

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA REDUÇÃO SONORA AO RUÍDO DE IMPACTO: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS DIMENSÕES DA LAJETA FLUTUANTE

Andreia Pereira¹, Diogo Mateus¹, Luís Godinho¹, Fernando G. Branco², Ricardo Ferreira³

¹CICC, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Pólo 2, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal, e-mail: {apereira, lgodinho, diogo} @dec.uc.pt

²INESC, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Pólo 2, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal, e-mail: fjbranco @dec.uc.pt

³ Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Pólo 2, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal, e-mail: ricardo_jsf@hotmail.com

Resumo

Os sistemas de lajeta flutuante, onde a lajeta de betão assenta sobre um material flexível, aplicado sobre a laje de suporte, são uma das soluções correntes utilizadas para garantir uma adequada redução sonora no que concerne ao controlo do ruído de percussão. A avaliação acústica destes sistemas é geralmente efetuada em laboratório através da metodologia descrita na norma NP EN ISO 140-8, que requer a utilização de câmaras acústicas normalizadas e de uma lajeta com uma área idêntica à do pavimento de betão que lhe serve de suporte, com cerca de 10 m². Por vezes pode tornar-se mais prático, sobretudo quando não se dispõe desta infra-estrutura, avaliar o seu desempenho acústico recorrendo a métodos, que envolvam a utilização de outras dimensões de lajetas, de menor área, que, de um modo geral, são mais fáceis de manusear. Neste trabalho pretende-se avaliar a influência das dimensões da lajeta na determinação experimental da redução sonora resultante da atuação de uma fonte de ruído de percussão. São realizados diversos ensaios utilizando sistemas flutuantes com diferentes dimensões de lajetas, sendo os resultados comparados entre si e com respostas normalizadas, de modo a tentar aferir eventuais diferenças. São utilizadas metodologias não normalizadas para determinar a redução sonora, em que a fonte de ruído de impacto é normalizada e as medições serão de níveis de vibração obtidos sem e com o sistema flutuante aplicado.

Palavras-chave: ruído de percussão, redução sonora, lajetas flutuantes, experimental.

Abstract

The floating slab system, where a concrete slab rests on a flexible layer which is placed over the structural slab is a common solution to ensure proper impact sound reduction. The evaluation of the acoustic performance of such systems is usually performed in laboratory according to the procedure described in NP EN ISO 140-8, which requires the use of normalized acoustic chambers and also the floating slab to have an area of about 10 m². In some cases, especially when this infrastructure is not available, resource to non-standard methods, involving the use of smaller dimension slabs may be in order. This paper aims at assessing the influence of the dimensions of the floating slab in the experimental evaluation of impact sound reduction. Several tests were carried out using floating systems with different dimensions of slabs, and the results were compared with standardized responses so as to assess the differences. Non-standard methodologies are used to determine the impact sound reduction using vibration levels measurements with and without the floating system applied.

Keywords: impact noise, sound reduction, floating slab, reduced size dimension, experimental.

PACS no. 43.40.Kd, 43.50.Yw

1 Introdução

Uma das soluções para reduzir o ruído de percussão em edifícios, de modo a dar cumprimento aos requisitos regulamentares consagrados no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [1] consiste na utilização de sistemas de lajetas flutuantes. Estes sistemas são constituídos por numa camada superficial de betão ou betonilha, que assenta sobre um material flexível estendido sobre a laje estrutural. O revestimento final é aplicado sobre a betonilha, podendo ser de qualquer tipo. Uma das vantagens deste sistema consiste no fato de permitir obter não só o isolamento aos sons de percussão necessário, mas também obter um acréscimo no isolamento aos sons aéreos.

O desempenho acústico ao ruído de impacto destas soluções pode ser obtido experimentalmente através da metodologia de ensaio normalizada, descrita na norma NP EN ISO 140-8 [2], que permite caracterizar a redução sonora proporcionada por revestimentos de piso e requer que sejam utilizadas duas câmaras acústicas normalizadas, uma sobre a outra, com cerca de 50 m² e que a lajeta tenha aproximadamente 10 m². A laje é percutida utilizando uma máquina de percussão normalizada sendo registado o nível sonoro no compartimento recetor, sem e com o sistema de lajeta aplicado. A redução sonora proporcionada pelo sistema de lajeta flutuante é então obtida calculando a diferença entre estes níveis sonoros.

