

## CÂMARAS MÓVEIS *ITeCons* PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS ACÚSTICOS: PARTE III – PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CÂMARAS VERTICAIS

Anabela Moreira<sup>1</sup>, António Tadeu<sup>2</sup>, Julieta António<sup>2</sup>, Igor Castro<sup>2</sup>, Paulo Amado Mendes<sup>2</sup>, Luís Godinho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DEC - Instituto Politécnico de Tomar

anamoreira@ipt.pt

<sup>2</sup> CICC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra

{tadeu,julieta,pamendes,lgodinho}@dec.uc.pt; igorasc@itecons.uc.pt

### Resumo

Neste artigo apresentam-se os trabalhos realizados para a preparação de câmaras reverberantes verticais, do *ITeCons*, destinadas à realização de ensaios de isolamento a sons aéreos e a sons de percussão de pavimentos. A verificação dos requisitos necessários foi elaborada a partir da normalização aplicável em vigor.

Definiram-se e instalaram-se elementos difusores e de absorção que permitiram adequar os tempos de reverberação nas baixas frequências para a realização do ensaio de isolamento a sons aéreos e a sons de percussão de pavimentos. Foi ensaiada uma solução representativa de pavimento (pavimento tipo C) para determinação do valor de  $R'_{\max}$ .

Caracterizou-se a laje de referência deste laboratório a ser usada na determinação da atenuação a sons de percussão conferida por revestimentos de pavimentos.

**Palavras-chave:** câmaras verticais *ITeCons*, pavimentos, isolamento a sons aéreos e de percussão, factor de perda total.

### Abstract

In this paper we present the acoustic conditioning of the vertical acoustic chambers of *ITeCons*, which allow to perform normalized sound insulation tests both for impact and airborne noise. The background for this acoustic conditioning is provided by international standards.

Sound diffusers were designed and installed within the acoustic chambers in order to enforce that the reverberation times at lower frequencies are adequate for performing impact and airborne sound insulation tests. To determine the upper testing limit of the chambers, a representative slab solution (slab C) was analyzed, determining the corresponding value for  $R'_{\max}$ .

The *ITeCons* reference slab was characterized in what concerns the normalized impact sound insulation index, so it may be used in the testing of floor coating solutions.

**Keywords:** *ITeCons* vertical acoustic chambers, floors, loss factor, sound insulation.

## 1 Introdução

A caracterização do isolamento a sons aéreos e de percussão de elementos de construção horizontais (como pavimentos) pode ser realizada em laboratório recorrendo a procedimentos de ensaio normalizados, descritos em normas internacionais actualmente existentes (NP EN ISO 140-1 [1], NP EN 20140-3 [2], NP EN ISO 140-6 [3], NP EN ISO 140-8 [4]). A realização destes ensaios requer a utilização de instalações de ensaio adequadas, e que devem, elas próprias, obedecer a um conjunto de características e exigências normativas, descritas na norma NP EN ISO 140-1 [3], e complementadas com indicações constantes das normas de ensaio NP EN 20140-3 [5] e NP EN ISO 140-6 [4].

De acordo com o estabelecido na norma NP EN ISO 140-1 [1], estas câmaras devem cumprir um conjunto de requisitos, nomeadamente no que respeita à sua dimensão, ao tempo de reverberação que devem apresentar, ao ruído de fundo admissível, à importância das transmissões marginais e ao factor de perdas admissível para a estrutura envolvente ao provete.

No que respeita às suas dimensões, esta norma refere que o volume das duas câmaras não deve ser igual, recomendando que a diferença entre os volumes e/ou dimensões das câmaras contíguas seja pelo menos 10%. Refere ainda a necessidade de se garantir um volume superior a 50 m<sup>3</sup>, para que a influência dos modos próprios do interior desses espaços se situe em frequências baixas, não afectando de forma determinante os resultados de ensaios. Além destas exigências, a norma impõe a necessidade de instalação de difusores no interior das câmaras de ensaio sempre que se verifiquem grandes variações espaciais dos níveis de pressão. Com estes difusores, pretende-se quebrar o efeito de campos estacionários que possam ocorrer no interior de uma câmara, e que podem ter a sua origem, por exemplo, nos modos próprios do espaço interior da câmara de ensaio. Ainda a este respeito, a NP EN ISO 140-1 [1] exige também que se controlem os tempos de reverberação ( $T_r$ ) nas baixas frequências.

