai} , associados aos m Caminhos Aéreos, entre o Emissor e o Recetor em causa:

$$L_R = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Ei}}{10}} + \sum_{i=1}^m 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right) \quad (1)$$

Assim a intervenção/redução Δ_1 em E_1 , ou Δ_i em E_1 a E_a , só será suficiente por si própria se as restantes contribuições forem desprezáveis, ou seja:

$$10\log\left(\sum_{i=1}^a 10^{\frac{L_{E_i}-\Delta_i}{10}}\right) \geq 10\log\left(\sum_{i=a+1}^n 10^{\frac{L_{E_i}}{10}} + \sum_{i=1}^m 10^{\frac{L_{A_i}}{10}}\right) + 10 \quad (2)$$

O que pode ser escrito, de forma mais simplificada, como:

$$L_a - \Delta_a \geq L_{a'} + 10 \quad (3)$$

Onde:

$$L_a - \Delta_a = 10\log\left(\sum_{i=1}^a 10^{\frac{L_{E_i}-\Delta_i}{10}}\right) \quad (4)$$

$$L_{a'} = 10\log\left(\sum_{i=a+1}^n 10^{\frac{L_{E_i}}{10}} + \sum_{i=1}^m 10^{\frac{L_{A_i}}{10}}\right) \quad (5)$$

De onde resulta a seguinte expressão para a Redução Sonora Global Δ_{Global} :

$$\Delta_{Global} = L_R - 10\log\left(10^{\frac{L_a-\Delta_a}{10}} + 10^{\frac{L_{a'}}{10}}\right) \quad (6)$$

Com base nas expressões anteriores, podem-se determinar algumas simplificações julgadas relevantes, em termos das relações entre a Redução Sonora Global Δ_{Global} , a Redução Sonora específica Δ_a e relação entre L_a e $L_{a'}$, conforme se apresenta no Quadro 1.

Quadro 1: Simplificações teóricas das relações entre as reduções e os níveis sonoros

$L_a - L_{a'}$ (dB)	Δ_{aMin} (dB)	$\Delta_{GlobalMax}$ (dB)	$L_a - L_{a'}$ (dB)	Δ_{aMin} (dB)	$\Delta_{GlobalMax}$ (dB)
0	10*	3	6	16*	7
1	11*	4	7	17*	8
2	12*	4	8	18*	9
3	13*	5	9	19*	10
4	14*	5	≥ 10	$10 + L_a - L_{a'}$	$L_a - L_{a'}$
5	15*	6			

* O valor de Δ_{aMin} é dado pela expressão geral: $10 + L_a - L_{a'}$.

O explicitado no Quadro 1 significa que:

1. Se $L_a = L_{a'}$ então a Redução Sonora Global máxima que é possível de atingir é de 3 dB, e é conseguida através de uma Redução Sonora específica mínima de 10 dB.
2. Se $L_a = L_{a'} + 1$ então a Redução Sonora Global máxima que é possível de atingir é de 4 dB, e é conseguida através de uma Redução Sonora específica mínima de 11 dB, e assim sucessivamente.
3. Se $L_a \geq L_{a'} + 10$ então a Redução Sonora Global máxima que é possível de atingir é de $(L_a - L_{a'})$ dB e é conseguida através de uma Redução Sonora específica mínima de $(10 + L_a - L_{a'})$ dB. Por exemplo, se $L_a = L_{a'} + 12$, então a Redução Sonora Global máxima que é possível de atingir é de 12 dB e é conseguida através de uma Redução Sonora específica mínima de 22 dB.

