

## MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO EM LABORATÓRIO. VANTAGENS DE UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS COMBINADAS NA CARACTERIZAÇÃO DE PEQUENOS ELEMENTOS DE COMPARTIMENTAÇÃO

PACS: no. 43.55.Rg

**Palabras Clave:** isolamento sonoro, métodos de avaliação

Sónia Antunes<sup>1</sup>, Jorge Patrício<sup>1</sup>, Carlos Renato<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> LNEC

[santunes@lnec.pt](mailto:santunes@lnec.pt); [jpatricio@lnec.pt](mailto:jpatricio@lnec.pt)

<sup>2</sup> Visual noise

[carlos.renato@visualnoise.pt](mailto:carlos.renato@visualnoise.pt)

### RESUMO

Para a determinação do isolamento sonoro a sons aéreos em laboratório são utilizados os métodos normalizados descritos na série de normas ISO 10140. Estes métodos são baseados na determinação dos níveis de pressão sonora, em campo difuso. No caso de elementos de compartimentação, como portas ou janelas, que assumem especial importância para o desempenho global de um edifício, uma vez que constituem os elementos com menor desempenho acústico, o recurso a métodos de medição em campo difuso não permite a discriminação do isolamento sonoro das diferentes partes que constituem o elemento de compartimentação, nem a identificação de pontes “fónicas”. Em consequência a identificação e quantificação de melhorias do desempenho destes elementos construtivos, torna-se muito insuficiente. Neste trabalho apresentam-se alguns casos práticos resultantes da combinação dos métodos normalizados para a determinação do isolamento sonoro, em conjugação com o recurso a técnica de *beamforming*, apresentando-se algumas reflexões sobre a utilização conjunta das duas técnicas.

### ABSTRACT

To measure the airborne sound insulation in laboratory, the standardized methods described in the ISO 10140 series are used. These methods are based on sound pressure levels measured in diffuse field. In the case of partition elements, such as doors or windows, which are of great importance for the overall performance of a building, for they are the elements with the lowest acoustic performance, the diffuse field measurement methods does not allow the discrimination of the sound isolation of the different parts that constitute the partition element nor the identification of “phonic” bridges. As a result, the identification and quantification of improvements on the performance of these elements becomes insufficient. This work presents some practical cases resulting from the combination of standardized methods for the measurement of sound insulation, in conjunction with the use of beamforming technique. This work also presents some reflections on the joint use of the two techniques.

### 1. INTRODUÇÃO

O isolamento sonoro de um elemento construtivo (R) é definido por:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad \text{dB} \quad (1)$$

onde  $\tau$  representa o coeficiente de transmissão e  $W_1$  e  $W_2$  representam, respetivamente a potência sonora incidente e transmitida. Sendo o campo sonoro no compartimento emissor difuso, pode calcular-se a potência sonora incidente pela expressão:

$$W_1 = \frac{p_1^2}{4\rho_0 c_0} S \quad (2)$$

em que  $p_1$  representa a pressão sonora média na sala emissora (Pa),  $S$  ( $m^2$ ) área do provete,  $\rho_0$  ( $kg/m^3$ ) é a densidade do ar, e  $c_0$  (m/s) é a velocidade do som no ar. A potência sonora transmitida pelo provete, por sua vez, considerando um regime estacionário, será igual à potência sonora absorvida pelo recinto recetor, e pode escrever como:

$$W_2 = \frac{p_2^2}{4\rho_0 c_0} A_2, \text{ e } A_2 = \frac{0,16}{T} V \quad (3)$$

em que  $p_2$  representa a pressão sonora média no compartimento recetor,  $A_2$  a área de absorção sonora equivalente no compartimento recetor,  $V_2$  e  $T_2$  representam respetivamente o volume e o tempo de reverberação. Deste modo o isolamento sonoro de um elemento construtivo colocado entre dois compartimentos (onde se admite, em ambos, o estabelecimento de um campo sonoro difuso), pode ser representado como:

$$R = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log_{10} \frac{S}{A_2} \quad (4)$$