Do ponto de vista do ruído de fundo na câmara receptora, a NP EN ISO 140-1 [1] indica que este deve ser suficientemente baixo, de forma a possibilitar a quantificação do ruído proveniente da câmara emissora, tendo em consideração a potência da fonte sonora e o isolamento dos provetes, evitando, assim, a contaminação dos resultados por outros ruídos exteriores ou de instalações técnicas da própria câmara. Note-se que, nos casos em que a diferença entre o ruído registado durante o ensaio e o ruído de fundo é inferior a 15 dB, a norma NP EN 20140-3 [2] obriga a que seja feita uma correcção ao nível sonoro registado, para ter em conta este facto.

Um aspecto importante no ensaio de isolamento em laboratório de elementos de construção, sejam eles verticais ou horizontais, é o controlo das transmissões marginais, aspecto esse que se encontra também referido especificamente na NP EN ISO 140-1 [1]. De facto, de acordo com esta norma, estas transmissões não devem influenciar os resultados dos ensaios, ou seja, o ruído transmitido de forma indirecta deve ser desprezável quando comparado com o ruído transmitido através do provete de ensaio. De acordo com a mesma norma, é possível definir um limite a partir do qual a influência destas transmissões marginais se torna significativa, limite esse que depende do tipo de solução que se pretende analisar. Desta forma, é exigida a caracterização do comportamento destas câmaras para um conjunto de pavimentos considerados representativos dos principais tipos de soluções construtivas usadas em obra. Estes pavimentos, referidos na norma, são: um pavimento leve (ou do tipo A), com uma estrutura interior em madeira e com painéis leves, um pavimento aligeirado em alvenaria (ou do tipo B) com um tecto falso suspenso inferiormente, e um pavimento pesado em betão armado (ou do tipo C), com cerca de 140 mm de espessura e reforçado por placas de gesso cartonado e por material absorvente. Para estas soluções, é realizado o ensaio de isolamento a sons aéreos, determinando-se o limite máximo da redução sonora que pode ser avaliada nas instalações de ensaio para cada frequência sem que ocorram transmissões marginais importantes. Este limite é, de acordo com a NP EN 20140-3

[2], dado por  $(R'-15)$  dB, sendo  $R'$  o valor avaliado no ensaio de isolamento a sons aéreos em cada banda de frequência e para cada tipo de solução.

Recentemente, o Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, *ITeCons*, procedeu à construção de uma instalação laboratorial deste tipo, recorrendo a duas câmaras acústicas sobrepostas, sendo a câmara superior móvel, realizada em “*Viroc*”, placas de aparas de madeira aglomeradas com cimento, e a inferior fixa, em betão armado. Estas câmaras encontram-se descritas na parte I deste artigo e podem observa-se na Figura 1.

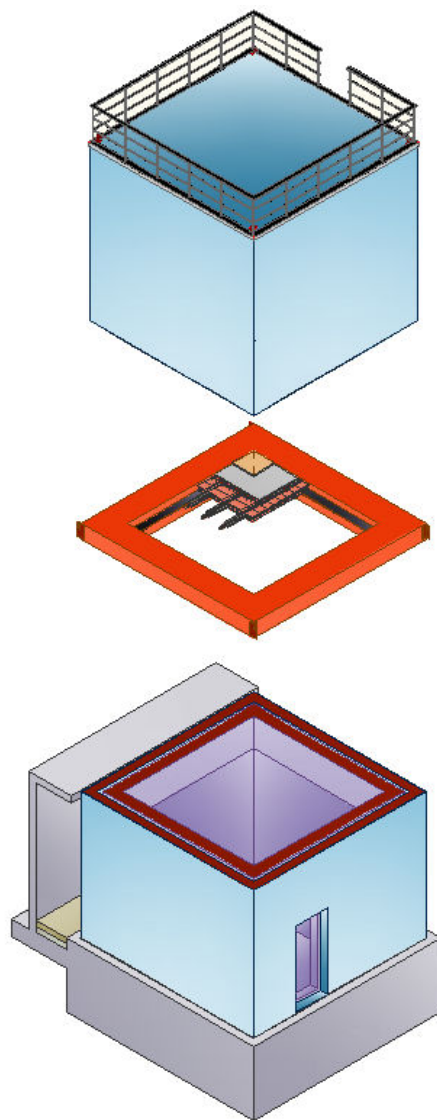


Figura 1 – Esquema geral do sistema das câmaras móveis verticais.