A realização deste ensaio envolve a utilização de infra-estruturas com custos elevados de construção e manutenção, pelo que, em fase de desenvolvimento de produto poderá ser interessante a utilização de outras metodologias, com custo mais reduzido, que permitam estimar o desempenho acústico de revestimentos de piso.

Diversos investigadores têm optado por utilizar ou propor abordagens não normalizadas, designadamente Godinho et al [3], que avaliaram a possibilidade de utilização de uma câmara acústica de dimensões reduzidas para obter a redução sonora de revestimentos de piso flexíveis e pisos flutuantes. Nos trabalhos publicados por Bjor [4] e Foret et al [5] são descritos alguns resultados preliminares de comportamento de um sistema de medição que permite obter a redução sonora utilizando amostras de dimensões reduzidas através da avaliação de níveis de vibração, sendo os resultados obtidos indicativos de que o sistema possibilita obter índices de redução sonora bastante próximos dos resultantes do método normalizado, para revestimentos flexíveis e pisos flutuantes. Miškinis et al [6] avaliaram a influência das dimensões de uma lajeta através de ensaios realizados in situ, seguindo o procedimento descrito na norma ISSO 140-7, tendo testado lajetas com 5 cm de espessura e áreas variando entre 0.5 m² e 13.4 m². Neste trabalho, apesar do reduzido número de amostras testado, verificou-se que a curva de redução sonora obtida depende da área testada, sendo as amostras mais reduzidas conducentes a um índice e redução sonora superior ao da amostra com 10 m² da dimensão.

Neste trabalho pretende-se avaliar a influência das dimensões da lajeta de área muito reduzida relativamente à área normalizada (10 m²), na determinação experimental da redução sonora resultante da atuação de uma fonte de ruído de percussão. São realizados ensaios laboratoriais, utilizando sistemas flutuantes com diferentes espessuras e lajetas com diferentes áreas em planta, sendo os resultados comparados entre si e com respostas normalizadas, de modo a aferir eventuais diferenças. São utilizadas duas metodologias de ensaio distintas, ambas não normalizadas, para determinar a redução sonora. A fonte de ruído de impacto utilizada é normalizada, sendo efetuadas medições de níveis de vibração obtidos sem e com a amostra do sistema flutuante aplicado. Pretende-se avaliar se ambas as metodologias utilizadas possibilitam a obtenção de conclusões semelhantes no que concerne à eficácia dos sistemas e quantificar eventuais discrepâncias.

2 Metodologias de ensaio

Nesta secção são descritas as duas metodologias de ensaio utilizadas para avaliar os sistemas de lajeta flutuante.

2.1 Metodologia definida na ISO/CD 16251-1

Uma das metodologias de ensaio utilizadas neste trabalho corresponde à descrita no documento técnico ISO/CD 16251-1 [7], em que se utiliza uma laje de betão, com dimensões 1.2(m)x0.8(m)x0.2(m), simplesmente apoiada em quatro apoios, conforme ilustrado na Figura 1. Entre a laje e os apoios foi interposto material resiliente, em borracha, com 1 cm de espessura. Entre o pavimento e os apoios foi igualmente colocado material resiliente, com o intuito de minimizar transmissão de vibrações do exterior para o sistema.



Figura 1 - Fotografia do sistema de ensaio implementado para obter a redução sonora conferida por revestimentos de piso.

No procedimento de medição utilizado, os registos são efetuados de modo a obter os níveis de vibração na face inferior da laje, em bandas de 1/3 de oitava dos 100Hz aos 3150 Hz. Foram definidas 8 posições de acelerómetro, localizadas na face inferior da laje, conforme representado na Figura 2. É utilizada uma máquina de percussão normalizada de acordo com os requisitos descritos no Anexo A, da norma EN NP ISO 140-8, em três posições distintas, conforme representado na Figura 2, procurando-se evitar posições de simetria e paralelismo com os cantos da laje.