2.2 Relações entre os Níveis Sonoros e a Vibração dos Elementos

De acordo com o Anexo C da Norma NP EN ISO140-4 [1], tem-se que a potência sonora transmitida para o compartimento Recetor consiste na soma das seguintes parcelas:

- W_{Dd} : potência proveniente da excitação direta da divisória e radiada diretamente por esta.
- W_{Df} : potência proveniente da excitação da divisória, mas radiada pelos elementos marginais.
- W_{Fd} : potência proveniente da excitação dos elementos marginais e radiada diretamente pela divisória.
- W_{Ff} : potência proveniente da excitação dos elementos marginais e radiada diretamente pela divisória.
- W_{Ff} : potência proveniente da excitação dos elementos marginais e radiada por estes.
- W_{leak} : potência transmitida, sob forma de ruído aéreo, através das aberturas, tubos de canalização, ou condutas de ventilação, etc.

Para frequências maiores que a frequência crítica do elemento, a potência W_k emitida por esse elemento particular k , com uma área S_k , no compartimento Recetor, pode ser determinada por [1]:

$$W_k = \rho c S_k \overline{v_k^2} \sigma_k \quad (7)$$

Onde:

- $\overline{v_k^2}$ é a média espacial do quadrado do valor da velocidade de vibração normal na superfície do provete.
- σ_k é o fator de radiação, próximo de 1, para valores superiores ao da frequência crítica. Outros valores de σ_k podem ser determinados com base no Anexo B da Norma [3].
- ρc é a impedância característica do ar.

Para um campo sonoro difuso pode-se escrever [4,5]:

$$L_{Rk} \approx L_{wk} + 10 \log\left(\frac{T}{V}\right) + 14 \quad (8)$$

Onde:

- L_{Rk} o Nível de Pressão Sonora no compartimento Recetor devido à radiação do elemento k .
- L_{wk} é o Nível de Potência Sonora da radiação do elemento k .
- T é o Tempo de Reverberação no compartimento Recetor.
- V é o Volume do compartimento Recetor.

Admite-se assim:

$$L_R = 10 \log\left(\sum 10^{\frac{L_{Rk}}{10}} + \sum 10^{\frac{L_{Ai}}{10}}\right) \quad (9)$$

E:

$$L_{wk} = 10 \log \left(\frac{w_k}{10^{-12}} \right) \approx 10 \log \left(\frac{\rho c S_k \overline{v_k^2} \sigma_k}{10^{-12}} \right) \approx \overline{L_{vk}} + 10 \log(S_k \sigma_k) - 33 \quad (10)$$

Sendo $\overline{L_{vk}}$ o Nível de Vibração Médio do elemento k dado por:

$$\overline{L_{vk}} = 10 \log \left(\frac{v_{1k}^2 + v_{2k}^2 + \dots + v_{nk}^2}{n \cdot 10^{-18}} \right) \quad (11)$$

3 ENSAIOS REALIZADOS

Com o objetivo de validar o método proposto para determinar o isolamento sonoro entre dois compartimentos, foram efetuadas as seguintes medições entre dois compartimentos adjacentes de uma habitação, com a emissão contínua de ruído (fonte sonora dodecaédrica [1]) no compartimento Emissor:

- Níveis Sonoros no compartimento Emissor.
- Níveis Sonoros no compartimento Recetor.
- Tempo de Reverberação no compartimento Recetor.
- Vibração da parede Divisória.
- Vibração dos restantes elementos do compartimento Recetor ligados com a parede Divisória: Parede interior, Parede exterior, Teto, Chão.

Os elementos em análise são constituídos em alvenaria de tijolo (paredes) e betão armado (chão e teto), e os equipamentos utilizados foram os seguintes:

- Sonómetro de Classe 1 da Marca 01 dB, Modelo SOLO.
- Vibrómetro de Classe 1 constituído por acelerómetro Dytran 3185D e analisador SVAN 946A.

3.1 Fixação do Acelerómetro

Uma vez que as melhores formas de fixação dos acelerómetros aos elementos estruturais são “destrutivas”, como sejam os furos para fixação de parafuso ou colas (cimento e cera de abelha) [6] e havendo interesse óbvio na possibilidade de utilização de formas de fixação não “destrutivas”, considerou-se adequado efetuar primeiramente medições comparativas, entre uma fixação com parafuso, uma fixação simples com ponteira e uma fixação simples com a mão.

