

## ANÁLISE DA ABSORÇÃO SONORA DE PAINÉIS RANHURADOS E PERFURADOS INCORPORANDO ESPUMAS SINTÉTICAS

PATRAQUIM, Ricardo<sup>1</sup>, GODINHO, Luís<sup>2</sup>, AMADO MENDES, Paulo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Castelhana & Ferreira S.A., Leiria, Portugal  
patraquim@castelhana-ferreira.pt

<sup>2</sup> CICC, Dep. Eng. Civil Universidade de Coimbra, Portugal  
lgodinho@dec.uc.pt; pamendes@dec.uc.pt

### Resumo

Neste trabalho efectua-se uma análise experimental relativa ao comportamento de painéis absorventes acústicos, fabricados em MDF, com diferentes constituições e configurações. Procura-se analisar o comportamento de soluções não convencionais, em que o painel apresenta ranhuras superficiais com secção transversal variável, e em que se incorporam, como complemento, diferentes materiais absorventes. Os materiais testados correspondem à solução tradicional de lã de rocha (usada como referência) e a uma espuma de poliuretano de célula aberta; em todos os casos, é considerada a existência de uma caixa-de-ar de 40 mm no tardo do painel. A campanha de ensaios realizada baseou-se, em primeiro lugar, no ensaio de amostras de dimensão reduzida, recorrendo ao método do tubo de impedância (norma EN ISO 10534-2 [8]) e, posteriormente, na realização de ensaios em amostras de maior dimensão, em câmara reverberante (norma NP EN ISO 354 [7]). Para além da análise do desempenho das diferentes configurações de painel testadas, realiza-se uma comparação entre os dois métodos de ensaio aplicados, procurando compreender melhor a fiabilidade da realização de ensaios sobre amostras reduzidas.

**Palavras-chave:** Painéis absorventes. Estudo experimental. Geometrias não convencionais.

### Abstract

In the present work, an experimental analysis of the behavior of absorbing panels, made of MDF and with different configurations, is performed. The main objective is to analyze the performance of non-conventional solutions in which the panel exhibits linear openings with variable cross-sections, and in which different absorbing materials are incorporated. The tested materials correspond to the traditional solution of using rock wool as a porous absorber (used as reference), and to the use of polyurethane foam, with open cell; in all cases, a 40mm plenum is considered.

The experimental tests are performed, first, over small specimens, using the impedance tube method (EN ISO 10534-2 [8]). Then, large scale samples are characterized in a reverberant chamber (NP EN ISO 354 [7]). Indeed, besides studying the behavior of the tested panels, one of the objectives of the present paper is also to compare the results provided by the two test methods in the case of perforates.

**Keywords:** Absorbing panels. Experimental study. Non-conventional geometry.

**PACS no. 43.55.Ev**

## 1 Introdução

Uma das estratégias a que habitualmente se recorre, no sentido de conseguir limitar as reverberações no interior de espaços fechados, corresponde à utilização de materiais e sistemas absorventes sonoros como soluções de revestimento de algumas superfícies interiores. Assim, uma solução técnica frequente é a adoção de painéis ranhurados ou perfurados, aplicados a uma certa distância da parede rígida de suporte, criando uma caixa-de-ar que poderá ser parcial ou totalmente preenchida com material absorvente poroso. Neste tipo de sistemas, o processo de absorção sonora combina os comportamentos de ressoadores acústicos e de materiais porosos, assemelhando-se o comportamento dominante ao de uma grelha de ressoadores de Helmholtz. Estes sistemas têm sido estudados, desde há algum tempo, por diferentes investigadores, apresentando-se uma descrição detalhada do seu comportamento em trabalhos como os de Ingard e Bolt [1], Morse et al [2], Bolt [3], Ingard [4] ou Crandall [5].

A influência de alguns parâmetros no desempenho de painéis acústicos perfurados em madeira, tais como a sua espessura, a percentagem de furação e a presença de materiais absorventes na caixa-de-ar, foi objeto de análise experimental por parte de Patraquim [6]. Neste trabalho, o comportamento dos painéis perfurados, do ponto de vista da absorção sonora, foi avaliado em câmara reverberante com base no método de ensaio estabelecido na norma NP EN ISO 354 [7]. Seguindo uma abordagem baseada na análise de amostras com dimensões mais reduzidas, ensaiadas em tubo de impedância de acordo com os procedimentos definidos nas normas EN ISO 10534-2 [8] e ASTM E1050 [9], Godinho et al [10] caracterizaram posteriormente a absorção sonora de diferentes painéis ressonantes. Neste caso, analisou-se o efeito da presença de uma tela acústica (por vezes referida como véu acústico) colada no tardo dos painéis, para aumentar o seu desempenho acústico e servir como proteção dos materiais absorventes da caixa-de-ar. A partir do trabalho experimental desenvolvido, envolvendo diferentes telas e painéis perfurados em “MDF (*Medium Density Fiberboard*)”, foi possível concluir que as características da tela colada no tardo do painel podem influenciar significativamente o comportamento global do sistema. Neste sentido, a presença de telas com resistência ao fluxo de ar mais elevada conduz à observação de picos de ressonância menos pronunciados, enquanto estes picos se tornam mais vincados quando se adotam telas com menor resistência ao fluxo de ar.