O procedimento de ensaio é idêntico ao descrito na norma EN NP ISO 140-8. Inicialmente são realizadas medições de níveis de vibração na laje de betão sem o revestimento aplicado ($L_{a,o}$). Posteriormente, é aplicada a amostra do revestimento a analisar, sendo registado o nível de vibração correspondente ($L_{a,1}$). Tendo por base estes níveis de vibração, a redução sonora é, então, obtida através da expressão seguinte:

$$\Delta L_a = L_{a,o} - L_{a,1}, \quad (1)$$

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

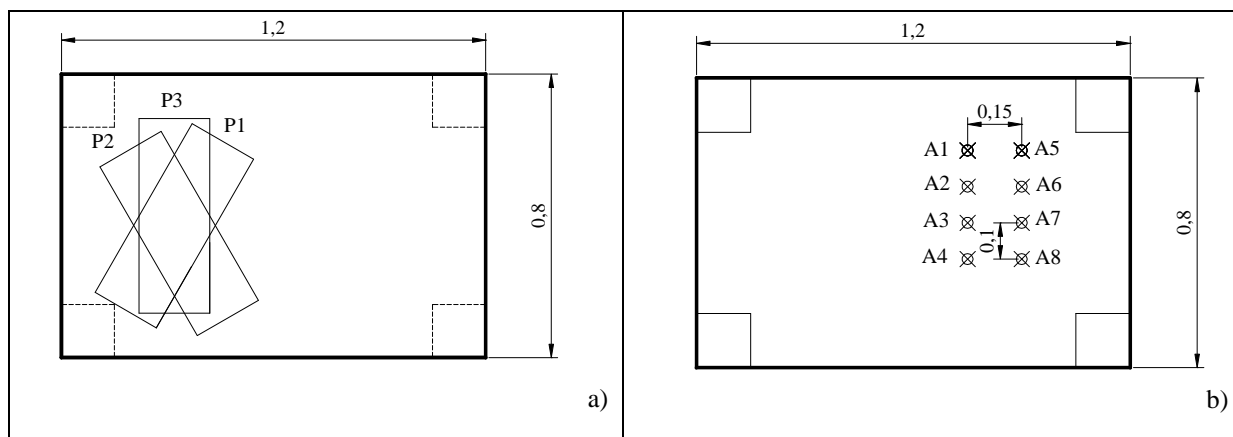


Figura 2 – Posições de máquina e de acelerómetro fonte utilizadas: a) face superior da laje; b) face inferior.

2.2 Metodologia simplificada

A segunda metodologia de medição é idêntica à descrita anteriormente, sendo as medições realizadas no pavimento de uma câmara acústica reverberante existente no Departamento de Engenharia. Neste procedimento, foram definidas 5 posições de acelerómetro (A1, ..., A5 conforme representado na Figura 2), sendo as medições realizadas para três posições de fonte. O tratamento dos registos obtidos é idêntico ao descrito anteriormente.

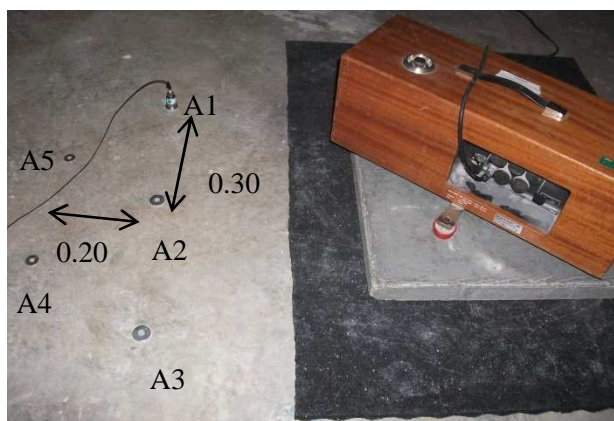


Figura 3 – Fotografia do ensaio realizado no pavimento da câmara acústica.