Neste artigo apresentam-se os trabalhos realizados para a preparação destas câmaras acústicas, destinadas à realização de ensaios de isolamento sonoro em pavimentos, descrevendo o processo de condicionamento destas câmaras e de adequação do seu comportamento aos requisitos impostos pela normalização em vigor.

## 2 Preparação e caracterização das câmaras verticais

As câmaras acústicas do *ITeCons*, para determinação do isolamento a sons aéreos e a sons de percussão de pavimentos, são duas câmaras verticais sobrepostas que comunicam entre si através de uma abertura de 10 m<sup>2</sup> onde é inserido o provete de ensaio. A câmara emissora é móvel, sendo deslocada com recurso a uma ponte rolante.

### 2.1 Tempos de reverberação

A norma NP EN ISO 140-1 [1] estabelece exigências relativas à dimensão da abertura, a tempos de reverberação nas baixas frequências e às dimensões das câmaras emissora e receptora para o ensaio de isolamento a sons aéreos, e da câmara receptora para o ensaio de isolamento a sons de percussão. Para que o isolamento sonoro, a sons aéreos e a sons de percussão, não dependa do tempo de reverberação devem garantir-se, nas baixas frequências, tempos de reverberação, na câmara emissora (sons aéreos) e receptora (sons aéreos e sons de percussão), dentro dos limites calculados de acordo com a expressão:

$$1 \leq T_r \leq 2 \left( \frac{V}{50} \right)^{2/3} \quad (1)$$

em que  $T_r$  corresponde ao tempo de reverberação, em s, e  $V$  ao volume da câmara, medido em m<sup>3</sup>.

A câmara fixa cujo volume é de 75.27 m<sup>3</sup> deve apresentar tempos de reverberação, nas baixas frequências, no intervalo 1.00 s ≤  $T_r$  ≤ 2.63 s, enquanto que a câmara móvel, com o volume de 52.87 m<sup>3</sup>, deve exibir tempos de reverberação, nas baixas frequências, no domínio definido por 1.00 s ≤  $T_r$  ≤ 2.08 s.

Para garantir estes  $T_r$  e ao mesmo tempo um campo difuso, aplicaram-se painéis em ambas as câmaras e caixas de ressonância que contribuíram para a diminuição dos tempos de reverberação nas baixas frequências (Figura 2).

