

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA REDUÇÃO SONORA DE SISTEMAS DE PISOS FLUTUANTES COM LAJETAS EM MICROBETÃO E EM PEDRA

PACS no. 43.40.Kd, 43.50.Yw

Diogo Mateus¹; Andreia Pereira¹; Hélder Gonçalves²; Luís Godinho¹; Fernando G. Branco³

¹ CICC, Universidade de Coimbra, e-mail: {diogo, apereira, lgodinho} @dec.uc.pt

² Universidade de Coimbra, e-mail: hgoncalves@uc.pt

³ INESC-Coimbra, Universidade de Coimbra, e-mail: fjbranco @dec.uc.pt

Departamento de Engenharia Civil, Pólo 2, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal

ABSTRACT

In order to reduce the impact noise, the use of screeds or floating slabs lying over a resilient material, is increasingly common. In this paper the experimental performance of several of these, as well as stone lining slabs, directly placed over resilient bases, is evaluated. For this purpose, a simplified test methodology is followed, using samples of reduced size, according to the technical document ISO/CD 16251-1. For some specific cases, results will be also compared with those obtained in the laboratory using the standard methodology in accordance with ISO 10140.

RESUMO

Com vista à minimização da transmissão de ruídos de percussão, é cada vez mais frequente a utilização de betonilhas flutuantes, betonadas sobre material resiliente. No presente trabalho é avaliado o desempenho experimental, não só de diversos sistemas de betonilhas flutuantes, como também de lajetas de revestimento em pedra, aplicadas diretamente sobre bases resilientes. Para o efeito, utiliza-se uma metodologia não normalizada, recorrendo a provetes de dimensão reduzida, de acordo com documento técnico ISO/CD 16251-1. Para algumas situações específicas, os resultados serão ainda comparados com os obtidos em laboratório, através de metodologia normalizada, de acordo com as normas ISO 10140.

1 INTRODUÇÃO

Em resposta à crescente necessidade de conforto acústico nas habitações, como medida de minimização da transmissão de ruídos de percussão, tem-se verificado um aumento considerável do uso de pavimentos flutuantes em edifícios habitacionais, em particular de betonilhas (ou lajetas) flutuantes em argamassa ou microbetão. Estas betonilhas apresentam geralmente uma espessura reduzida, da ordem de 4 a 6 cm de espessura, e são aplicadas sobre camada resiliente que, por sua vez, assenta sobre a laje de piso ou sobre eventual camada de enchimento (para regularização e/ou de ocultação de infraestruturas). Sobre estas betonilhas é aplicado o revestimento de piso pretendido. Estas soluções apresentam como vantagem o fato de permitirem, não só aumentar o isolamento a ruídos de percussão, como também obter um acréscimo de isolamento a ruídos aéreos, uma vez que conduzem a um acréscimo de massa e a uma conseqüente duplicação de paramento. Refira-se, no entanto, que, na prática, em obra, o desempenho acústico deste tipo de soluções depende fortemente

do processo construtivo. A existência de defeitos de construção, mesmo que de pequeníssima dimensão, como as ligações pontuais ao nível do rodapé, muito frequentes em obra, pode conduzir a resultados finais muito fracos.