Tradicionalmente, nesta área, tem-se estudado sistemas perfurados de diferentes tipos, mas com furos discretos abertos nos painéis. Contudo, a procura de soluções não convencionais, do ponto de vista da geometria das aberturas superficiais ou da utilização de diferentes materiais, tem sido objeto de interesse por parte de vários autores, tentando alcançar sistemas absorventes alternativos com bom desempenho acústico (podem referir-se, a título de exemplo, os trabalhos de Toyoda et al [11] ou de Sakagami et al [12]). Neste trabalho, apresenta-se uma avaliação experimental do comportamento de painéis absorventes acústicos (ranhurados e perfurados) não convencionais, executados em MDF e incorporando, na sua constituição, espumas sintéticas (espuma de poliuretano com célula aberta). Inicialmente, o desempenho dos sistemas selecionados é avaliado com base em ensaios de amostras de dimensão reduzida, com recurso ao método do tubo de impedância para a determinação da absorção sonora de cada solução (norma EN ISO 10534-2 [8]). Posteriormente, o comportamento de sistemas absorventes análogos é determinado utilizando amostras de maior dimensão, em câmara reverberante (norma NP EN ISO 354 [7]). Com base naquelas campanhas laboratoriais, pretende-se analisar o desempenho acústico de várias soluções, procurando compreender a influência no comportamento de alguns parâmetros relativos à sua constituição/configuração, e observar as similitudes e diferenças de resultados inerentes ao método de ensaio e à dimensão da amostra ensaiada.

A estrutura do presente trabalho pode resumir-se da seguinte forma: inicialmente, apresentam-se de forma breve as metodologias de ensaio e os equipamento utilizados; depois, efetua-se uma descrição dos vários sistemas e materiais testados nas campanhas de ensaios laboratoriais, no que se refere a provetes com dimensão reduzida e painéis com maior dimensão; apresentam-se e analisam-se, por

último, os resultados obtidos em tubo de impedância e em câmara reverberante, bem como uma comparação entre resultados determinados por ambas as metodologias.

## 2 Metodologias de ensaio

Nos ensaios experimentais para avaliação do coeficiente de absorção sonora em amostras de dimensão reduzida dos painéis absorventes adotou-se o método do tubo de impedância, seguindo os procedimentos estabelecidos nas normas EN ISO 10534-2 [8] e ASTM E1050 [9]. Recorrendo a um amplificador e a um altifalante colocado numa das extremidades do tubo de impedância, procede-se à emissão de um ruído de intensidade média, constante ao longo do espectro de frequências (ruído branco), em ondas sonoras planas. Quando estas incidem sobre a amostra registam-se variações de pressão resultantes da transformação de alguma da energia sonora incidente em energia mecânica, conduzindo à redução da pressão sonora reflectida. Aquelas flutuações de pressão podem ser registadas por dois microfones, localizados em posições predefinidas ao longo do tubo de impedância. Os sinais recolhidos pelos dois microfones são processados e tratados por um analisador digital, determinando-se os valores da absorção sonora na gama de frequência do som analisada. Nesta campanha de ensaios laboratoriais, utilizou-se um tubo de impedância do tipo 4206, da marca Brüel & Kjaer, complementado por um amplificador do tipo 2716C, da mesma marca, tendo-se optado pelo método dos dois microfones para o cálculo da absorção sonora das amostras na gama de frequências entre os 100 e os 1600 Hz. A aquisição dos sinais foi realizada por um sistema multianalisador Pulse, do tipo 3560-C, também da marca Brüel & Kjaer. Todo o procedimento de ensaio seguido neste trabalho encontra-se descrito, com maior detalhe, em Godinho et al [10].

No que se refere à determinação do coeficiente de absorção sonora dos painéis perfurados em condições de incidência de campo difuso, os ensaios decorreram segundo os procedimentos especificados na norma NP EN ISO 354 [7], na gama de frequências dos 100 aos 5000 Hz. Estes ensaios tiveram lugar numa câmara reverberante de grandes dimensões, com um volume total de 204 m<sup>3</sup> e uma área de pavimento com dimensões de 5.85 m x 5.85 m, existente no ITeCons, na Universidade de Coimbra. Esta câmara reverberante foi previamente preparada e caracterizada de modo a preencher os requisitos estabelecidos na norma NP EN ISO 354 [7], designadamente no que respeita ao volume, configuração, criação de um campo sonoro difuso no interior e estabelecimento de valores mínimos para os tempos de reverberação da câmara sem provete de ensaio. Uma descrição pormenorizada das condições de ensaio e da preparação e caracterização desta câmara foi efetuada por Castro et al [13], podendo salientar-se a utilização de 15 elementos difusores sonoros em policarbonato, suspensos aleatoriamente no teto da câmara em geometrias côncavas e convexas e totalizando uma área exposta de 30 m<sup>2</sup>, de modo a garantir a correta difusão do campo sonoro. A área total das superfícies da câmara de ensaio é de cerca de 212 m<sup>2</sup>.

## 3 Descrição das amostras testadas

Como referido anteriormente, para este trabalho, foram ensaiados em tubo de impedância vários provetes com perfurações de configurações distintas (com base na norma EN ISO 10534-2 [8]). Posteriormente, ensaiaram-se em câmara reverberante os painéis acústicos “à escala real” resultantes dos mesmos provetes, em montagens do tipo A, segundo a norma NP EN ISO 354 [7]. Em ambos os conjuntos de ensaios foram introduzidas nas ranhuras tiras de espuma de poliuretano de célula aberta, de cor cinza escura, com 25 kg/m<sup>3</sup> de massa volúmica. Foram utilizadas tiras de espuma de secção rectangular de 4 mm por 28 mm. Foi também utilizada, para preencher a caixa-de-ar no tardo, lâ de rocha com 40 mm de espessura e uma massa volúmica de 40 kg/m<sup>3</sup>.

Os provetes utilizados nos testes em tubo de impedância correspondem a amostras circulares perfuradas em “Valchromat®” (MDF de alta densidade colorido em toda a sua massa), com um diâmetro de 10 cm e espessura de 16 mm, com taxas de perfuração e com ranhuras de geometria distintas, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2.