Efetuuou-se a comparação dos Níveis de Vibração Médios do centro da parede, na gama de frequências 100Hz a 3150Hz, para cada um dos 3 métodos de montagem do acelerómetro. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 2.

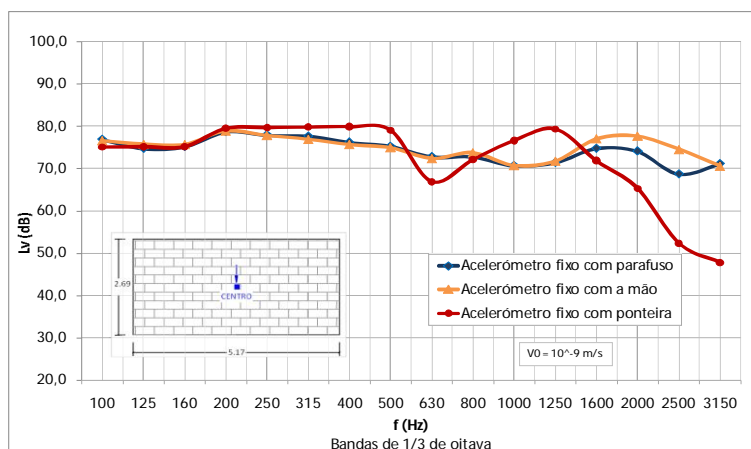


Figura 2: Resultados da comparação dos três tipos de fixação de acelerómetro

Do gráfico anterior observa-se, para a gama de frequências em análise 100Hz a 3150Hz:

- Uma “má” concordância entre os valores obtidos com a fixação “Ponteira” e os valores obtidos com a fixação “Parafuso”.
- Uma “boa” concordância entre os valores obtidos com a fixação “Só Mão” e os valores obtidos com a fixação “Parafuso”. A fiabilidade deste método de fixação foi ainda confirmada por medições realizadas em mais 2 pontos da mesma parede. Perante tal concordância, optou-se por utilização da fixação “Só Mão” nas restantes medições de vibração.

3.2 Níveis Sonoros associados à vibração

Das medições de vibração efetuadas na parede divisória e nos restantes elementos do compartimento recetor, obtiveram-se os resultados, em termos de Níveis de Pressão Sonora deduzidos das velocidades de vibração medidas, que se apresentam na Figura 3.

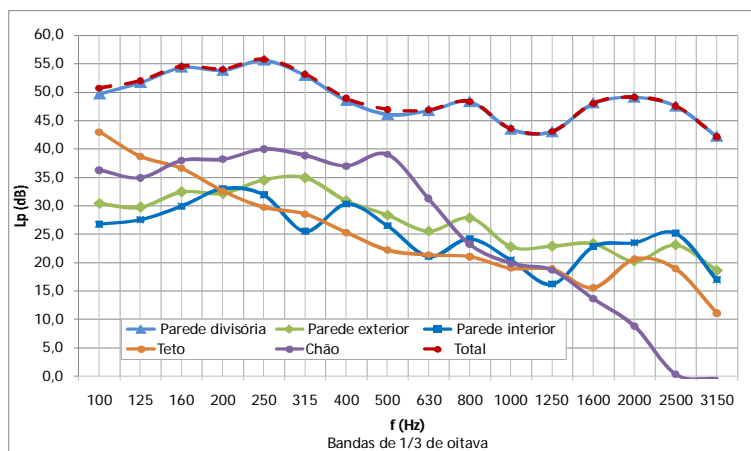


Figura 3: Resultados dos Níveis de Pressão Sonora associados à vibração dos diferentes elementos

Da figura 3 observa-se:

- Uma significativa prevalência dos valores associados à Divisória, à exceção das baixas frequências, onde assume maior importância a contribuição do Teto e do Chão.
- Dependendo da redução sonora necessária poderá ser suficiente intervir apenas na Divisória.