Na construção de novos edifícios, as betonilhas flutuantes são geralmente a solução mais interessante, uma vez que permitem a utilização de praticamente todo o tipo de revestimentos de piso, sem necessidade de alteração de cotas da base de piso, entre compartimentos. Por vezes, em compartimentos onde se pretende um revestimento a madeira, em alternativa às betonilhas flutuantes, opta-se simplesmente pela execução de pavimentos flutuantes em madeira, que corresponde também a uma solução eficaz na minimização da transmissão de ruído de percussão. No entanto, este revestimento é normalmente aplicado apenas em quartos e salas, ficando os restantes compartimentos, no interior das habitações e nas zonas de circulação comum, com revestimentos rígidos, geralmente cerâmicos ou em pedra, rigidamente ligados às lajes de piso que os suportam. Nestes casos, a execução de uma betonilha flutuante sob o revestimento de piso rígido implicaria a criação de uma base de suporte a uma cota inferior à dos revestimentos com pavimento flutuante em madeira. Na prática, é em geral mais interessante prolongar a betonilha flutuante a toda a área de piso. Em alternativa, poderá optar-se, na zona onde se pretende um revestimento de piso rígido, pela aplicação de um revestimento flutuante em pedra, com os painéis de pedra diretamente colados à camada resiliente. Refira-se que esta técnica carece de um estudo detalhado dos materiais e do processo construtivo a aplicar, exigindo geralmente uma camada resiliente com significativa resistência mecânica, de baixa compressibilidade, e com colas flexíveis, na base e nas juntas entre pedras. Esta solução de pedra flutuante poderá também corresponder a uma solução interessante na reabilitação ou requalificação de edifícios, onde a betonilha flutuante acrescida do revestimento de piso se torna muitas vezes inviável. Neste contexto, e dado tratar-se de uma solução ainda muito pouco utilizada, é apresentada no presente trabalho uma avaliação de desempenho, da redução sonora de ruídos de percussão, proporcionada por diferentes tipos de revestimentos de pedra flutuante. Tomam-se como variáveis o tipo de pedra, as dimensões do painel de pedra e o tipo de camada resiliente. Com vista à comparação entre resultados, a avaliação estende-se também a diferentes tipos de soluções de betonilha (ou lajeta) flutuante em microbetão, onde alguns dos resultados foram já apresentados em trabalho anterior [1].

A avaliação experimental do desempenho acústico de soluções de piso, obtida com base na redução sonora a ruídos de percussão, é obtida regra geral em laboratório, através da metodologia de ensaio normalizada descrita nas normas EN ISO 10140, partes 1, 3 e 4 [2], e ISO 717-2 [3]. Contudo, a realização deste ensaio requer infraestruturas com custos elevados de construção e manutenção, e amostras de material com dimensão considerável (10 m²). Deste modo, na fase de desenvolvimento de produto, torna-se interessante a utilização de metodologias alternativas, com custo mais reduzido, que permitam estimar o desempenho acústico de revestimentos de piso. Neste sentido, vários autores têm procurado desenvolver outras metodologias de ensaio, como é o caso de Godinho et al [4], Bjor [5] e Foret et al [6]. Godinho et al avaliaram a possibilidade de utilização de uma câmara acústica de dimensões reduzidas na quantificação da redução sonora de revestimentos de piso flexíveis e flutuantes; enquanto Bjor e Foret et al testaram o comportamento de um sistema de medição que permite obter a redução sonora utilizando amostras de dimensões reduzidas através da avaliação de níveis de vibração, mostrando-se os resultados obtidos neste sistema bastante próximos dos resultantes do método normalizado, também para revestimentos flexíveis e pisos flutuantes.

No presente trabalho, utilizando a metodologia de ensaio descrita no documento técnico ISO/CD 16251-1 [7], e semelhante à proposta por Bjor [5] e Foret et al [6], pretende-se avaliar o desempenho de diversos sistemas de lajes flutuantes, constituídos por lajetas de microbetão, de betão leve e por placas de pedra natural, aplicadas diretamente sobre bases resilientes. Será ainda objeto de análise o efeito da dimensão e espessura das lajetas, bem como das pedras e ainda de bases de diferentes materiais resilientes. Para algumas situações específicas de sistemas de lajetas flutuantes, os resultados serão ainda comparados com os obtidos em laboratório, através da metodologia normalizada [2], com o intuito de verificar se ambas as metodologias utilizadas possibilitam a obtenção de resultados semelhantes. Refira-se que os ensaios a placas de pedra natural enquadram-se num trabalho mais alargado, no âmbito de um projeto de investigação e Desenvolvimento Tecnológico (projeto QREN 23123 -

FunctionalSTONE, desenvolvimento de painéis compósitos multifuncionais para aplicação direta em revestimentos de pedra natural).