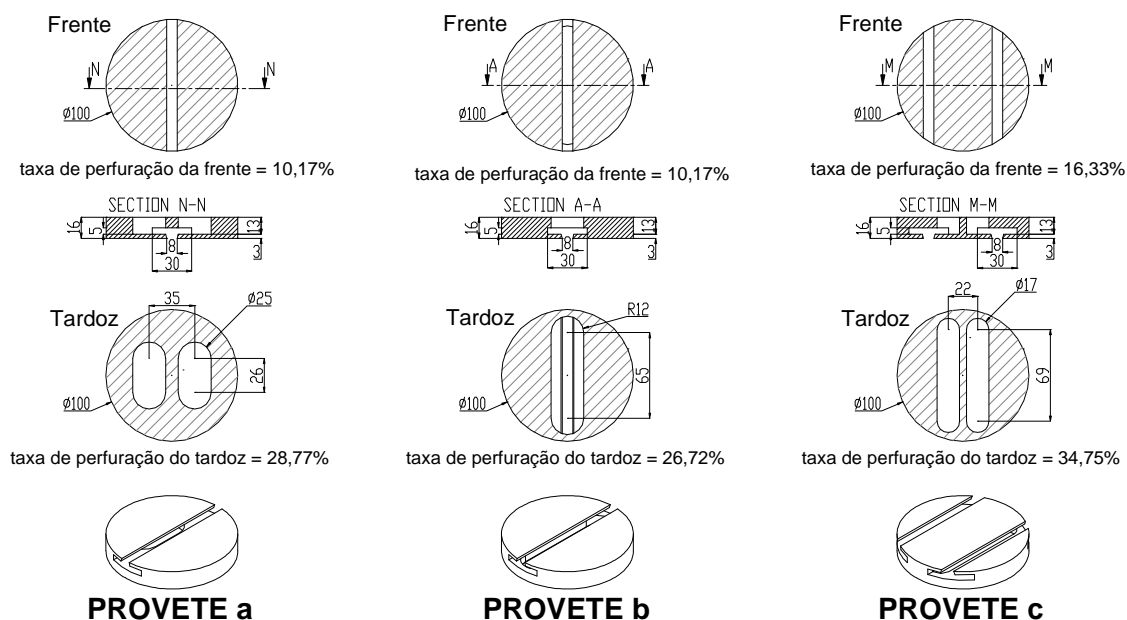


Figura 1 – Provetes utilizados nos ensaios em tubo de impedância.



Figura 2 – Fotografias dos provetes a, b e c utilizados nos ensaios em tubo de impedância. Exemplo da utilização das espumas nas ranhuras (vista da parte da frente).

Os painéis utilizados nos ensaios em câmara reverberante correspondem a placas de MDF de 16 mm de espessura, revestidas a melamina, com dimensões de 1820 mm x 595 mm, com taxas de perfuração e ranhuras de geometria distintas, conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4.

Os painéis A e C têm as perfurações realizadas no seu tardo, de modo a ficarem ocultas quando vistos de frente (ver Figuras 4e e 4g). Por outro lado, nos painéis B e D essas perfurações são visíveis (ver Figura 4f).

No presente estudo pretende-se avaliar não só a influência da introdução de espumas no interior das ranhuras dos painéis acima apresentados como também a contribuição do formato e configuração das perfurações. Para este efeito foram realizados, em cada uma das amostras, os ensaios elencados nas Tabelas 1 e 2.

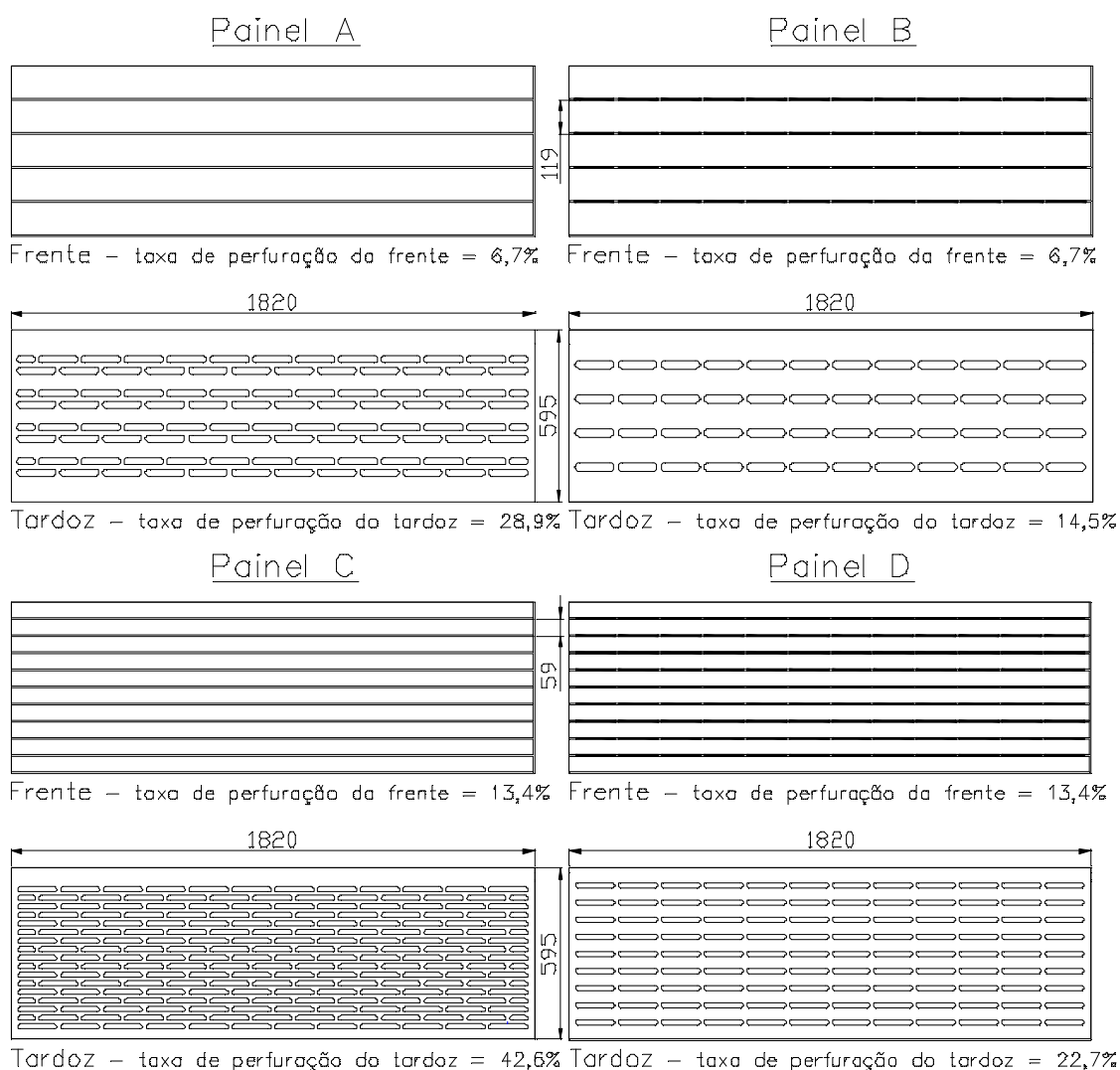


Figura 3 – Painéis utilizados nos ensaios em câmara reverberante.