Assim, a medição do isolamento sonoro obtida em laboratório ( $R$ , também designado por redução sonora) é usualmente efetuada a partir da medição dos níveis de pressão sonora existentes em dois recintos adjacentes, em função da frequência; usualmente em bandas de terço de oitava compreendidas entre 100 e 3150 Hz, ou então na banda de frequências estendida entre os 50 Hz e 5000 Hz. No recinto emissor é estabelecido um campo sonoro difuso que se propaga para o recinto recetor, exclusivamente através do elemento construtivo a caracterizar. Admitindo que o campo sonoro estabelecido no recinto recetor, também é difuso, e, portanto, válida a condição de Sabine, em que a área de absorção sonora equivalente deste recinto pode ser determinada pela medição do tempo de reverberação, ou seja:

$$A = 0,161 \left( \frac{V}{T} \right) \quad (5)$$

Esta é a formulação de base da série de normas ISO 10140, aplicáveis à medição do isolamento sonoro a sons aéreos de elementos construtivos em laboratório. Uma das grandes desvantagens deste tipo de formulação, é que caracteriza o elemento construtivo como um todo, sendo incapaz de detetar zonas com um isolamento sonoro deficiente, ou até pequenas aberturas, pelas quais o som pode passar, ou então, zonas onde a selagem acústica é deficiente. Esta identificação revela-se importante, especialmente em elementos construtivos como portas e janelas, considerados como os elementos numa fachada em que o isolamento sonoro é mais deficiente. Efetivamente, uma pequena melhoria do desempenho destes elementos, com a identificação de pontos fracos, e conseqüente correção, poderá em muito, melhorar o isolamento sonoro do conjunto.

Atualmente, para além do método da intensidade sonora, começa a ser usual o recurso da técnica de *beamforming* para a descrição de campos sonoros e localização de irregularidades de materiais de construção. Resumidamente, a técnica de *beamforming* aplicada à Acústica, é um método de filtragem espacial ou localização de uma fonte sonora específica, baseada na direção “de chegada” da propagação da energia sonora a um conjunto de microfones (também designado por algoritmo de atraso e soma). A localização da fonte é obtida pela diferença temporal a que o som chega aos diferentes microfones, sendo aplicado à saída de cada microfone um atraso e uma ponderação em frequência, efetuando-se posteriormente a soma dos sinais resultantes. Realizando a interpolação espacial de todos os sinais, é possível a obtenção de um mapeamento num plano de varrimento e construir uma imagem acústica. Diferentes grupos de investigação aperfeiçoaram o algoritmo de atraso e soma, dando origem a novos algoritmos mais complexos e desenvolvidos, como por exemplo, os algoritmos Evob, Clean, Sonah, Capone Damas. No artigo [1] é apresentada uma revisão das principais estratégias utilizadas no método de *beamforming* aplicado em Acústica.

Tendo em conta o exposto, resolveu-se avaliar a utilização de um equipamento comercial que recorre à técnica de *beamforming*, aqui designado por *acoustic camera* (SoundCam 1.0) para a

identificação de pontos fracos de elementos construtivos como portas, quantificando por meio de medições normalizadas de pressão sonora o respetivo valor global de isolamento sonoro. Esta câmara estava equipada com 64 microfones Mems, utilizando o algoritmo Evob (*EigenValue Optimized Beamforming*), que lhe permite ter uma gama de medição em frequência entre os 800 Hz e 24 000 Hz (no entanto, apesar do referido, verifica-se que as *acoustic cameras* medem usualmente a partir dos 100 Hz, mas com menor resolução e menor exactidão na localização das fontes sonoras).