2 METODOLOGIA DE ENSAIO

A metodologia de ensaio descrita no documento técnico ISO/CD 16251-1 [7] baseia-se na utilização de uma laje de betão de dimensões 1.2x0.8x0.2 m³, apoiada sobre quatro apoios simples desligados da laje e do pavimento por meio de material resiliente (em borracha de 10 mm de espessura), de forma a minimizar a transmissão de vibrações entre exterior e o sistema (Figura 1).



Figura 1 - Sistema de ensaio para determinação da redução sonora de revestimentos de piso de acordo com a ISO/CD 16251-1.

Na realização dos ensaios é utilizada uma máquina de percussão normalizada, igual à prevista na metodologia normalizada [2]. Com base no efeito de percussão desta máquina, são registados os níveis de vibração na face superior da laje, em bandas de 1/3 de oitava dos 100 aos 3150 Hz, em oito posições de acelerómetro (A1, A2,...A8) e para três posições de máquina (P1, P2, P3), conforme representado na Figura 2. As posições da máquina de percussão definidas pretendem evitar situações de simetria e paralelismo com os cantos da laje. O procedimento deste ensaio, abreviado no presente trabalho por modelo reduzido, é idêntico ao descrito nas normas ISO 10140-1,3,4 [2]. Inicialmente, são realizadas medições de níveis de vibração na laje de betão sem o revestimento aplicado ($L_{a,0}$). Posteriormente, é aplicada a amostra do revestimento a analisar, sendo registado o nível de vibração correspondente ($L_{a,1}$). Com base nestes níveis de vibração é possível obter a redução sonora do revestimento através da expressão

$$\Delta L_a = L_{a,0} - L_{a,1}$$

em que $L_{a,0} = 20 \text{Log}(a_0/a_{ref})$ é o nível de vibração médio obtido na laje de betão sem a amostra, enquanto $L_{a,1} = 20 \text{Log}(a_1/a_{ref})$ se refere ao nível de vibração médio obtido com a amostra, sendo $a_{ref} = 10^{-6} \text{m/s}^2$, a aceleração de referência. São ainda realizadas medições de vibração ambiente, de modo a avaliar eventuais interferências deste parâmetro nas medições. Caso o nível de vibração ambiente se encontre 10 dB abaixo do nível de vibração medido com a máquina de percussão em funcionamento, considera-se que não há necessidade de efetuar correções.

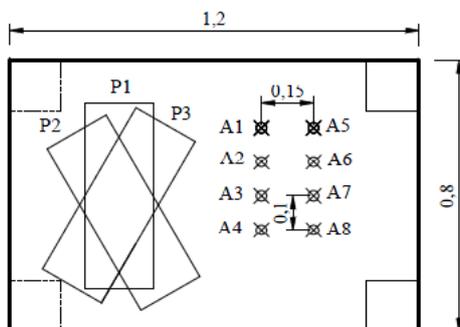


Figura 2 – Posições de máquina e de acelerómetro utilizados.

O índice de redução sonora (ΔL_w) é obtido tendo por base o procedimento descrito na norma ISO 717-2 [3], a partir dos resultados de redução sonora em frequência.

3 RESULTADOS

No contexto do presente estudo, foram realizados trabalhos anteriores por Pereira et al [1], nomeadamente de caracterização do desempenho acústico de soluções de lajetas flutuantes utilizando a metodologia descrita no documento técnico ISO/CD 16251-1 [7]. Nesse estudo foram analisadas várias amostras de lajetas em microbetão, variando a dimensão (de 0,25 a 0,96 m²), a espessura (4, 8 e 12 cm) e o material resiliente. Foram utilizados como materiais resilientes o aglomerado de borracha e o aglomerado de espuma de poliuretano flexível, com diferentes massas volúmicas e espessuras.

