45º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
8º CONGRESO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SMART CITIES AND ENVIRONMENTAL ACOUSTICS

DESEMPENHO ACÚSTICO DE PAINÉIS MICROPERFURADOS EM MDF – UM ESTUDO EXPERIMENTAL

PACS no. 43.55.Ev

PATRAQUIM, Ricardo[1]; GODINHO, Luís[2]; AMADO MENDES, Paulo[2]; NEVES, Ana[3]

[1] Castelhano & Ferreira S.A., Leiria, Portugal - patraquim@castelhano-ferreira.pt
[2] CICC, Dep. Eng. Civil Univ. de Coimbra, Portugal
Rua Luís Reis Santos, Pólo II da FCTUC, 3030-788 Coimbra, Portugal
Tel. +351-239797198
lgodinho@dec.uc.pt; pamendes@dec.uc.pt
[3] ITeCons, Universidade de Coimbra, Portugal
Rua Pedro Hispano, 3030-289 Coimbra, Portugal
Tel. +351 239 79 89 49
anaisab@itecons.uc.pt

ABSTRACT
In the present work, an experimental analysis of the behaviour of microperforated panels made of MDF is performed using the impedance tube method (ISO 10534-2). The main objective is to test the efficiency of such solutions with different perforation dimensions and spacings, and including air gaps with different sizes and characteristics. The experimental measurement results are also compared with theoretical models. Preliminary results indicate that the tested solutions can be quite effective and may allow defining visually interesting wall solutions with good acoustic absorption properties.

Keywords: Wooden microperforated panels. Sound absorption. Impedance tube method ISO 10534-2.

RESUMO
No presente trabalho é apresentada uma análise experimental do comportamento acústico de painéis microperfurados em MDF utilizando o método do tubo de impedância (conforme a norma ISO 10534-2). O principal objetivo é avaliar a eficiência de tais soluções em função da dimensão dos furos, do espaçamento entre eles, e a influência da dimensão da caixa-de-ar no tardoz dos painéis. Os dados experimentais são ainda comparados com alguns resultados de modelos teóricos. Os resultados preliminares indicam que as soluções testadas podem ser eficientes, possuindo boa absorção sonora e com um aspecto visual interessante.

Palavras-chave: Painéis de madeira microperfurados. Absorção sonora. Método tubo de impedância ISO 10534-2.

1. INTRODUÇÃO

De modo a controlar as reflexões no interior das salas e incrementar a absorção sonora das suas superfícies (tetos e paredes) é habitual revesti-las com painéis de madeira perfurados, deixando uma cavidade entre eles e a superfície de suporte, que pode ser, ou não, preenchida com material poroso. Nestes sistemas, o processo de absorção sonora consiste em provocar uma ressonância - a da massa de ar contida nos furos (gargalos) de uma cavidade ressoante -

tal como num ressoador de Helmholtz. Contudo, algumas vezes, o aspeto visual destas soluções não satisfaz os utilizadores dada a dimensão das perfurações. Deste modo, ao reduzirmos consideravelmente as dimensões das perfurações, estas tornam-se praticamente invisíveis quando observadas a uma certa distância. Quando as perfurações têm dimensão da ordem de grandeza da camada limite, submilimétricas, a dissipação de energia é essencialmente devida aos efeitos da viscosidade do ar, dispensando muitas vezes a utilização de material poroso no tardoz destes painéis, permitindo assim desenvolver soluções transparentes.

O conceito de painéis microperfurados como elemento absorsor sonoro foi explorado na década de setenta por Maa [1]. Os principais produtos desenvolvidos eram placas de pequena espessura, da ordem de 1mm, essencialmente metálicas ou acrílicas (transparentes ou semitransparentes), com perfurações de dimensão inferior a 1mm. Eram utilizados onde o recurso a materiais porosos ou fibrosos era desaconselhado. A principal vantagem de utilizar painéis microperfurados, para além da possibilidade de serem transparentes, é que eles podem apresentar absorção significativa nas baixas e médias frequências.