Tabela 1 – Ensaios realizados em tubo de impedância.

# Montagem	DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS EM TUBO DE IMPEDÂNCIA	TELA	LÃ DE ROCHA (4cm)	ESPUMA	PROVETES			
					a	b	c	d
1	Provete + véu acústico colado + lâ de rocha na caixa-de-ar (sem qualquer espuma) - <b>MONTAGEM STANDARD</b>	*	*		a1	b1	c1	-
2	Provete + espuma introduzida nas ranhuras frontais (caixa-de ar vazia e sem véu acústico)			*	a2	b2	c2	-
3	Provete + espuma introduzida nas ranhuras frontais + caixa-de-ar preenchida com lâ de rocha (sem véu acústico)		*	*	a3	b3	c3	-

Tabela 2 – Ensaios realizados em câmara reverberante.

# Montagem	DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS EM CÂMARA REVERBERANTE	TELA	LÃ DE ROCHA (4cm)	ESPUMA	PAINÉIS			
					A	B	C	D
1	Provete + véu acústico colado + lâ de rocha na caixa-de-ar (sem qualquer espuma) - <b>MONTAGEM STANDARD</b>	*	*		A1	B1	C1	D1
2	Provete + espuma introduzida nas ranhuras frontais (caixa-de ar vazia e sem véu acústico)			*	A2	B2	-	-
3	Provete + espuma introduzida nas ranhuras frontais + caixa-de-ar preenchida com lâ de rocha (sem véu acústico)		*	*	A3	B3	C3	D3

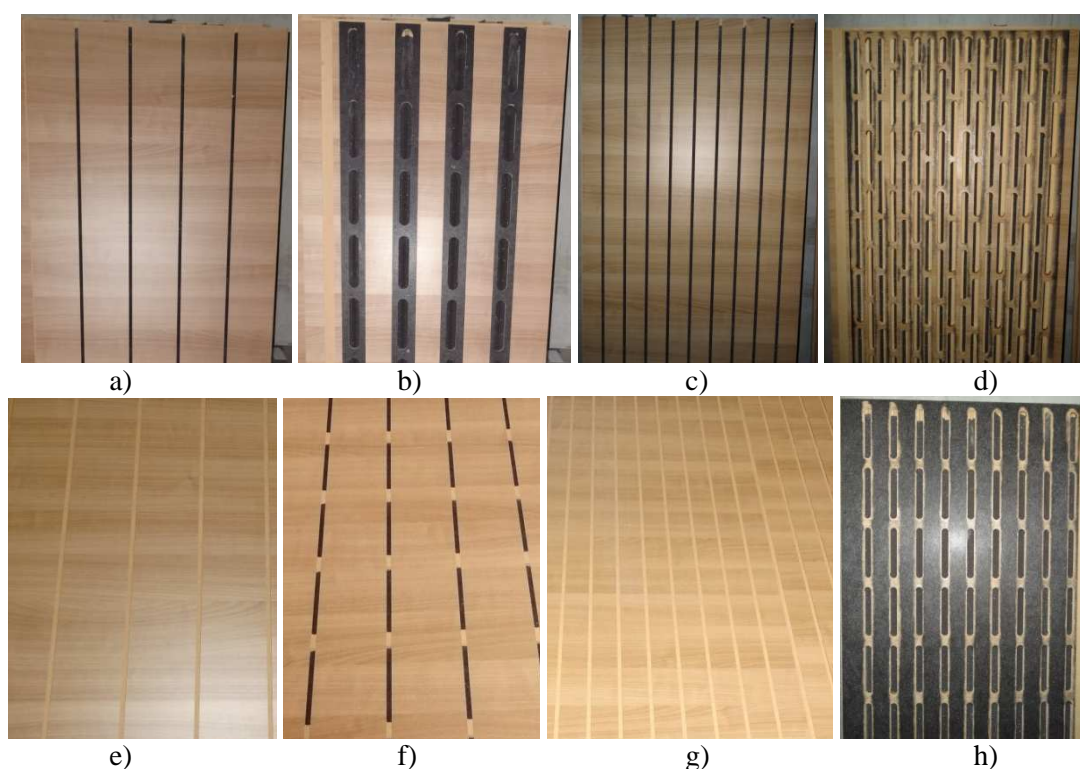


Figura 4 – Fotografias de alguns painéis utilizados nos ensaios em câmara reverberante. a) frente do painel A e B com a espuma introduzida nas ranhuras; b) tardo do painel B sem véu acústico; c) frente do painel C e D com a espuma introduzida nas ranhuras; d) tardo do painel C sem véu acústico; e) frente do painel A sem espuma introduzida nas ranhuras; f) frente do painel B sem espuma introduzida nas ranhuras; g) frente do painel C sem espuma introduzida nas ranhuras; h) tardo do painel D sem véu acústico.

Em todos os ensaios, considerou-se uma caixa-de-ar no tardo das amostras com uma profundidade de 40 mm e que poderá ou não ser preenchida com material absorvente poroso (lã de rocha) consoante o ensaio. Foi ainda utilizado, nos ensaios assinalados naquelas tabelas, um véu acústico colado no tardo dos provetes (em tubo de impedância) e nos painéis (em câmara reverberante) com baixa resistividade ao fluxo de ar ( $3.20 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ ), espessura de 0.52 mm e massa superficial de  $63.7 \text{ g}/\text{m}^2$  [10].