No presente trabalho, para além da avaliação dos resultados em lajetas de microbetão, decorrentes do trabalho anterior [1], pretende-se a comparação destes resultados com os obtidos utilizando sistemas flutuantes em pedra natural e em lajetas de betão com agregados leves. As lajetas de betão com agregados leves ensaiadas apresentavam dimensões 50x50x6,5cm³, sendo uma delas constituída com recurso a agregados de argila expandida (massa volúmica da lajeta próxima de 460 kg/m³) e outra com agregados em flocos de poliestireno expandido (massa volúmica da lajeta próxima de 840 kg/m³). Relativamente aos sistemas de piso flutuante em pedra, foram ensaiadas várias placas de diferentes tipos de pedra (Figura 3), dimensões e espessuras, tal como apresentado no Quadro 1.



Figura 3 – Creme Champagne (esquerda), Estremadura Azul (centro) e Branco do Mar (direita).

Quadro 1 – Placas de pedra ensaiadas segundo a ISO/CD 16251-1.

Pedra	Dimensão (cm)		Área (m ²)	Massa Volúmica (kg/m ³)
	e= 2 cm	e= 3 cm		
Creme Champagne	60x60	60x60	0,36	2734
	30x60	30x60	0,18	
Estremadura Azul	-	30x60	0,18	2502
Branco do Mar	-	30x60	0,18	2287

No que respeita à camada resiliente sob as pedras, tal como no trabalho anterior [1], foi utilizado o aglomerado de borracha (de espessura uniforme com 4,5 mm e de espessura variável com 15/7mm) e o aglomerado de espuma de poliuretano flexível (de 120 e 200 kg/m³, e espessuras de 5, 10 e 30 mm). Nas lajetas de betão com agregados leves, apenas foi utilizado o aglomerado de borracha de 4,5 mm e o aglomerado de espuma de poliuretano de 5 mm com 200 kg/m³.

Na Figura 4 são apresentados resultados obtidos no modelo reduzido para as lajetas de microbetão, com as curvas de redução sonora, fazendo variar a área da lajeta flutuante e a sua espessura, para duas das soluções de material resiliente utilizado (em aglomerado de borracha com espessura constante de 4,5 mm e espessura variável de 15/7 mm). Neste caso, é também

apresentado o resultado obtido em laboratório através de metodologia normalizada, para uma lajeta com 4 cm de espessura e com 10 m² de área, ensaiado de acordo com o procedimento da anterior norma ISO 140-8, semelhante à metodologia indicada nas atuais normas ISO 10140-1,3,4 [2]. O Quadro 2 apresenta igualmente resultados comparativos, neste caso apenas o índice ΔL_w (dB), obtidos em laboratório através da metodologia normalizada e através do modelo reduzido, para seis tipos de soluções de lajeta flutuante.