## 2. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

### 2.1. Instalações de ensaio

Os ensaios decorreram nas câmaras reverberantes do LNEC, as quais são de forma paralelepédicas, e têm dimensões de 4,5 m x 4,9 m x 5,5, volume de 121,0 m<sup>3</sup> e área total da envolvente de 147,5 m<sup>2</sup>, e onde habitualmente são realizados os ensaios de isolamento sonoro. A amostra em ensaio foi colocada na abertura de ensaio existente entre as duas câmaras. Para este conjunto de experiências, a câmara reverberante do espaço de receção foi revestida com material absorvente sonoro, eliminando assim as reflexões nas paredes da câmara de ensaios e criando um campo semi-infinito, de modo a melhorar os resultados obtidos com este equipamento. Na Figura 1 apresenta-se uma fotografia da câmara recetora e revestimento absorvente utilizado (foto da esquerda), enquanto que na fotografia da direita se pode visualizar um dos provetes utilizados (porta), inserida na abertura de ensaio.



Figura 1 – Câmara recetora (foto da esquerda) e provete em ensaio (porta de vidro) colocada entre as câmaras.

### 2.2 Ensaio realizados

Realizaram-se um conjunto de ensaios, utilizando-se uma porta de batente (ver Figura 1, fotografia direita) e uma porta deslizante (ver Figura3), ambas de vidro. No caso da porta de batente, efetuou-se uma análise qualitativa, averiguando-se os pontos mais suscetíveis (onde a transmissão sonora era superior). Após esta identificação, tentou-se colmatar a transmissão sonora, interpondo um painel nessa localização, de modo a proceder-se a uma nova identificação de pontos mais suscetíveis.

No caso da porta deslizante, foram realizados seis ensaios para cada método, com diferentes afastamentos da porta deslizante à parede definidora da abertura de ensaio, designadamente 3 mm, 4 mm e 6 mm, para duas situações: colocando uma alcatifa no aro inferior da porta, e removendo este elemento, o que por sua vez, introduz uma pequena abertura na horizontal entre a parte inferior da abertura de ensaio e a porta colocada em ensaio.

### 2.3 Procedimento de ensaio

No caso dos ensaios de isolamento sonoro, pelo método da pressão sonora, foi realizada uma adaptação ao método normativo usualmente utilizado em laboratório para a medição do isolamento sonoro, realizando-se a medição do isolamento sonoro efetivo, somente com uma localização de um microfone, na câmara recetora. Nos ensaios onde se utilizou a técnica de *beamforming*, a distância da *acoustic camera* ao provete de ensaio, deve estar em concordância

com o indicado na expressão (6), para que, na utilização da técnica de *beamforming*, se contemple toda a área de interesse do elemento em avaliação [2]:

$$L = 1,15z \quad (6)$$

correspondendo  $z$  à distancia de medição (m) e  $L$  comprimento da fonte sonora (m)

Quanto maior a distância de medição, menor será a resolução, e portanto, mais difícil será a localização das áreas correspondente à máxima radiação. A resolução nesta técnica é obtida pela expressão (7):

$$R = 1.22\left(\frac{z}{D}\right)\lambda \quad (7)$$

em que  $R$  representa a resolução (m),  $\lambda$  o comprimento de onda (m) e  $D$  o diâmetro da *acoustic camera*. No entanto, a distância de medição deve ser tal que permita a cobertura total da superfície em avaliação, resultante da combinação de 3 fatores: cobertura total da superfície em avaliação, valor da distância calculada e resolução adequada. Nos exemplos constantes nesta comunicação foram utilizadas distâncias de 2 m entre os elementos construtivos e a *acoustic camera*. Para ambos os métodos, a análise em frequência foi realizada por bandas de terço de oitava, compreendidas entre 100 Hz e 5000 Hz.

### 3. RESULTADOS

Nos ensaios realizados com a porta de batente, é possível verificar que a *acoustic camera* permite a fácil identificação de pontos onde a transmissão sonora é facilitada (Figura 2, canto inferior esquerdo da fotografia da esquerda). Inclusive, após a interposição de um painel opaco na zona anteriormente identificada, é possível a identificação de uma nova zona de transmissão (ver Figura 2, canto superior direito da fotografia da direita).