No presente trabalho, estuda-se a possibilidade de utilizar este conceito da microperfuração nos painéis de madeira cuja espessura já não é a típica encontrada nas soluções originais. É realizada uma análise experimental do comportamento dos painéis microperfurados de MDF. O principal objetivo é testar a eficiência de tais soluções com diferentes dimensões e espaçamentos de perfuração, e ainda avaliar a influência da dimensão da caixa-de-ar e o eventual preenchimento da mesma com lã de rocha. Os testes experimentais foram realizados em pequenas amostras, utilizando o método do tubo de impedância (ISO 10534-2). Os resultados das medições experimentais são ainda comparados com os de modelos teóricos disponíveis a partir da literatura.

2. MODELAÇÃO DA ABSORÇÃO SONORA EM PAINÉIS MICROPERFURADOS

O modelo adotado no presente trabalho baseia-se nas contribuições de Maa [2,3], incorporando ainda as correções propostas por Ingard [4] e Morse e Ingard [5]. Dada a impossibilidade de apresentar uma descrição detalhada deste modelo, apresenta-se apenas uma muito breve descrição do mesmo, remetendo-se o leitor para a bibliografia de referência para mais informações.

A modelação proposta por Maa [2] baseia-se na conversão da impedância acústica de um único furo num valor médio correspondente à área aberta do painel. Considera o painel microperfurado como um conjunto de tubos curtos, de comprimento idêntico à espessura do painel, e a parte não perfurada é feita de um material muito denso e rígido, e, portanto, perfeitamente refletor. Assume-se ainda que o comprimento de onda do som que se propaga é suficientemente grande quando comparado com a dimensão da secção transversal do tubo (i.e., furo). Este método inclui os termos devidos à viscosidade do ar, à radiação (de um orifício num plano) e aos efeitos da reactância da caixa-de-ar.

Estes sistemas acústicos são estudados utilizando o conceito de matriz de transferência, método que permite determinar a impedância acústica normal (ou superficial) de uma interface de um material, recorrendo à continuidade da velocidade da partícula (em ambos os lados da interface) e sabendo as propriedades acústicas do meio. Conhecendo a impedância acústica, pode determinar-se a absorção sonora para incidência normal. Para mais detalhes da modelação consultar [6].

3. METODOLOGIA DE ENSAIO

A determinação experimental do coeficiente de absorção sonora em amostras de dimensão reduzida foi efetuada recorrendo ao método do tubo de impedância, de acordo com a norma ISO 10534-2 [7], e com a norma americana ASTM E 1050 [8].

Este método consiste na emissão de um ruído de intensidade média constante ao longo do espectro de frequências, designado por ruído branco, em ondas planas, com o auxílio de um amplificador e de um altifalante. Quando as ondas sonoras incidem na amostra dão-se variações de pressão provocadas pela transformação de alguma da energia sonora incidente em energia mecânica, o que diminui a pressão sonora refletida. Estas variações de pressão são registadas por dois microfones que se encontram em posições predefinidas. Os sinais dos microfones são processados por um analisador digital e, depois de tratados, obtêm-se os valores da absorção sonora em função da frequência do som.

O tubo de impedância usado foi do tipo 4206 (Figura 1), da marca Brüel & Kjaer, complementado por um amplificador do tipo 2716C (Brüel & Kjaer), tendo-se recorrido ao método dos dois microfones para a avaliação da absorção sonora das amostras. Para a aquisição de sinal, foi utilizado um sistema de aquisição multianalisador Pulse, modelo 3560-C (Brüel & Kjaer).

Todo o procedimento de ensaio seguido neste trabalho encontra-se descrito, com maior detalhe, em Godinho et al [9].

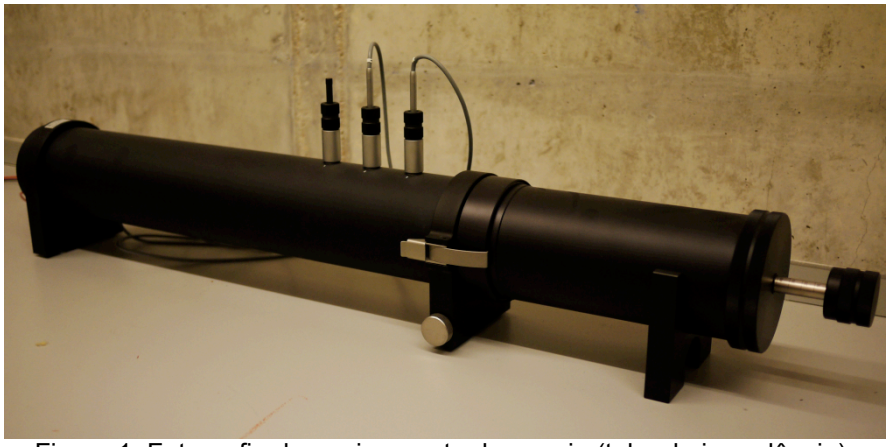


Figura 1: Fotografia do equipamento de ensaio (tubo de impedância).

4. DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS TESTADAS

Foi ensaiado, neste trabalho, um grande número de amostras perfuradas com configurações distintas (ver Tabela 1). Os provetes testados consistiam em “discos” com 100mm de diâmetro e 19mm de espessura (Figura 2). No tardoz eram executados furos cegos com uma profundidade de 17mm, ficando deste modo 2mm por perfurar (Figura 2b) – a taxa de perfuração destes furos cegos é de 65%. Na face frontal (a exposta ao som incidente) são executadas microperfurações (Figura 2a), com diâmetros e espaçamentos entre furos (entre eixos) conforme apresentados na Tabela 1.

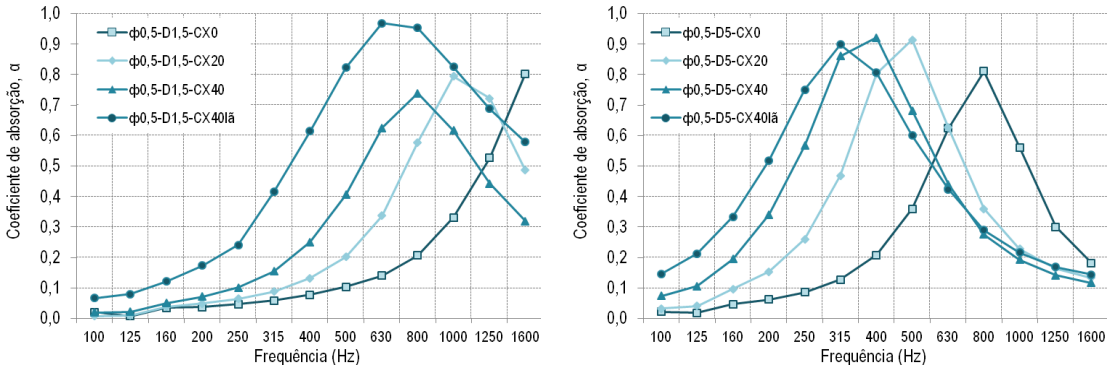
De acordo com a Tabela 1, para cada um dos provetes foram realizados 4 ensaios com caixas-de-ar com características diferentes. Primeiro, com o provete encostado ao êmbolo do tubo de impedância, sem nenhuma caixa-de-ar no tardoz do provete. De seguida, testou-se com 20mm e depois 40mm. A acrescer a estas dimensões há que adicionar 17mm de ar devido aos furos cegos executados no tardoz. Para o último ensaio preencheu-se a caixa-de-ar com 40mm com lã de rocha.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Analise-se, em primeiro lugar, a variação do coeficiente de absorção do sistema quando se considera um determinado tipo de painel, mas com diferentes configurações de caixa-de-ar. Na Figura 3 apresentam-se os resultados obtidos com um provete com furos de 0,5mm de diâmetro, para as 4 caixas-de-ar consideradas – para a Figura 3a o afastamento é 1,5mm (perfuração de 8,5%) e para a Figura 3b o afastamento é de 5mm (perfuração 0,7%). Constata-se, pela observação dos referidos gráficos, que a frequência de ressonância diminui com o aumento da dimensão da caixa-de-ar. Verifica-se, ainda, que o preenchimento da caixa-de-ar com lã de rocha também faz reduzir a frequência de ressonância. Por outro lado, o efeito da lã de rocha (aumento do valor da absorção sonora máximo e da largura de banda frequências) é mais evidente para o provete com maior taxa de perfuração. Deve referir-se que estas observações também se verificaram para os restantes provetes, mas por uma questão de espaço não é possível apresentar os respetivos resultados.

a) b)

Figura 2: Provetes testados – a) face frontal microperfurada; b) tardoz com furos cegos.



a) b)

Figura 3: Influência do espaçamento entre furos, no provete com furos de 0,5mm de diâmetro a) D=1,5mm; b) D=5mm.