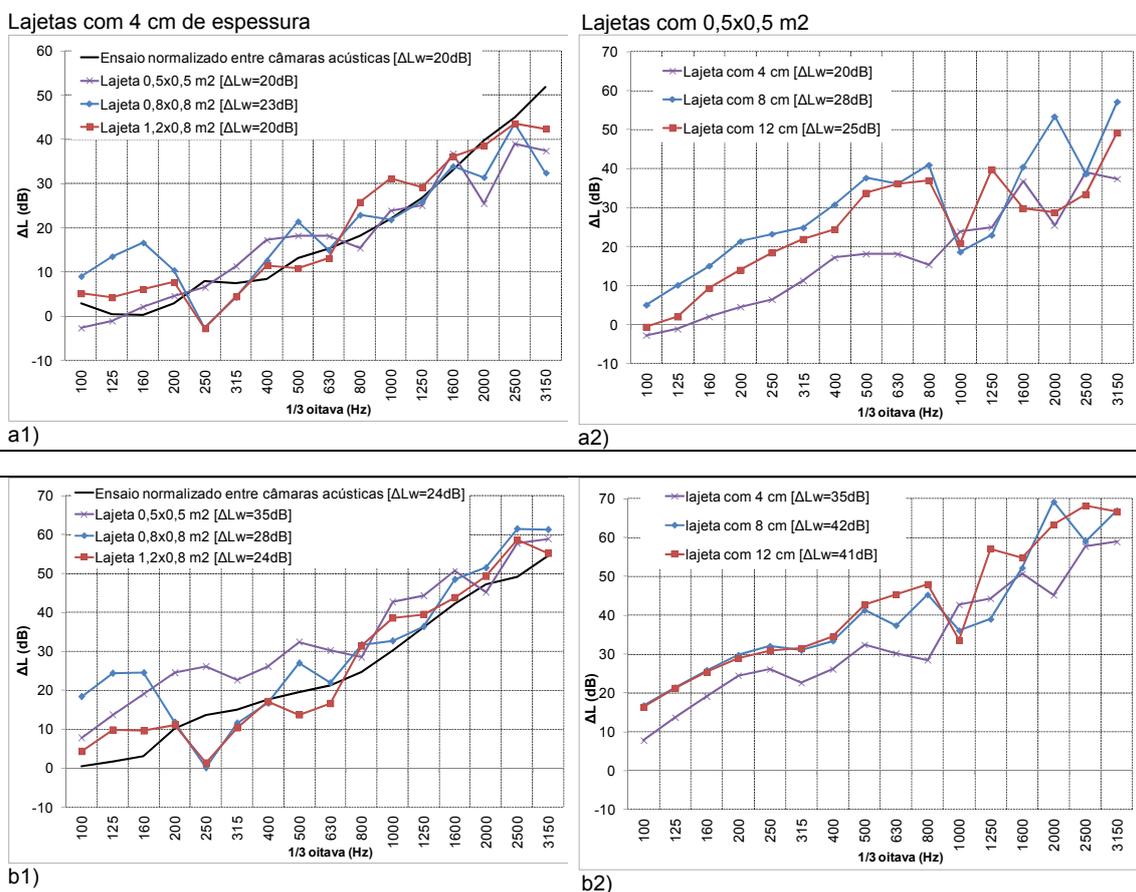


Figura 4 – Curvas de redução sonora para lajetas flutuantes em microbetão, assentes sobre camada resiliente em aglomerado de borracha com espessura constante de 4,5 mm (a) e com espessura variável de 15/7 mm (b), fazendo variar a área (a1 e b1) e a espessura das lajetas (a2 e b2).

Quadro 2 – Índices de redução sonora (ΔL_w) para lajetas flutuantes em microbetão sobre aglomerado de espuma de poliuretano de 120 e de 200 kg/m³, através da metodologia normalizada e através do modelo reduzido com lajeta de 0,5x0,5 m².

Tipo de ensaio	Aglomerado de Espuma de 120kg/m ³			Aglomerado de Espuma de 200kg/m ³		
	5 mm	10 mm	30 mm	5 mm	10 mm	30 mm
Ensaio normalizado (Fabricante)	21	23	36	21	23	34
Modelo reduzido (lajeta 0,5x0,5 m ²)	21	27	39	22	25	35

Na Figura 5 são apresentados resultados obtidos para as lajetas com área de 0,5x0,5 m², em microbetão com 4 cm de espessura, em betão com agregados leves (em argila expandida e em flocos de poliestireno expandido (EPS)), com 6,5 cm de espessura, assentes sobre camada resiliente de aglomerado de borracha com 4,5 mm de espessura. Incluem-se ainda os resultados em que a camada resiliente é o aglomerado de espuma de poliuretano flexível com 5 mm de espessura e massa volúmica de 200 kg/m³.