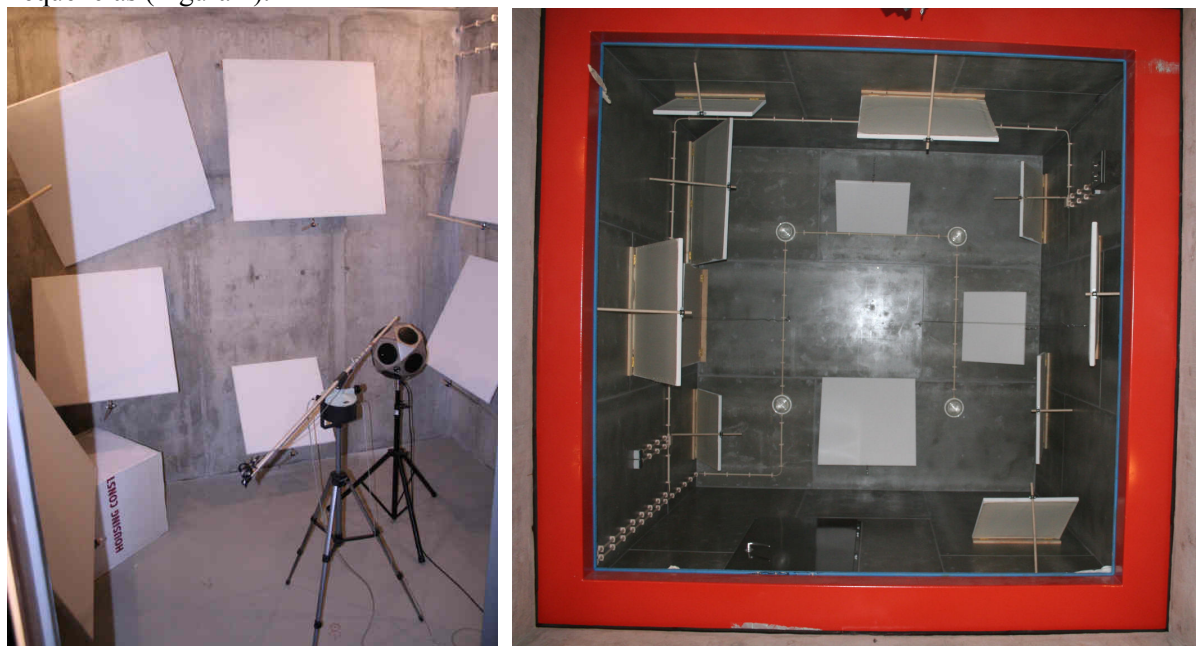


Figura 2 – Câmaras verticais após a colocação dos difusores e elementos de absorção: a) câmara receptora; b) vista inferior da câmara emissora.

Os painéis têm dimensões de  $1.25 \times 1.25 \text{ m}^2$ ,  $1.00 \times 1.00 \text{ m}^2$  e  $0.75 \times 0.75 \text{ m}^2$  e foram posicionados com diferentes inclinações relativamente às paredes das câmaras. Alguns desses painéis contêm no seu interior lã mineral. Os vários painéis foram sendo colocados e recolocados de forma sequencial de modo a garantir condições de difusibilidade e  $T_r$  adequados.

As medições dos níveis sonoros e dos  $T_r$  foram efectuados após a colocação na abertura entre as duas câmaras do provete constituído por uma laje de betão armado com 14 cm de espessura e foram medidos os  $T_r$  de acordo com a norma NP EN ISO 354 [5]. Foram usadas 3 posições do microfone, 1 posição de fonte e foram medidos 2 decaimentos por posição de microfone, resultando num total de 6 decaimentos, em cada banda de frequência de terço de oitava. Os tempos de reverberação finais médios, obtidos para a câmara receptora e emissora constam da Tabela 1.

Tabela 1 – Tempos de reverberação finais médios na câmara receptora e emissora após a colocação dos painéis, quando o provete é constituído pela laje de betão armado, de 14 cm de espessura, colocado na separação entre as câmaras.

Frequência (Hz)	Tempo de Reverberação (s)			
	Câmara receptora		Câmara emissora	
	Antes da correcção	Depois da correcção	Antes da correcção	Depois da correcção
100	15.15	2.54	4.42	1.61
125	18.31	2.29	4.06	1.88
160	16.59	1.84	3.72	2.02
200	12.71	1.69	4.97	1.91
250	12.47	1.55	3.86	1.30
315	10.72	1.24	3.90	1.40
400	8.80	1.12	3.03	1.14
500	8.17	0.98	2.40	0.94
630	6.49	1.01	2.56	0.94
800	5.76	1.03	2.93	0.93
1000	5.19	1.08	3.13	1.04
1250	4.70	1.18	3.00	0.98
1600	4.24	1.14	2.49	0.91
2000	3.69	1.10	2.26	0.82
2500	3.26	1.08	2.05	0.78
3150	2.70	1.07	2.05	0.78
4000	2.25	1.00	1.93	0.80
5000	1.94	0.92	1.80	0.77

## 2.2 Valor máximo do índice de redução sonora $R'_{\max}$

O índice de redução sonora máximo de pavimentos que pode ser medido em laboratório, sem que seja afectado por transmissões marginais, depende do tipo de elemento a ser ensaiado. Para evitar a avaliação da contribuição das transmissões marginais, a norma NP EN ISO 140-1 [1] sugere que se avalie o valor de  $R'_{\max}$  para um conjunto de soluções representativas, indicando para os pavimentos, uma solução de pavimento leve (ou do tipo A), pavimento leve em alvenaria (ou do tipo B) e pavimento pesado em betão (ou do tipo C).