3 Resultados

Seguidamente, são apresentados os resultados dos ensaios, referentes à redução sonora, realizados sobre a laje de betão com 1.2(m)x0.8(m)x0.2(m), seguindo a metodologia descrita no documento técnico ISO/CD 16251-1. De forma a avaliar a influência das dimensões da lajeta, foram construídas lajetas com 4 cm de espessura e três dimensões distintas: 0.5(m)x0.5(m); 0.8(m)x0.8(m) e 1.2 (m)x0.8(m), com áreas 0.25m², 0.64m² e 0.96m². Foi ainda analisada a influência da espessura da lajeta, tendo sido construídas lajetas com 0.5(m)x0.5(m) e espessuras variando entre 4cm, 8cm e 12cm.

Os ensaios para obtenção da redução sonora que seguidamente se apresentam foram realizados utilizando dois tipos de material resiliente alternativos sob a lajeta: uma manta flexível em borracha, com 4.5mm de espessura, cujo índice de redução sonora facultado pelo fabricante é de 20 dB; e uma manta flexível, com desempenho acústico superior, em borracha, com espessura variável, sendo a máxima de 15mm e a mínima de 7mm, cujo índice de redução sonora é de 24 dB (dado pelo fabricante).

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos, tendo ainda sido incluída a curva de redução sonora resultante de ensaio em câmara reverberante, com lajeta de 10 m², conforme a norma ISO 140-8, para referência.