## 4 Análise dos resultados obtidos

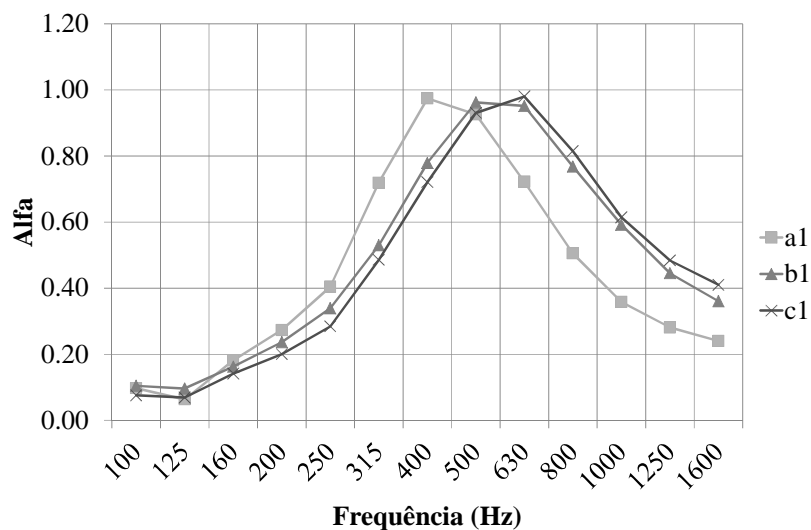
Nesta secção apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais. Opta-se por, em primeiro lugar, abordar os ensaios realizados sobre amostras reduzidas, procurando compreender os diferentes mecanismos associados à absorção sonora em cada tipo de amostra; apresenta-se, depois, uma breve comparação entre as duas metodologias de ensaio utilizadas; por fim, serão analisados os resultados obtidos em câmara reverberante, recorrendo aos ensaios de absorção em campo difuso.

### 4.1 Ensaios em tubo de impedância

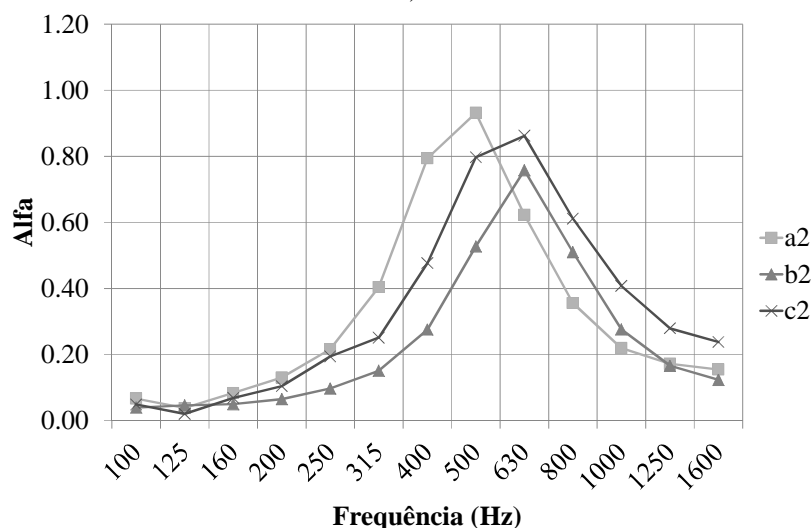
De forma a melhor compreender a influência da geometria do painel, considere-se em primeiro lugar a montagem do tipo 1, montagem mais habitual em obra e que faz uso de um véu acústico colado no tardo do painel, em conjunto com uma camada de lã-de-rocha preenchendo totalmente a caixa-de-ar.

Os resultados correspondentes apresentam-se na Figura 5a. Para esta situação verifica-se que todos os provetes testados apresentam curvas de absorção similares, com baixa absorção nas baixas frequências, subindo depois acentuadamente na gama das médias frequências. Os picos máximos ocorrem cerca dos 630 Hz para os provetes b1 e c1, e dos 400 Hz para o provete a1. Nas frequências mais elevadas, todos eles evidenciam uma forte diminuição da absorção sonora.

Quando se utiliza a montagem do tipo 2 (identificada na Tabela 1), os resultados obtidos são os que apresentam na Figura 5b. Nesta montagem, em que apenas se recorre à presença de espuma nas ranhuras do painel (não introduzindo véu acústico nem lâ-de-rocha), registam-se curvas com um andamento um pouco diferente das anteriores, exibindo uma subida mais abrupta até ser atingido o pico de absorção, e um decaimento também mais pronunciado. De facto, este resultado era esperado, uma vez que o comportamento do painel se aproxima mais do de um ressoador puro dada a ausência do material absorvente na caixa-de-ar. Verifica-se, ainda, que o pico de absorção do painel a2 ocorre numa frequência um pouco mais baixa do que a dos restantes, mantendo-se o comportamento observado para a montagem 1.



a)



b)

Figura 5 – Resultados dos ensaios realizados em tubo de impedância para os diferentes tipos de provete: a) montagem do tipo 1; b) montagem do tipo 2.

Analisem-se, agora, as curvas de absorção avaliadas para um mesmo tipo de painel quando se faz variar o tipo de montagem. Para tal, tome-se como referência o provete b, para o qual se apresentam na Figura 6 as respectivas curvas de absorção. Neste caso, verifica-se uma clara distinção entre as curvas correspondentes às montagens 1 e 3 e à montagem 2, exibindo esta última uma absorção sonora mais baixa devido à ausência de absorção na caixa-de-ar. No que respeita à montagem 3, em que o véu acústico é substituído por espuma inserida nas ranhuras do painel, apresenta um comportamento muito próximo da montagem 1 (standard), indicando que o efeito da espuma e do véu são bastante semelhantes. Contudo, constata-se que a utilização da espuma proporcione um pico de absorção máximo ligeiramente superior e que este ocorre numa frequência um pouco mais baixa.