Neste trabalho, apenas foi ensaiado o pavimento do tipo C. Trata-se de um pavimento pesado de betão armado, constituído por uma laje de 14 cm de espessura sobre o qual se colocou um revestimento executado por duas placas de gesso cartonado de 12.5 mm de espessura, com juntas desencontradas e convenientemente barradas, com bandas de papel e massa de acabamento, e calafetadas, com bandas acústicas no perímetro da câmara, em ambas as camadas. Por sua vez, estas foram assentes sobre uma camada de lâ de rocha com 80 mm de espessura (Figura 3).

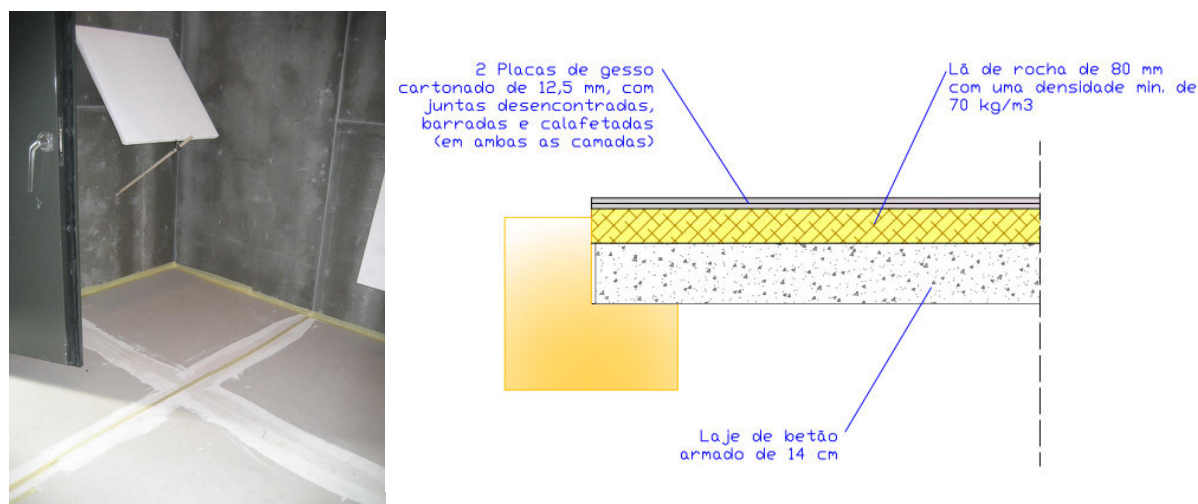


Figura 3 – Pavimento pesado tipo C nas câmaras acústicas verticais.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados obtidos, em bandas de terço de oitava, do isolamento sonoro a sons aéreos normalizado, o que determina um índice  $R_w$  igual a 72 dB.

Tabela 2 – Isolamento sonoro a sons aéreos normalizado.

Frequência (Hz)	R (dB)
100	55.7
125	52.8
160	56.8
200	64.5
250	68.9
315	69.1
400	74.1
500	74.9
630	73.3
800	71.7
1000	71.2
1250	72.0
1600	72.3
2000	72.7
2500	72.3
3150	73.7
4000	73.6
5000	66.7

### 3 Caracterização da laje de betão armado de 14 cm de espessura do ITeCons

A determinação da atenuação a sons de percussão conferida por revestimentos de pavimentos é efectuada de acordo com a norma NP EN ISO 140-8 [4]. O pavimento sobre o qual deverão ser instalados os revestimentos de piso em ensaio deve ser de betão armado homogéneo com uma espessura de preferência de 140 mm. Neste laboratório construiu-se uma laje maciça de betão armado de 14 cm de espessura que servirá como pavimento sobre o qual serão instalados os revestimentos a ensaiar. Esta laje foi caracterizada relativamente ao seu desempenho no isolamento a sons aéreos e a sons de percussão. Foi medido também o factor de perdas deste pavimento.