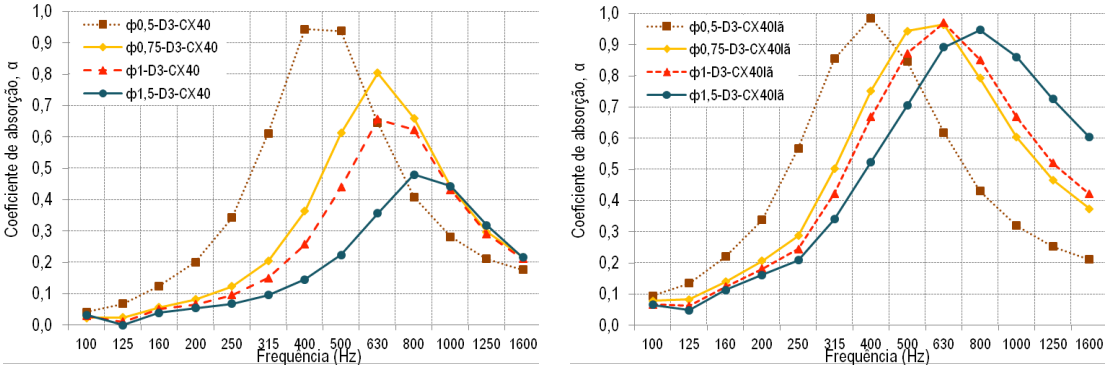
Ao analisar a influência da taxa de perfuração na absorção sonora, (Figuras 4 e 5, respetivamente espaçamento entre furos constante e diâmetro variável e diâmetro constante e espaçamento entre furos variável), verifica-se que, quanto menor ela for menor é a frequência de ressonância (Figuras 4a e 5a). Observa-se ainda que, se a caixa-de-ar estiver vazia, a absorção sonora máxima aumenta inversamente com a taxa de perfuração (Figuras 4a e 5a). Porém, se a caixa-de-ar estiver preenchida com lã de rocha, a absorção máxima já não diminui (significativamente) com o aumento da taxa de perfuração (Figuras 4b e 5b).

Tabela 1: Características dos provetes e ensaios realizados

Nº do provete	Diâmetro dos furos (mm)	Distância entre furos (mm)	% Área aberta	caixa-de-ar (mm)
1	0,5	1,5	8,47%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
2		2,5	3,02%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
3		3	2,11%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
4		5	0,73%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
5	0,75	2	10,65%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
6		2,5	6,80%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
7		3	4,75%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
8		5	1,65%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
9	1	2	18,93%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
10		2,5	12,01%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
11		3	8,45%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
12		5	2,93%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
13	1,5	3	19,01%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
14		4	10,82%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
15		5	6,59%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha

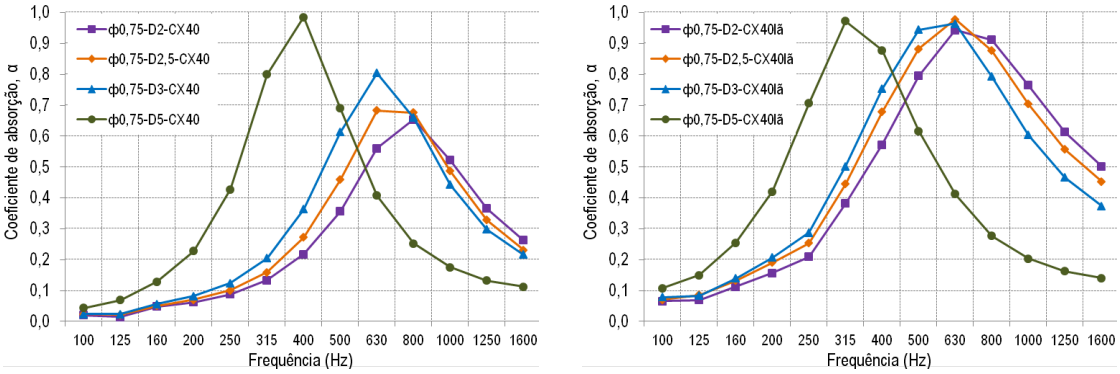
Nº do provete	Diâmetro dos furos (mm)	Distância entre furos (mm)	% Área aberta	caixa-de-ar (mm)
9	1	2	18,93%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
10		2,5	12,01%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
11		3	8,45%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
12		5	2,93%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
13	1,5	3	19,01%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
14		4	10,82%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha
15		5	6,59%	0
				20
				40
				40 + Lã rocha