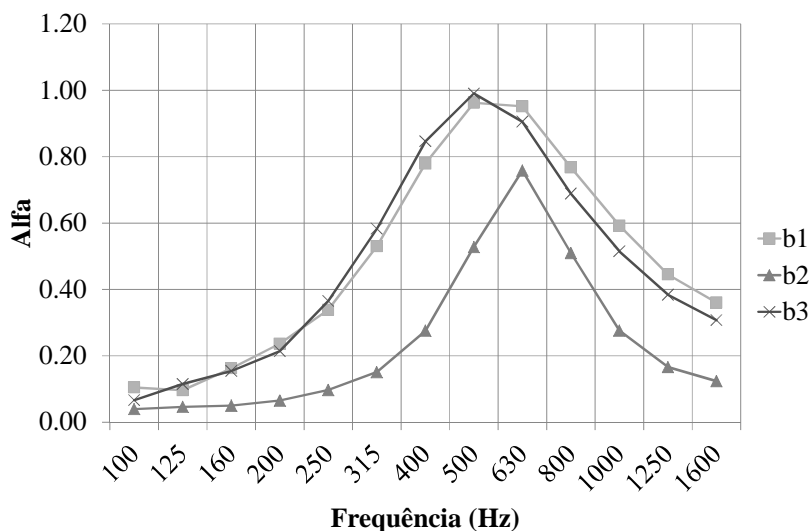


Figura 6 – Avaliação, em tubo de impedância, da influência do tipo de montagem usando o provete b.

#### 4.2 Comparação entre ensaios em tubo de impedância e em câmara reverberante

Numa segunda fase deste trabalho procedeu-se à análise das diferentes soluções recorrendo a amostras de grande dimensão e ao ensaio em câmara reverberante. Interessa, por isso, verificar em primeiro lugar quais as diferenças que se registam entre os resultados obtidos para provetes equivalentes recorrendo aos dois métodos de ensaio. Na Figura 7 apresentam-se as curvas de absorção obtidas para os provetes a-A (montagem 1) e b-B (montagem 2). De facto, verificam-se algumas diferenças relevantes entre as curvas obtidas pelos dois tipos de metodologia de ensaio, registando-se o pico de absorção tipicamente em frequências mais baixas quando o ensaio é realizado em campo difuso (câmara reverberante). Ainda assim, comparando a amostra A1 com a B2 e a amostra a1 com a b2, podem-se extrair conclusões similares, com a diminuição da absorção máxima e com a curva a apresentar uma evolução mais brusca quando não existe lâ-de-rocha na caixa-de-ar; em ambos os ensaios, para as amostras em que existe este material absorvente na caixa-de-ar a evolução apresenta-se mais suave e com maiores absorções em toda a gama de frequências.



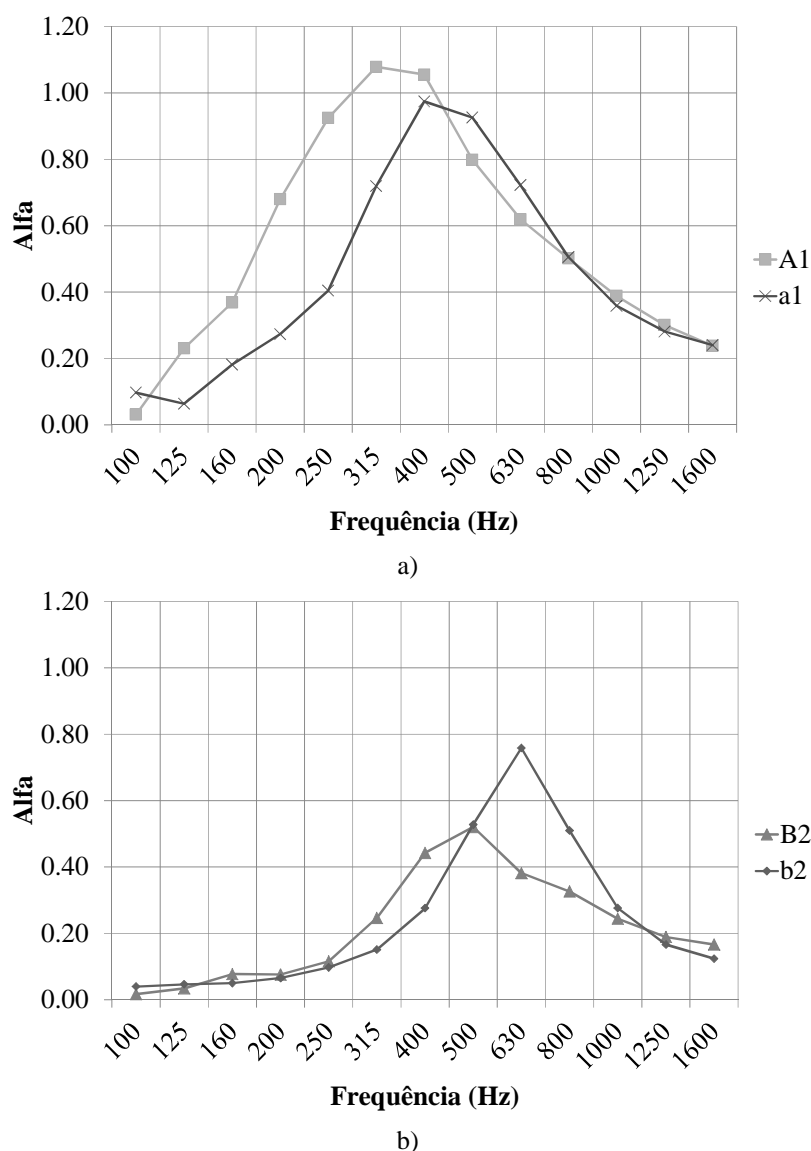


Figura 7 – Comparação entre resultados em câmara reverberante e em tubo de impedância: a) amostras a1-A1; b) amostras b2-B2.