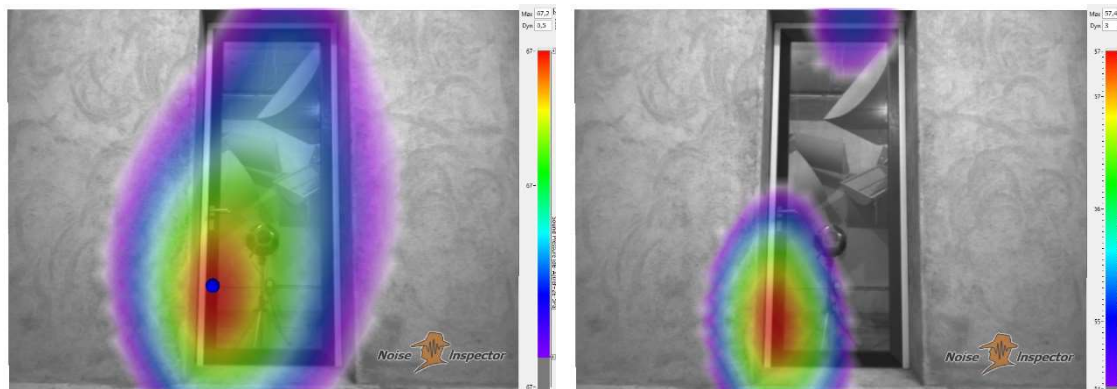


Figura 2 –Isolinhas de níveis sonoros obtidas com a *acoustic camera*, para a porta de batente

No que respeita aos ensaios efetuados com a porta deslizante, apresenta-se na Figura 3 as isolinhas de níveis sonoros, com uma abertura na vertical de 3mm, e uma alcatifa colocada na soleira da porta (fotografia da esquerda). A fotografia da direita da Figura 3 corresponde à mesma situação, somente com a diferença em que a alcatifa na soleira da porta é removida. Mais uma vez, são identificados os locais por onde se verifica uma quebra no isolamento sonoro. No que respeita a uma análise mais quantitativa, o gráfico da Figura 4 apresenta a curva de isolamento sonoro referente aos vários afastamentos (aberturas) da porta deslizante relativamente à parede da abertura de ensaio. Por seu lado, na Tabela 1, indicam-se as codificações utilizadas neste gráfico, bem como a dimensão da abertura total e respetivo índice de redução sonora, obtido, utilizando-se a modificação ao método normativo indicada no ponto 2.3 (medição da pressão

sonora com recurso a um único microfone de medição). Como seria de esperar, à medida que a área da abertura aumenta, existe uma diminuição do valor do isolamento sonoro efetivo, em função da frequência, o mesmo sucedendo com o índice de redução sonora (quando se passa da abertura na vertical de 4mm para 6mm).