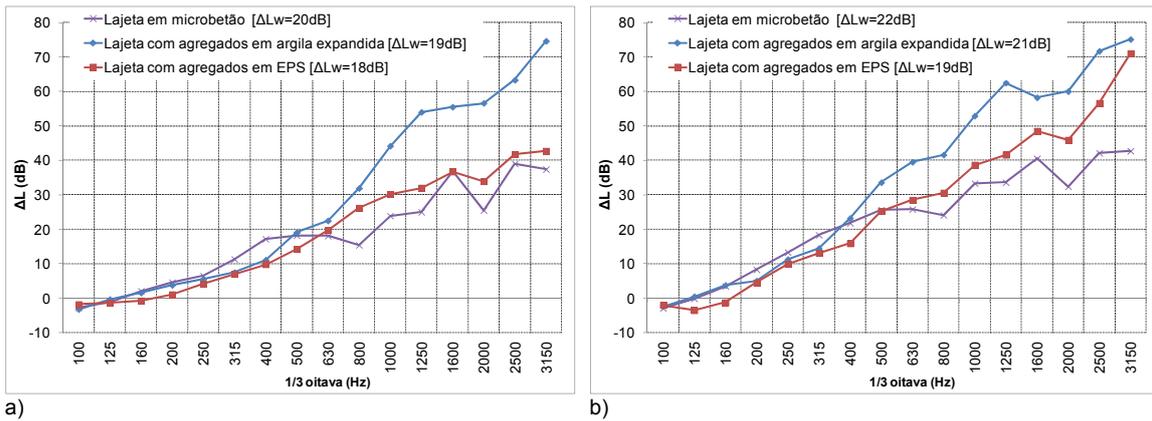


Figura 5 – Curvas de redução sonora para lajetas flutuantes em microbetão e em betão com agregados leves, assentes sobre camada resiliente em aglomerado de borracha com 4,5 mm de espessura (a) e em aglomerado de espuma de poliuretano de 200 kg/m³, com 5 mm de espessura (b).

Relativamente aos ensaios dos vários tipos de placas de pedra natural, e com os vários tipos de materiais, são apresentados no Quadro 3 os resultados dos índices ΔL_w para os diferentes tipos de soluções de pedra testadas. Na Figura 6, com o objetivo principal de avaliar de forma detalhada a influência das dimensões das placas de pedra e o tipo de pedra utilizada, são apresentadas as curvas de redução sonora obtidas para a solução de pedra flutuante assente sobre camada resiliente em aglomerado de borracha de espessura constante, com 4,5 mm de espessura (solução aparentemente mais viável na prática, entre as várias soluções testadas).

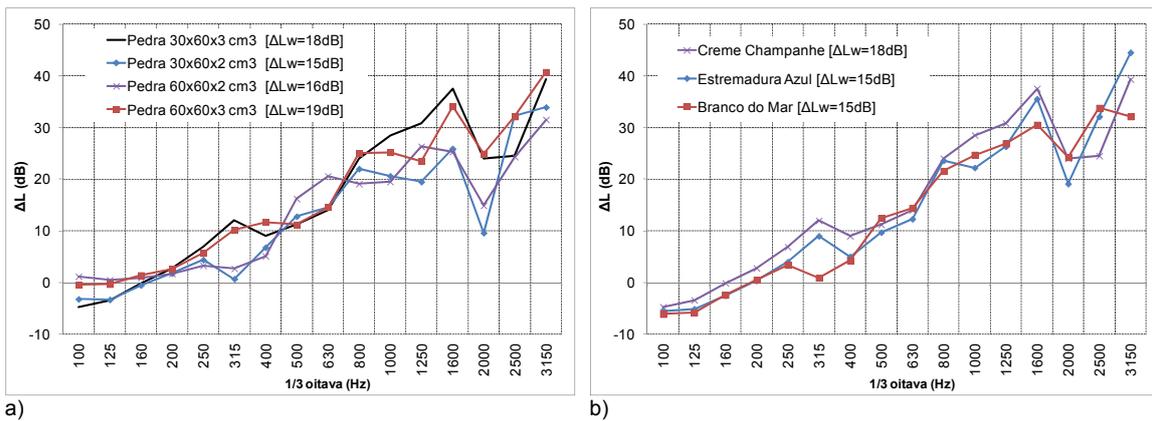


Figura 6 – Curvas de redução sonora para placas de pedra (crème champagne) flutuante, assentes sobre camada resiliente em aglomerado de borracha com 4,5 mm de espessura, fazendo variar a área e espessura das placas (a) e o tipo de pedra natural (b).