#### 4.3 Ensaios em câmara reverberante

Comparem-se, agora, os resultados registados em câmara reverberante para os diferentes tipos de painéis quando se usa a montagem 1 (Figura 8a). Para esta situação, as maiores taxas de perfuração da face visível dos painéis C e D parecem condicionar o desempenho do sistema, proporcionando valores mais elevados da absorção sonora global. Comparando a absorção sonora dos painéis C e D, com a mesma taxa de perfuração frontal, verifica-se que as respectivas curvas apresentam andamentos muito semelhantes, exibindo picos de absorção em bandas de frequência coincidentes. Ainda assim, o painel D parece apresentar um desempenho superior nas frequências mais elevadas, provavelmente devido à geometria da sua furação. Na realidade, esta furação permite a existência de um caminho directo, aberto do exterior para o interior, permitindo a passagem das ondas sonoras sem obstáculos rígidos;

pelo contrário, no painel C este caminho não é directo, obrigando a reflexões em superfícies rígidas intermédias que podem estar na origem das diferentes absorções registadas. Os resultados observados para os painéis A e B parecem confirmar este comportamento. No entanto, para este último caso, esta diferença na geometria parece beneficiar ligeiramente a absorção máxima (aos 315 Hz). Na Figura 8b apresentam-se os resultados obtidos para a montagem 3, sem véu acústico e incorporando espumas nas ranhuras dos painéis. O comportamento observado é em tudo semelhante ao descrito para a montagem 1, registando-se, no entanto, uma diferença importante nas frequências elevadas. Nesta gama é possível observar um aumento da absorção sonora proporcionada por todos os painéis, possivelmente devido ao efeito da própria espuma introduzida nas ranhuras. Esta espuma, de célula aberta e com pequena espessura, introduz uma impedância acústica adicional que permite um ganho de absorção sonora. Devido às características do material introduzido (sobretudo a sua pequena espessura), este efeito apenas é visível nas altas frequências, mas permite um incremento (em relação à montagem 1) que pode ir de 25% a 50% na banda de frequência mais elevada (5000 Hz).

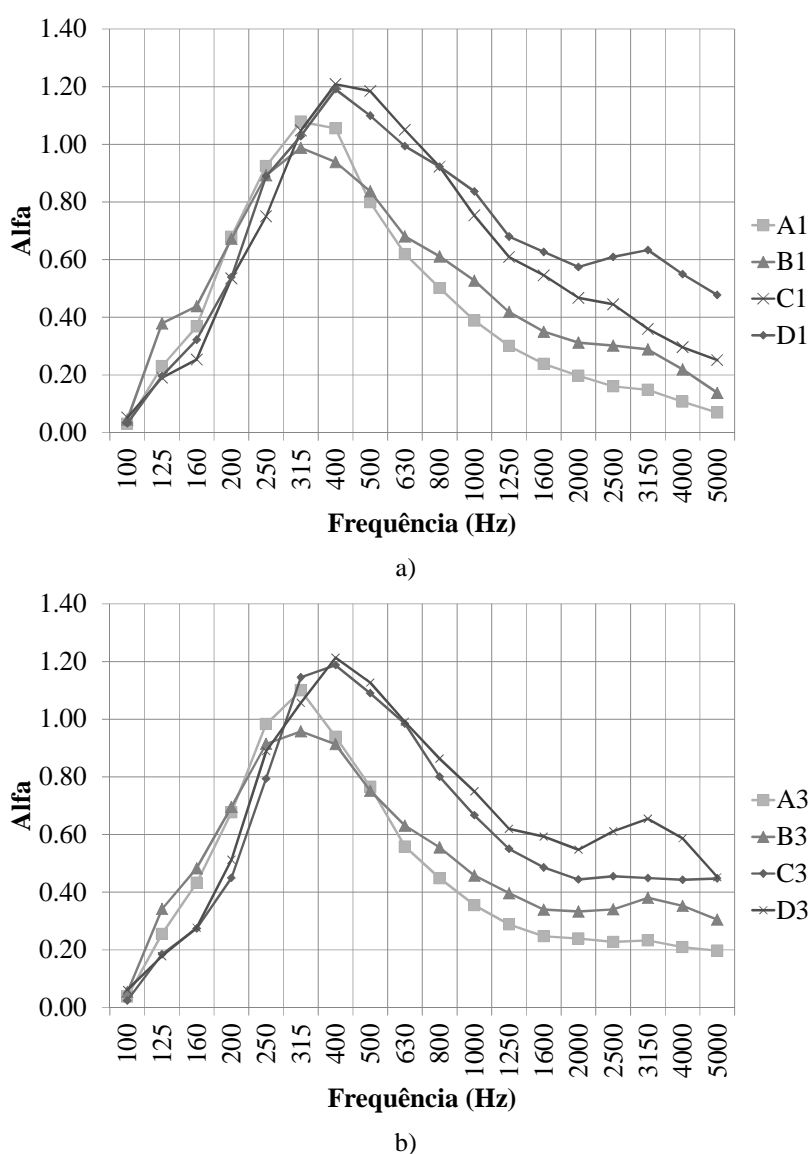


Figura 8 – Resultados dos ensaios realizados em câmara reverberante para os diferentes tipos de painel: a) montagem tipo 1; b) montagem tipo 3.

Por fim, e de forma a melhor visualizar alguns dos aspectos referidos, compare-se, agora, o desempenho de um mesmo tipo de painel considerando os diferentes tipo de montagem. Para esse efeito, na Figura 9 apresentam-se os resultados para o painel A. Nesta figura, torna-se claro o aumento de absorção registado nas frequências mais elevadas (acima dos 2000 Hz) por introdução das espumas sintéticas. De facto, mesmo considerando a montagem do tipo 2, sem lâ-de-rocha na caixa-de-ar, este aumento é claramente identificável, com a curva de absorção a assumir valores quase coincidentes com os da montagem 3 a partir dos 3150 Hz. Refira-se, ainda, que não possível observar este efeito quando se ensaiaram as amostras de pequena dimensão em tubo de impedância, uma vez que a banda de frequência máxima de análise se situou nos 1600 Hz. No que respeita às médias e baixas frequências, as diferenças de comportamento registadas seguem a mesma tendência observada para os ensaios em tubo de impedância (veja-se, por exemplo, a Figura 6).