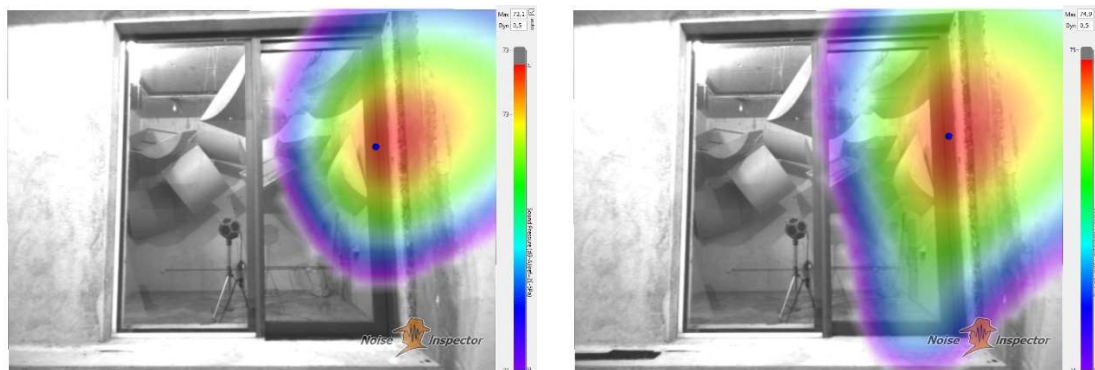


Figura 3 – Isolinhas de níveis sonoros obtidas com a *acoustic camera*, na porta deslizante com abertura vertical de 3mm e uma alcatifa na soleira da porta (fotografia da esquerda), e com a alcatifa removida (fotografia da direita)

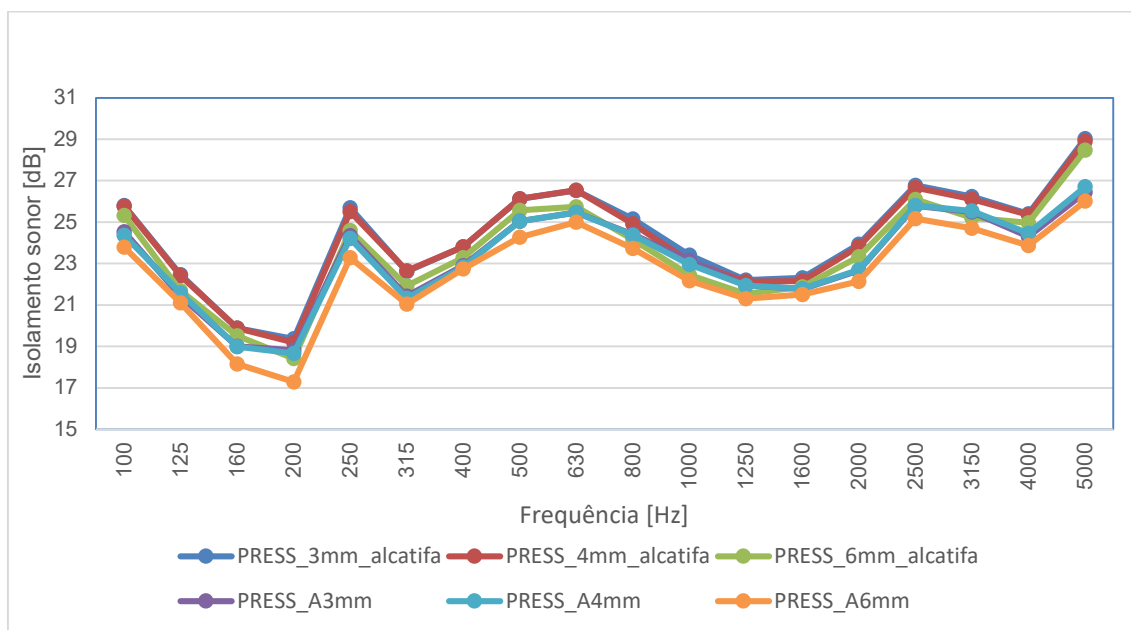


Figura 4 – Isolamento sonoro efetivo em função da dimensão da abertura vertical (3 mm, 4 mm e 5 mm), com a soleira porta preenchida com uma alcatifa, e com este elemento removido (A3mm, A4mm, A6mm), utilizando o método de pressão sonora

Tabela 1 – Designações de cada situação, área total da abertura e índice de redução sonora, obtido com o método de pressão sonora

Designação	PRESS_3mm_alcatifa	PRESS_4mm_alcatifa	PRESS_6mm_alcatifa	PRESS_A3mm	PRESS_A4mm	PRESS_A6mm
Área da abertura [mm <sup>2</sup> ]	7140	9520	14280	7970	10350	15110
Rw [dB]	25	25	24	24	24	23



No que respeita aos resultados obtidos com a *acoustic camera*, apresenta-se na Figura 5 a curva de isolamento sonoro referente aos vários afastamentos (aberturas) da porta deslizante à parede da abertura de ensaio. A Tabela 2 indica as codificações utilizadas neste gráfico, bem como a dimensão da abertura total e respetivo índice de redução sonora, obtido utilizando-se a *acoustic camera*. Neste caso, também à medida que a área da abertura aumenta, existe uma diminuição do valor do isolamento sonoro efetivo, em função da frequência, o mesmo sucedendo com o índice de redução sonora (no caso da passagem da abertura vertical de 4mm para 6mm, quando na soleira da porta é colocada a alcatifa).