#### 3.1 Isolamento a sons aéreos

O ensaio de isolamento a sons aéreos foi efectuado de acordo com a norma NP EN 20140-3 [2]. Neste ensaio usou-se um microfone móvel com 1m de raio de varrimento, que se movimenta num plano com cerca de 10° de inclinação e com período de rotação igual a 32 s. Consideraram-se 2 posições de fonte e uma posição de microfone móvel, respeitando os afastamentos aos difusores, às paredes das câmaras e entre si indicados na referida norma.

A medição dos tempos de reverberação seguiu os procedimentos da norma NP EN ISO 354 [5]. Foram quantificados 6 decaimentos, em cada banda de frequência, para 1 posição de fonte e 3 posições de microfone.

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados obtidos, em bandas de terço de oitava, do isolamento sonoro a sons aéreos que determinam a existência de um índice,  $R_w$ , de 49 dB.

Tabela 3 – Isolamento sonoro a sons aéreos da laje de betão armado de 14 cm de espessura do ITeCons.

Frequência, Hz	R (dB)
100	40.7
125	34.5
160	32.6
200	36.5
250	38.4
315	40.1
400	43.2
500	42.6
630	47.6
800	48.5
1000	50.8
1250	55.4
1600	57.0
2000	59.4
2500	61.2
3150	63.5
4000	65.7
5000	66.0

### 3.2 Isolamento a sons de percussão

O ensaio de isolamento a sons de percussão foi realizado de acordo com os procedimentos descritos na norma NP EN ISO 140-6 [3]. Neste ensaio usou-se igualmente um microfone móvel nas condições acima descritas. Foram realizadas medições para 4 posições de fonte. No posicionamento do microfone e da fonte foram garantidas as seguintes distâncias mínimas indicadas na norma: 70 cm entre qualquer posição de microfone e as paredes da câmara e os difusores e 100 cm entre posição do microfone e a fonte.

O tempo de reverberação foi medido de acordo com os procedimentos indicados na norma NP EN ISO 354 [5]. Foram medidos 6 decaimentos, em cada banda de frequência de terço de oitava, para uma posição de fonte e 3 posições de microfone.

Na Tabela 4 apresenta-se o nível sonoro de percussão normalizado, em bandas de terços de oitava, cujo valor de  $L_{n,w}$  é 83 dB.

Tabela 4 – Isolamento sonoro a sons de percussão da laje de betão armado de 14 cm de espessura do *ITeCons*.

Frequência (Hz)	$L_n$ (dB)
100	52.5
125	62.7
160	72.3
200	68.1
250	73.0
315	76.2
400	74.7
500	74.7
630	75.5
800	77.5
1000	76.8
1250	76.2
1600	76.7
2000	77.2
2500	76.8
3150	76.3
4000	74.9
5000	71.7

### 3.3 Factor de perdas

A norma NP EN ISO 140-6 [3] refere também que o isolamento sonoro a sons de percussão de pavimentos pesados depende da sua ligação à estrutura circundante. Esta norma recomenda a medição do factor de perdas para descrever correctamente a instalação de ensaio. No anexo D do mesmo documento normativo descreve-se o respectivo procedimento. Para o provete em estudo, e dado tratar-se de um pavimento pesado, caracterizou-se o factor de perdas.

O factor de perdas total,  $\eta_{total}$ , inclui as fracções de energia dissipada devidas a perdas internas, perdas nas fronteiras e perdas por radiação. De acordo com o anexo D da NP EN ISO 140-6 [3], o factor de perdas total,  $\eta_{total}$ , deve ser determinado a partir da seguinte expressão:



$$\eta_{total} = \frac{2,2}{f \cdot T_r} \quad (2)$$

sendo  $f$  a frequência (Hz).

A norma NP EN ISO 140-1 [1], relativa aos requisitos a satisfazer em câmaras acústicas para a realização de ensaios de isolamento sonoro, refere que em estruturas pesadas, nomeadamente paredes de massa  $m \geq 150 \text{ kg/m}^2$ , é necessário garantir que o factor de perdas não é superior ao valor calculado através da expressão (3) (ver parte II deste artigo):

$$\eta_{min} = 0.01 + \frac{0.03}{\sqrt{f}} \quad (3)$$

No entanto, e no que se refere especificamente a pavimentos, a mesma norma não impõe qualquer limite mínimo para o valor do factor de perdas.