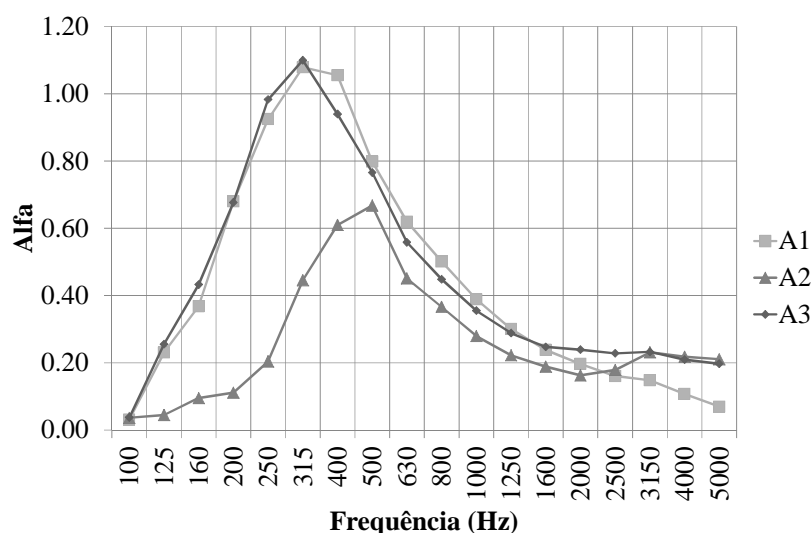


Figura 9 – Avaliação, em câmara reverberante, da influência do tipo de montagem usando o painel A.

## 5 Conclusões

No presente trabalho foi realizada uma análise de soluções de painéis ranhurados e perfurados com geometrias não convencionais. Pretendeu-se aqui abordar a possibilidade de estudar o seu comportamento recorrendo a amostras de pequena dimensão (método do tubo de impedância) e a amostras de grande dimensão (ensaios em câmara reverberante). A utilização dos dois métodos sobre amostras similares permitiu extrair algumas conclusões quanto à validade dos resultados obtidos, observando-se algumas diferenças de comportamento nomeadamente no que respeita à frequência em que ocorre o pico de absorção dos painéis. Ainda assim, foi possível verificar que, globalmente, os resultados registados em tubo de impedância fornecem indicações fiáveis sobre o desempenho qualitativo dos vários painéis.

Os resultados apresentados permitiram evidenciar uma elevada absorção sonora dos painéis testados nas médias frequências, observando-se um incremento de absorção máxima quando se usam painéis com maiores taxas de perfuração frontal. Os dois tipos de geometrias de furação estudadas permitiram ainda verificar que a existência de um caminho directo (sem obstáculos) para a energia sonora permite um ganho adicional de absorção sonora sobretudo nas altas frequências. Registou-se ainda que este

ganho pode ser maximizado através da introdução de espuma de poliuretano de célula aberta nas ranhuras do painel.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa “Castelhano & Ferreira, S.A.” e ao “ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção” o apoio disponibilizado para a realização deste trabalho. Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto “Optimização do desempenho acústico de sistemas construtivos em madeira e derivados para espaços fechados”, financiado no âmbito do QREN, I&DT empresas/Vale I&DT, com a referência 18740.

### Referências

- [1] Ingard, K.U.; Bolt, R.H. Absorption characteristics of acoustic material with perforated facings, *Journal of the Acoustical Society of America*, 23, 1951, 533-540.
- [2] Morse, P.M.; Bolt, R.H.; Brown, R.L. Acoustic Impedance and sound absorption, *Journal of the Acoustical Society of America*, 12(2), 1940, 217-227.
- [3] Bolt, R.H. On the design of perforated facings for acoustic materials, *Journal of the Acoustical Society of America*, 19, 1947, 917-921.
- [4] Ingard, K.U. On the theory and design of acoustic resonators, *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 1953, 1037-1062.
- [5] Crandall, I.B. *Theory of vibrating systems and sound*, Van Nostrand, New York, 1926.
- [6] Patraquim, R. *Painéis acústicos perfurados em madeira: Estudo e desenvolvimento experimental de soluções*, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Portugal, 2008.
- [7] NP EN ISO 354:2007, Acústica. Medição da absorção sonora em câmara reverberante (ISO 354:2003), IPQ.
- [8] EN ISO 10534-2:2001, Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method, ISO
- [9] ASTM E1050-10 Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System, ASTM.
- [10] Godinho, L.; Amado-Mendes, P.; Patraquim, R.; Jordão, A.C. Avaliação do comportamento acústico de painéis ressonantes incorporando telas acústicas. *Tecniacústica 2011*, Cáceres, Espanha, Actas em CD-Rom, 26-28 Outubro, 2011.
- [11] Toyoda, M.; Tanaka, M.; Takahashi, D. Reduction of acoustic radiation by perforated board and honeycomb layer systems, *Applied Acoustics*, 68(1), 2007, 71-85.
- [12] Sakagami, K.; Matsutani, K.; Morimoto, M. Sound absorption of a double-leaf micro-perforated panel with an air-back cavity and a rigid-back wall: Detailed analysis with a Helmholtz–Kirchhoff integral formulation, *Applied Acoustics*, 71(5), 2010, 411-417.
- [13] Castro, I.; Tadeu, A.; António, J.; Moreira, A.; Amado Mendes, P.; Godinho, L. Câmaras móveis ITeCons para a realização de ensaios acústicos: Parte II – Preparação e caracterização das câmaras horizontais, *Acústica 2008*, Coimbra, Portugal, Actas em CD-Rom, 20-22 Outubro, 2008.