Comparando dois provetes com a mesma taxa de perfuração (8,5%), Figura 6, verifica-se que o provete com furos de diâmetro menor tem uma frequência de ressonância maior, bem como uma absorção sonora máxima ligeiramente superior. Verifica-se, ainda, que a largura de banda em que a absorção sonora é superior a 0,5 também é superior no caso do provete com menor diâmetro.



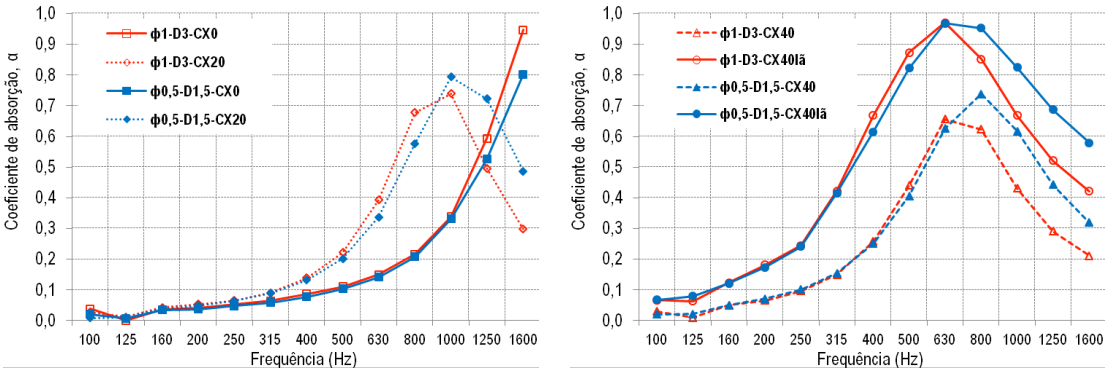
a) b)

Figura 4: Influência da taxa de perfuração com espaçamento fixo de 3mm entre furos e caixa-de-ar de 40mm – a) vazia; b) com lã de rocha.



a) b)

Figura 5: Influência da taxa de perfuração com diâmetro dos furos fixo (0,75mm) e caixa-de-ar de 40mm – a) vazia; b) com lã de rocha.

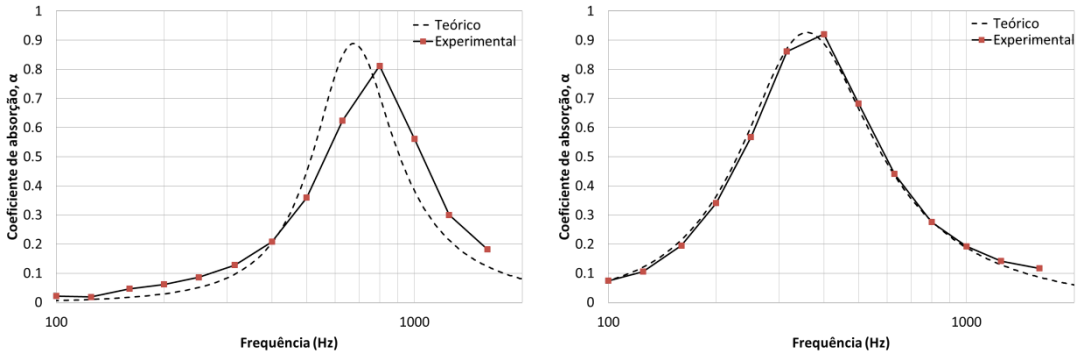


a) b)

Figura 6: Comparação de provetes com a mesma taxa de perfuração (8,5%) – a) caixa-de-ar com 0mm e 20mm; b) caixa-de-ar de 40mm (com e sem lã de rocha).