3.3 Isolamento Sonoro

O Índice de Isolamento a Sons Aéreos medido está apresentado na Figura 4, e corresponde a um valor de $D_{nT,w} = 38$ dB, que não cumpre o limite legal de $D_{nT,w} \geq 50$ dB [2]. Assim, para cumprir um Índice de Isolamento Sonoro a Sons Aéreos de 50 dB, será necessário aumentar o isolamento em cerca de 12 dB ($38+12=50$). De acordo com o Quadro 1, isso é possível se $(L_a - L_a) \geq 12$ dB e $\Delta_a \geq 22$ dB.

De acordo com Tabela D.1 da Norma EN 12354-1 [3], uma placa de gesso de 12.5 mm com 44 mm de caixa-de-ar e com 25mm de lã de rocha, permite a melhoria de isolamento sonoro que se apresenta no Quadro 2 ($\Delta R_w = 18$ dB) (valores originais em 1/1 de oitava, extrapolados para 1/3 de oitava).

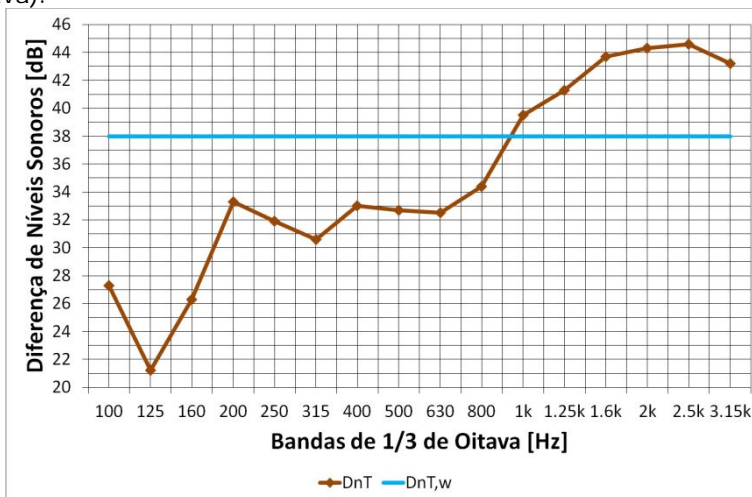


Figura 4: Isolamento a Sons Aéreos obtido

Quadro 2: Melhoria de isolamento de placa de gesso

		Hz															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k
-		-	2	-	-	14	-	-	23	-	-	24	-	-	19	-	-
0		2	6	10	14	17	20	23	23	24	24	22	21	19	17	16	

Aplicando esta melhoria de Isolamento Sonoro apenas na Divisória resultam os valores apresentados na Figura 5, de onde resulta a previsão de um Isolamento Sonoro melhorado de $D_{nT,w} = 47$ dB, que não atinge assim os 50 dB pretendidos (conforme seria expeável à partida, na medida em deveríamos ter $\Delta_a \geq 22$ dB e temos $\Delta_a = 18$ dB), sendo portanto necessário intervir também outros elementos, em particular o chão e/ou o teto, por serem aqueles com maior contribuição para o valor global apercebido, ou então utilizar um sistema com um valor superior de Δ_a (ΔR_w).