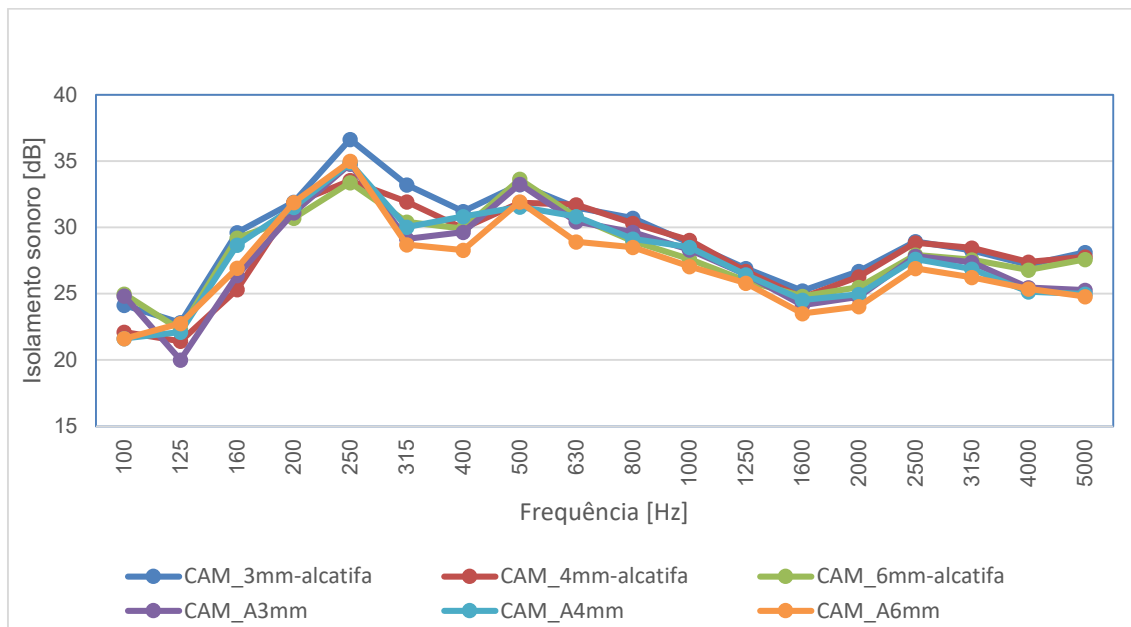


Figura 5 – Isolamento sonoro efetivo em função da espessura de abertura vertical (3mm, 4mm e 5mm), com a soleira porta preenchida com uma alcatifa, e com este elemento removido (A3mm, A4mm, A6mm), utilizando a *acoustic camera*

Tabela 2 – Designações de cada situação, área total da abertura e índice de redução sonora, quando se utiliza a *acoustic camera*

Designação	CAM_3mm alcatifa	CAM_4mm alcatifa	CAM_6mm alcatifa	CAM_A3mm	CAM_A4mm	CAM_A6mm
Área da abertura [mm <sup>2</sup> ]	7140	9520	14280	7970	10350	15110
Rw [dB]	28	28	27	27	27	27

Por último, nas Figuras 6, 7 e 8, apresentam-se as comparações dos resultados obtidos para o isolamento sonoro efetivo, utilizando os dois métodos (medição recorrendo a um único microfone na câmara recetora, e utilizando a *acoustic camera*), para igual abertura da porta (3mm, 4mm e 6mm de afastamento à parede da abertura de ensaio), em ambas as situações, com alcatifa na soleira da porta, e sem este elemento. Todos os gráficos, apresentam o mesmo andamento, verificando-se uma aproximação dos resultados obtidos pelos dois métodos, só a partir da frequência de 1600 Hz. A forma da curva obtida, pelos e métodos é similar a partir dos 250 Hz, no entanto, a diferença entre os valores numéricos obtida é significativa (variando entre 9 dB até 3 dB aos 1600 Hz).