No caso do cálculo do factor de perdas total, o tempo de reverberação é determinado medindo o decaimento da vibração do pavimento sujeito a uma excitação de impacto. A norma aconselha a que sejam efectuadas medições com três pontos de excitação e dois pontos de medição considerando dois decaimentos por ponto (num total de 12 decaimentos). A mesma norma indica que a massa do martelo de excitação deve ser equivalente a cerca de  $100 \text{ cm}^2$  do elemento a excitar. Para o pavimento em análise a massa do martelo deveria ser cerca de 3.50 kg.

Apesar da norma indicar a massa aproximada do martelo de impacto, optou-se por verificar se usando martelos com diferentes massas, os resultados seriam diferentes. Desta forma, realizaram-se os ensaios usando três martelos de massas distintas: o martelo A com massa de 0.48 kg, o martelo B com massa de 0.61 kg e o martelo C com massa de cerca de 3.90 kg.

A norma não especifica as características dos acelerómetros, a intensidade da força nem a distância das posições de impacto aos acelerómetros ou entre posições de medição. No entanto, como já foi constatado por outros autores estes aspectos podem ter influência nos resultados [6]. Neste trabalho adoptaram-se as distâncias indicadas no método Nordtest [7] para medições *in situ* da transmissão de vibrações em edifícios (ver Figura 4).

Como se pode observar, no gráfico da Figura 5, a massa dos martelos de impacto praticamente não influencia os resultados.

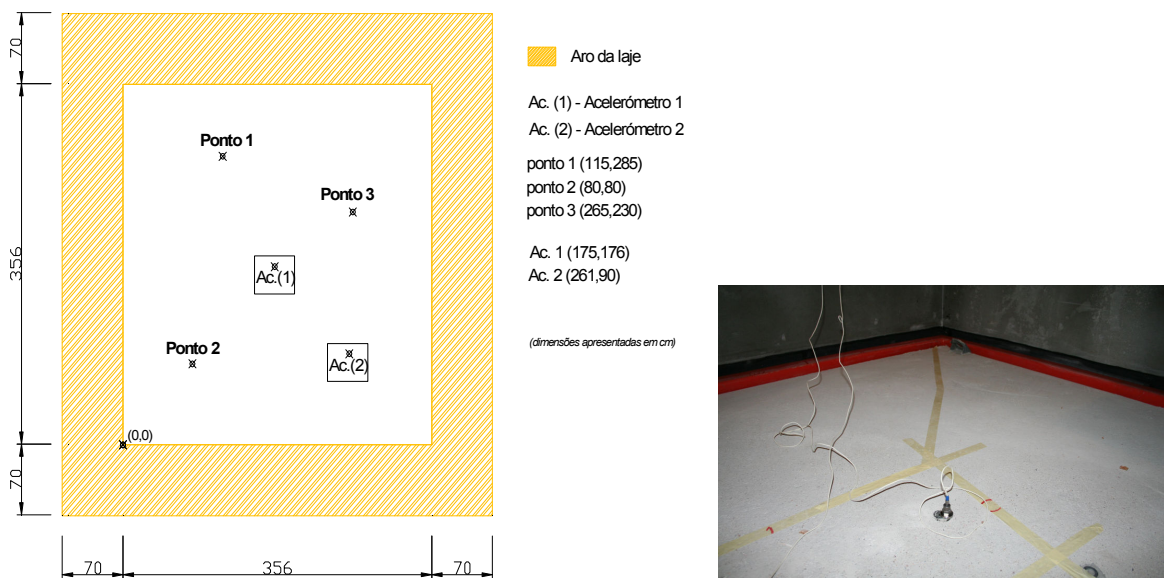


Figura 4 – Ensaio de medição do factor de perdas total: a) Posições relativas, no aro do provete, dos acelerómetros e pontos de excitação de impacto; b) acelerómetros instalados no pavimento.