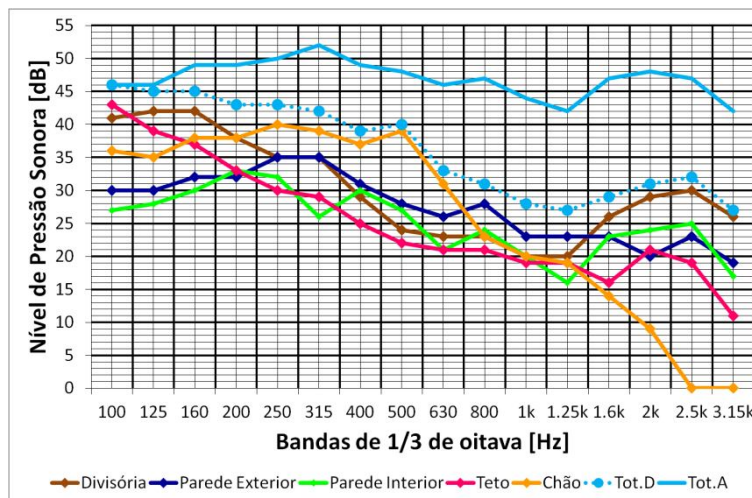


Figura 5: Melhoria do Isolamento a Sons Aéreos obtida

3.4 Comparação dos Níveis Sonoros previstos pela vibração com os Níveis Sonoros medidos

Apresentam-se na Figura 6, os Níveis Sonoros previstos através das medições de vibração e os Níveis Sonoros médios medidos no compartimento Recetor.

De acordo com a Figura 6, aparenta estar a ser sobrevalorizado o fator de radiação para as Bandas de Frequência abaixo de 315 Hz e acima de 1250 Hz, pois os níveis de pressão sonora deduzidos da vibração são superiores aos medidos com o sonómetro.

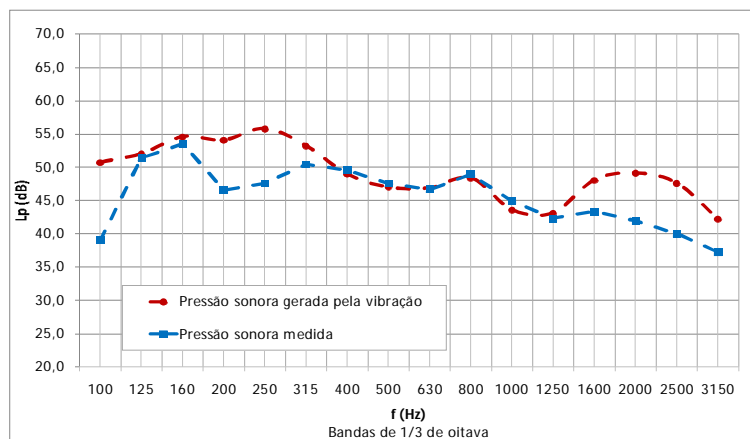


Figura 6: Níveis Sonoros previstos (vibração) e medidos

4. CONCLUSÕES

Face ao exposto anteriormente conclui-se que são necessários mais desenvolvimentos, sobretudo para determinação das variações do fator de radiação com a frequência e com o tipo de elemento, e para comparação das previsões com os resultados finais após intervenção.

Pese embora o referido, julga-se que o que foi apresentado é suficiente para tornar evidente a pertinência e dificuldade de obtenção, mediante medições *in situ*, da contribuição e relevância

de cada um dos diferentes caminhos estruturais, e aéreos, de propagação sonora entre um emissor e um recetor, em edifícios comuns.

REFERÊNCIAS

- [1] Norma Portuguesa, NP EN ISO 140-4 – *Acústica: Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção: Parte 4: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos*. 2009. (ISO 140-4: 1998)
- [2] Diário da República Portuguesa – Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*.
- [3] European Standard, EN 12354-1 – *Building Acoustics: Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements: Part 1: Airborne sound insulation between rooms*. 2000.
- [4] European Standard, EN 12354-5 – *Building acoustics: Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements: Part 5: Sounds levels due to the service equipment*. 2009.
- [5] Norma Portuguesa, NP EN ISO 3382-2: *Acústica: Medição de parâmetros de acústica de salas: Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes*. 2011. (ISO 3383-2: 2008)
- [6] International Standard, ISO 5348 – *Mechanical vibration and shock: Mechanical mounting of accelerometers*. 1998.