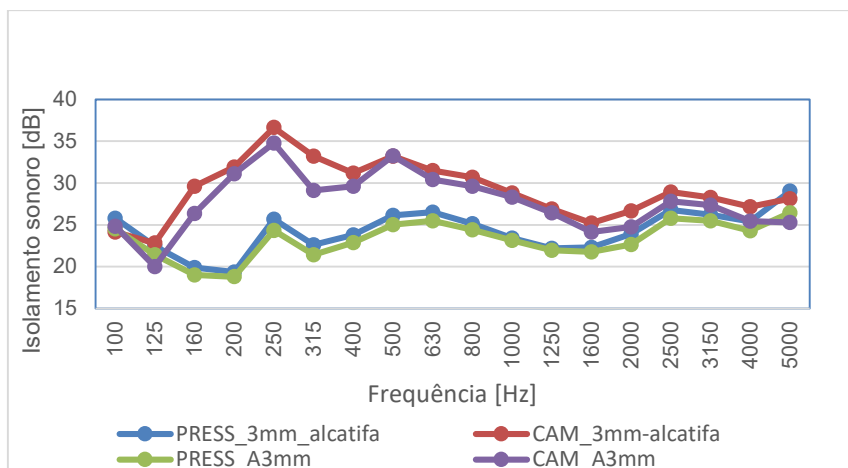


Figura 6 – Comparação do isolamento sonoro efetivo para a abertura vertical de 3 mm, utilizando o método de pressão sonora (PRESS) e a câmara acústica (CAM)

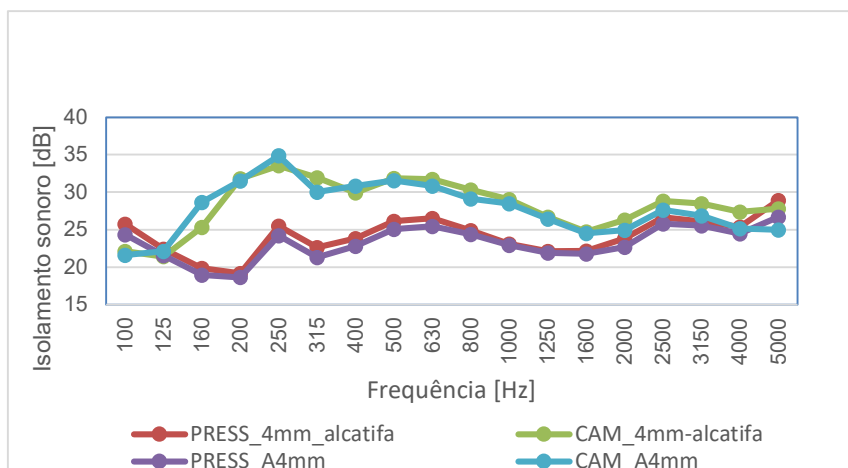


Figura 7 – Comparação do isolamento sonoro efetivo para a abertura vertical de 4 mm, utilizando o método de pressão sonora (PRESS) e a *acoustic camera* (CAM)