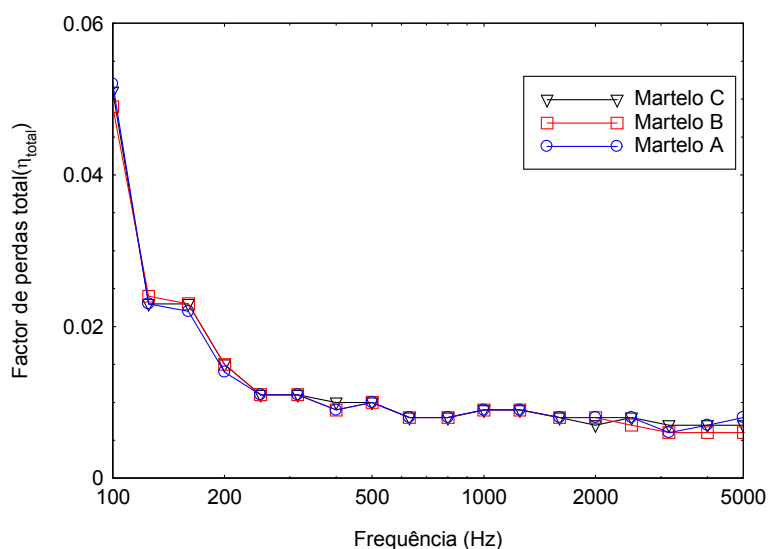


Figura 5 – Factor de perdas total para a laje de betão armado de 14 cm de espessura do *ITeCons*, obtido com diferentes martelos.

## 4 Conclusões

Neste artigo apresentaram-se os trabalhos de preparação das câmaras verticais do *ITeCons* para a realização de ensaios de isolamento a sons aéreos e de percussão de pavimentos.

Os tempos de reverberação médios nas câmaras emissora e receptora, medidos com um provete constituído por um pavimento de betão armado, de 14 cm de espessura, cumprem os requisitos definidos pela NP EN ISO 140-1 para as baixas frequências.

A caracterização do  $R'_{\max}$  para pavimentos pesados foi efectuada para um pavimento do tipo C tendo-se obtido um valor de  $R_w$  de 72 dB.

A laje de betão armado de 14 cm de espessura, sobre a qual irão ser ensaiados revestimentos de piso, apresenta um valor de  $R_w = 49$  dB e  $L_{n,w} = 83$  dB. Para o mesmo pavimento, verificou-se que, na determinação do factor de perdas total, a massa dos martelos de impacto praticamente não influenciou os resultados.

## Agradecimentos

Os trabalhos apresentados no presente artigo inserem-se no âmbito da colaboração dos investigadores do Centro de Investigação em Ciências da Construção CICC da FCTUC com o Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção *ITeCons*.

O projecto de criação do *ITeCons*, incluindo o desenvolvimento das suas instalações e aquisição de equipamentos, foi financiado ao abrigo da Medida III.11 - Economia, Linha de Acção "Criação de Novas Infra-Estruturas do Sistema Tecnológico", inserido no Programa Operacional da Região Centro (PO Centro), e promovido pelo Ministério da Economia e pela União Europeia.

## Referências

- [1] NP EN ISO 140-1 - *Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção Parte 1: Especificações para laboratórios sem transmissão marginal*. IPQ, 2001.
- [2] NP EN 20140-3 - *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 3: Medição em laboratório do isolamento sonoro a sons aéreos de elementos de construção*. IPQ, 1998.
- [3] NP EN ISO 140-6 - *Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção Parte 6: Medição, em laboratório, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão*. IPQ, 2000.
- [4] NP EN ISO 140-8 - *Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 8: Medição em laboratório da redução de transmissão sonora de revestimento de piso em pavimento normalizado*. IPQ, 2008.
- [5] NP EN ISO 354 - *Medição da absorção sonora em câmara reverberante*. IPQ, 2007.
- [6] Paixão, D. X. *Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria utilizando análise estatística de energia, SEA*. Tese de Doutoramento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- [7] NT ACOU 090 - *Building Structures, junctions: Transmission of vibrations – field measurements*. Nordtest, 1994.