6. COMPARAÇÃO COM O MODELO TEÓRICO

De forma a tentar avaliar a possibilidade de simular o comportamento dos painéis microperfurados aqui estudados, através de um modelo teórico, recorreu-se a uma implementação do modelo descrito na secção 2 em *Matlab*. Na Figura 7, ilustram-se dois exemplos dos resultados obtidos, correspondentes ao provete com a referência "4" (veja-se a Tabela 1), testadas sem caixa-de-ar adicional e com uma caixa-de-ar adicional de 40mm. Estes provetes apresentam um diâmetro dos furos de 0.5mm, e um espaçamento entre estes de 5mm. Dada a configuração dos provetes, para efeitos de simulação teórica, a dimensão total considerada para a caixa-de-ar foi, respetivamente, de 17mm e de 57mm. Estes valores resultam do facto de, na realidade, o provete apresentar, na zona dos furos cegos do tardoz, uma espessura real da ordem dos 2mm, sendo os restantes 17mm da espessura total do MDF retirados nessa zona; por essa razão, a caixa-de-ar real formada no tardoz destes provetes deverá contabilizar também a espessura retirada pelos furos cegos. Nas Figuras 7a e 7b apresentam-se os resultados experimentais e teóricos obtidos para essas duas situações.



a) b)

Figura 7: Comparação entre resultados teóricos e experimentais para o provete 4: a) sem caixa-de-ar; b) com caixa-de-ar de 40 mm.

A observação das figuras apresentadas permite verificar que existe uma boa concordância entre os resultados experimentais e as previsões teóricas, apesar de ocorrerem alguns desvios quando se considera o provete sem caixa-de-ar. De facto, a configuração do tardoz do provete pode introduzir algumas alterações na frequência de ressonância do elemento analisado, fazendo esta frequência deslocar-se para a direita. Para esse caso, uma possível interpretação pode ser a de que a taxa de perfuração da zona em que o MDF foi vazado seja um pouco superior à taxa global do provete, o que originaria um aumento da frequência de ressonância. Da mesma forma, pelo facto de alguns dos furos existentes na superfície não atingirem efetivamente a zona vazada, a eficiência global do provete é um pouco inferior à prevista por modelação. Para o caso em que se adota uma caixa-de-ar adicional de 40mm, estas discrepâncias parecem esbater-se, e a previsão do modelo aproxima-se de forma quase perfeita da medição experimental.

7. CONCLUSÕES

As soluções microperfuradas estudadas apresentam, como esperado, uma boa absorção sonora nas baixas/médias frequências.
Uma vez que se pretende utilizar soluções de revestimento acústico opaco, a utilização de lã de rocha no interior da caixa-de-ar melhora significativamente a absorção sonora do sistema, principalmente em painéis com maiores taxas de perfuração.

Verifica-se que, para a mesma taxa de perfuração, os provetes com furos de menor diâmetro têm mais absorção sonora. Contudo, refira-se, são mais onerosos de produzir. Deve-se realizar um estudo onde se analise cuidadosamente a relação custo-benefício desta solução.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa "Castelhano & Ferreira, S.A.", ao "ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção" e à "Hejemara-Comércio e Serviço de Equipamentos Industriais, S.A" o apoio disponibilizado para a realização deste trabalho. Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto "Desenvolvimento de Dispositivos de Controlo da Privacidade da Palavra em Ambientes Corporativos", financiado no âmbito do QREN /Vale Inovação, com a referência 23331.

REFERÊNCIAS

[1] D.-Y. MAA, "Theory and design of microperforated panel sound absorbing constructions", Sci Sin XVIII, 55-71 (1975).
[2] D.-Y. MAA, "Potencial of microperforated panel absorber", J.A.S.A., 104, 2861-2866 (1998).
[3] Lord Rayleigh, "Theory of Sound", MacMillan, London (1894).
[4] Ingard, K.U., "On the theory and design of acoustic resonators", J.A.S.A., 25 (1953), 1037-1062.
[5] Morse, P., Ingard, K.U., "Theoretical Acoustics", Princeton University Press, 1986.
[6] Patraquim, R. "Painéis acústicos perfurados em madeira: Estudo e desenvolvimento experimental de soluções", Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Portugal, 2008.
[7] EN ISO 10534-2:2001, Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method, ISO.
[8] 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.
[9] 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.