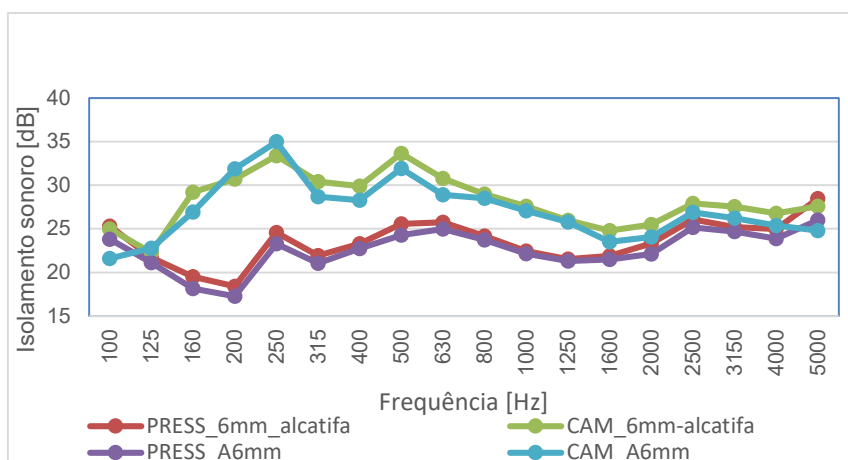


Figura 8 – Comparação do isolamento sonoro efetivo para a abertura vertical de 6 mm, utilizando o método de pressão sonora (PRESS) e a *acoustic camera* (CAM)

#### 4. CONCLUSÕES

Foram efetuados ensaios para avaliação do isolamento sonoro efetivo, com dois tipos de porta de vidro (batente e deslizante com uma folha fixa), por meio de 2 métodos: utilizando um único microfone na câmara recetora e utilizando em seu lugar uma *acoustic camera*. Efetivamente, para este tipo de elemento construtivo, a identificação de locais onde ocorre uma redução do isolamento sonoro, é muito importante, pois basta um pequeno desalinhamento na instalação dos seus componentes para que ocorra uma diminuição de desempenho acústico. O método normalizado para a caracterização do isolamento sonoro não facilita a identificação destes problemas, na medida em que é globalizante, pelo que se estudou a possibilidade de recorrer a um método expedito complementar. De facto, o recurso a uma *acoustic camera*, possibilita neste caso uma avaliação qualitativa (com se mostra nas Figuras 2 e 3), contribuindo para a adoção de soluções que permitam minorar esas perdas de isolamento.

Já no que respeita à quantificação do isolamento sonoro, a questão é distinta, pois as diferenças obtidas são significativas, o que também já era espectável, dado a gama de frequências para qual a técnica de *beamforming* é válida. De facto, para frequências mais baixas, a técnica de holografia acústica de campo próximo (conhecida por SONAH- Statistically Optimal Near-field Acoustic Holography), é preferencial. Assim, sendo, para obter uma melhor exatidão, será necessário utilizar as duas técnicas: SONAH para a gama de frequências de terço de oitava compreendidas entre 50 a 1600 Hz, e a técnica de *beamforming* entre os 500 e 5000 Hz. No entanto, para uma avaliação meramente qualitativa, o uso de câmara acústica revela-se significativamente útil e adequado.

#### REFERENCIAS

- [1] Chiariott, P.; Martarelli, M.; Castellini, P. Acoustic beamforming for noise source localization. Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 120, 2019, Págs 422-448
- [2] Ballesteros, J.; Quintana, S.; Fernandez Berlanga, M. In Situ Detection of Leakages in Partition Elements through SONAH and Beamforming Techniques. 10.5772/intechopen.82352, 2018
- [3] Christensen, J.; Hald, J. Beamforming. B&K Technical Review 1; 2004
- [4] Patrício, J. Acústica nos edifícios. Publindústria, Edições Técnicas. 7ª edição. 2018. ISBN 978-989-723-262-6
- [5] Antunes, S.; Patrício, J.; António, J.; Falção, A. Considerations on the determination of measurements uncertainties values in laboratory airborne sound insulations measurements". INTERNOISE 2020 E-Congress – 49th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Seul, Coreia do Sul, 23 -26 de Agosto 2020