Quadro 3 – Índices ΔL_w (em dB) das várias soluções de pavimentos flutuantes em pedra.

Pedra (tipo e dimensões)	Aglomerado de Borracha		Aglomerado de Espuma de 120 kg/m ³			Aglomerado de Espuma de 200 kg/m ³		
	4,5 mm	15/7 mm	5 mm	10 mm	30 mm	5 mm	10 mm	30 mm
Crème Champagne								
60x60x2 cm ³	16	28	19	22	34	18	19	27
60x60x3 cm ³	19	31	18	24	35	18	21	31
30x60x2 cm ³	15	28	20	22	35	17	17	28
30x60x3 cm ³	18	28	20	24	36	18	18	30
Estremadura Azul								
30x60x3 cm ³	15	28	18	22	35	17	19	29
Branco do Mar								
30x60x3 cm ³	15	29	18	22	35	16	18	29

Da análise da Figura 4, complementada com os restantes resultados apresentados anteriormente em Pereira et al [1], para o caso das lajetas de betão, e da Figura 6 e Quadro 3, para o caso das pedras, verifica-se um aumento da redução sonora do pavimento com o aumento de espessura da lajeta ou da placa de pedra flutuante, apesar de surgirem consideráveis oscilações de amplitude em frequência, em particular nas altas frequências. Refira-se, no entanto, que, para materiais resilientes de menor espessura e mais compressíveis, o aumento de espessura, com o correspondente aumento de massa, em particular nas lajetas de microbetão (mais pesadas), origina uma maior compressibilidade da camada resiliente, tornando a solução menos eficaz. Do referido estudo [1], e tal como acontece com as soluções de pedra flutuante testadas, verifica-se ainda que, na utilização do aglomerado de espuma de poliuretano, o aumento desta camada resiliente tem maior relevância na redução sonora nas baixas frequências, pois nas altas frequências os resultados tendem a aproximar-se. Da análise da Figura 4 e do Quadro 2 é ainda possível verificar que, para a generalidade dos casos, existe uma aproximação entre resultados normalizados e os obtidos através do modelo reduzido. As maiores diferenças resultam, provavelmente, dos modos próprios de vibração das lajetas utilizadas no modelo reduzido.

Em relação à comparação entre resultados obtidos com lajetas em microbetão e lajetas com agregados leves, em termos globais, as diferenças no índice ΔL_w são pouco relevantes. No entanto, a redução sonora em altas frequências é maior nas lajetas com agregados leves, em particular no caso de agregados em argila expandida. Refira-se que estas lajetas foram ensaiadas sem qualquer tipo de acabamento, verificando-se algum desgaste rápido nas zonas de queda dos martelos da fonte de percussão. Com um acabamento rígido sobre estes três tipos de lajetas flutuantes, é provável uma maior aproximação entre resultados.

Relativamente às pedras, verifica-se que a variação da área da placa, à semelhança do que ocorre para as lajetas de microbetão, não conduz a uma tendência bem definida no desempenho acústico. Tal como em relação à espessura, a área do provete condiciona fortemente a localização das oscilações em frequência, devido aos modos próprios de vibração, e o valor do índice ΔL_w acaba por ser também influenciado por estas oscilações. De acordo com a Figura 6 e Quadro 3, verifica-se uma tendência para resultados mais favoráveis com o aumento da massa volúmica da pedra, à semelhança do que ocorre com o aumento de espessura da pedra. Da análise em frequência, pode observar-se que as curvas de redução sonora apresentam tendência para a linearidade, com exceção de duas zonas específicas em frequência: uma na gama das médias frequências, na banda de 1/3 de oitava de 315 Hz ou de 400Hz; e outra nas altas frequências, na banda de 1/3 de oitava centrada em 2000 Hz. Estas quebras são mais acentuadas nas pedras de menor espessura, influenciando o valor global de ΔL_w .

4 CONCLUSÕES

No presente artigo foi avaliada a redução sonora resultante de um ruído de impacto normalizado proporcionada por sistemas flutuantes em lajeta de microbetão, em lajeta de betão com agregados leves e em placas de pedra natural, onde se fizeram variar as dimensões das lajetas e das placas e o tipo de camada resiliente. Estes sistemas foram ensaiados segundo uma metodologia de ensaio simplificada, baseada no documento técnico ISO/CD 16251-1, com registos de níveis de vibração numa laje de betão com dimensões reduzidas, sem e com o sistema flutuante aplicado, quando atua uma máquina de percussão normalizada. Para alguns dos casos analisados, os resultados obtidos foram ainda comparados com resultados laboratoriais, entre câmaras acústicas, de acordo com a metodologia normalizada. Esta comparação permitiu verificar uma tendência de aproximação entre resultados obtidos pelas duas metodologias de ensaio, apesar de existirem algumas variações significativas em frequência, resultantes sobretudo da influência dos modos próprios de vibração dos modelos reduzidos. Embora a metodologia simplificada não permita reproduzir os resultados obtidos no método normalizado, a sua utilização poderá ser útil numa fase preliminar de avaliação de soluções, permitindo analisar comparativamente o desempenho acústico de sistemas flutuantes.

Apesar das dimensões das lajetas ou das placas de pedra natural, em área e em espessura, condicionarem significativamente a redução sonora em frequência, o desempenho global na redução de ruídos de percussão, depende sobretudo da camada resiliente aplicada, não existindo diferenças muito significativas quando se passa de um sistema de lajeta flutuante em microbetão para uma placa de pedra natural. Do ponto de vista prático, em obra, mais importante que as pequenas diferenças observadas entre resultados, são os restantes desempenhos funcionais que o pavimento deve garantir ao longo da sua vida útil, nomeadamente de segurança, habitabilidade e de durabilidade. Apesar do processo construtivo associado à aplicação de revestimentos de pedra diretamente colados a camada resiliente exigir cuidados adicionais em relação à execução de uma lajeta (ou betonilha) flutuante, em particular por se tratar de uma tecnologia pouco conhecida, em ambos casos o desempenho acústico encontra-se fortemente dependente do processo construtivo.

AGRADECIMENTOS

Trabalho financiado pelo QREN, no âmbito do Programa Operacional Factores de Competitividade: projeto FCOMP-01-0202-FEDER-023123 (FunctionalStone)

REFERÊNCIAS

- [1] A. Pereira, D. Mateus, L. Godinho, F.G. Branco, R. Ferreira: Avaliação experimental da redução Sonora ao ruído de impacto: análise da influência das dimensões da lajeta flutuante. *VIII Congresso Ibero-Americano de Acústica - TECNIACÚSTICA 2012*, Évora, Portugal.
- [2] Standard ISO 10140-1,3,4: 2010. Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 1: Application rules for specific products. Part 3: Measurement of impact sound insulation. Part 4: Measurement procedures and requirements.
- [3] Standard ISO 717-2: 1996. Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: impact sound insulation;
- [4] L. Godinho, R. Masgalos, A. Pereira, F.G. Branco: On the use of a small-sized acoustic chamber for the analysis of impact sound reduction by floor coverings. *Noise Control Engineering Journal*, Vol. 58 (6), 2010, pp. 658-668.
- [5] O-H. Bjor: Simplified measurement of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings, *Proc 2010, BNAM 2010*, Bergen.
- [6] R. Foret A, J. Chéné, C. Guigou-Carter, A comparison of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings measured using ISO 140-8 and ISO/CD 16251-1, *Forum Acusticum 2011*, Aalborg, Denmark.
- [7] ISO/CD 16251-1: Acoustics – Laboratory measurement of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a small floor mock-up – Part 1: Heavyweight compact floor.