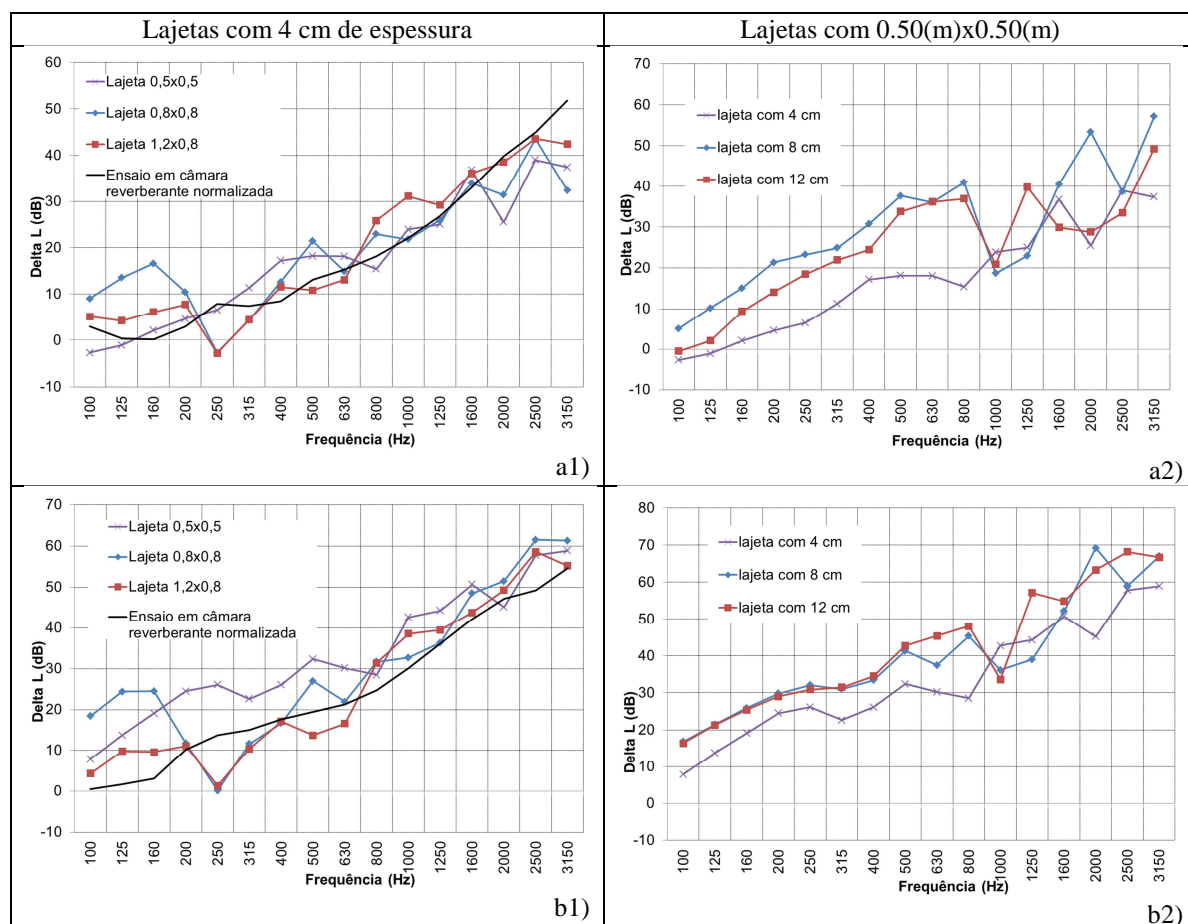


Figura 4 - Redução sonora para as diversas dimensões de lajeta testadas sobre: a) manta de borracha com espessura uniforme de 4,5mm; b) manta de borracha com espessura variável 15/7mm.

Através da análise dos resultados referentes às lajetas sobre manta de borracha com 4,5 mm (ver Figura 4a1), é possível verificar que as curvas referentes às diversas dimensões de lajeta tendem a aproximar-se do resultado normalizado, embora apresentem diversas oscilações. Estas oscilações devem-se aos modos próprios de vibração destas placas. Para dimensões da lajeta mais reduzidas, as oscilações ocorrem em frequências mais altas. Com o aumento de dimensão, as oscilações deslocam-se para frequências mais baixas mantendo-se, no entanto, dentro da gama de frequências em análise. Verifica-se ainda que a curva que melhor se aproxima do ensaio normalizado é a obtida para a lajeta de dimensões maiores.

Analisando agora os resultados apresentados na Figura 4b1), referentes à lajeta sobre manta de borracha de espessura variável 15/7 (com desempenho acústico superior), constata-se que o comportamento do sistema é idêntico ao descrito anteriormente. Refira-se que, neste caso, é notório o desempenho superior obtido pela lajeta de 0.50(m)x0.50(m), relativamente ao normalizado. Ao aumentar as dimensões das lajetas, a redução sonora vai igualmente reduzindo, e aproximando-se do resultado normalizado.

A influência da espessura das lajetas foi também investigada. Os resultados obtidos encontram-se representados nas Figuras 4b).

Observando estas figuras, verifica-se que, quando se aumenta a espessura da lajeta (todas apresentam uma área idêntica de 0.50(m)x0.50(m)), de 4 cm para 8 cm, a redução sonora aumenta de forma significativa. No entanto, nas altas frequências, surgem oscilações de amplitude considerável, possivelmente resultantes de ressonâncias no interior da placa. Para a lajeta de 12 cm sobre a manta de 4,5 mm ocorre uma inversão de desempenho, observando-se que a redução sonora é inferior à obtida para a lajeta com 8 cm. Este comportamento poderá dever-se ao fato desta lajeta, com massa superficial significativa, estar a comprimir a manta flexível, conduzindo a que esta se comporte de forma mais rígida, e promovendo, deste modo, uma maior transmissão sonora.

Para o caso da lajeta sobre manta de borracha 15/7 mm, observa-se igualmente, uma melhoria do desempenho acústico do sistema quando se aumenta a espessura de 4 para 8 cm. O aumento de espessura de 8 para 12 cm não conduz a ganhos significativos da redução sonora.

Tal como referido anteriormente, foram realizados ensaios utilizando uma segunda metodologia simplificada, baseada na descrita documento técnico ISO/CD 16251-1. No entanto, a laje de betão foi substituída pelo pavimento de uma câmara acústica existente no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, para registar os níveis de vibração sem e com a lajeta flutuante aplicada. Estes resultados encontram-se apresentados na Figura 5 para lajetas de betão de 4 cm e dimensões 0.5 (m)x0.05(m) e 1.2(m)x0.8(m) sobre manta de borracha com espessura de 4,5mm e sobre manta de borracha com espessura variável 15/7.

Nestas figuras são ainda apresentados os resultados do ensaio de acordo com a norma NP EN ISO 140-8 e os obtidos utilizando o método previsto na ISO/CD 16251-1 para referência. Pela análise destas figuras, observa-se que as curvas obtidas utilizando o método simplificado, através de medições de níveis de vibração no pavimento da câmara, são próximas das obtidas pela ISO/CD 16251-1, embora, nas altas frequências a redução sonora apresente amplitudes mais reduzidas.

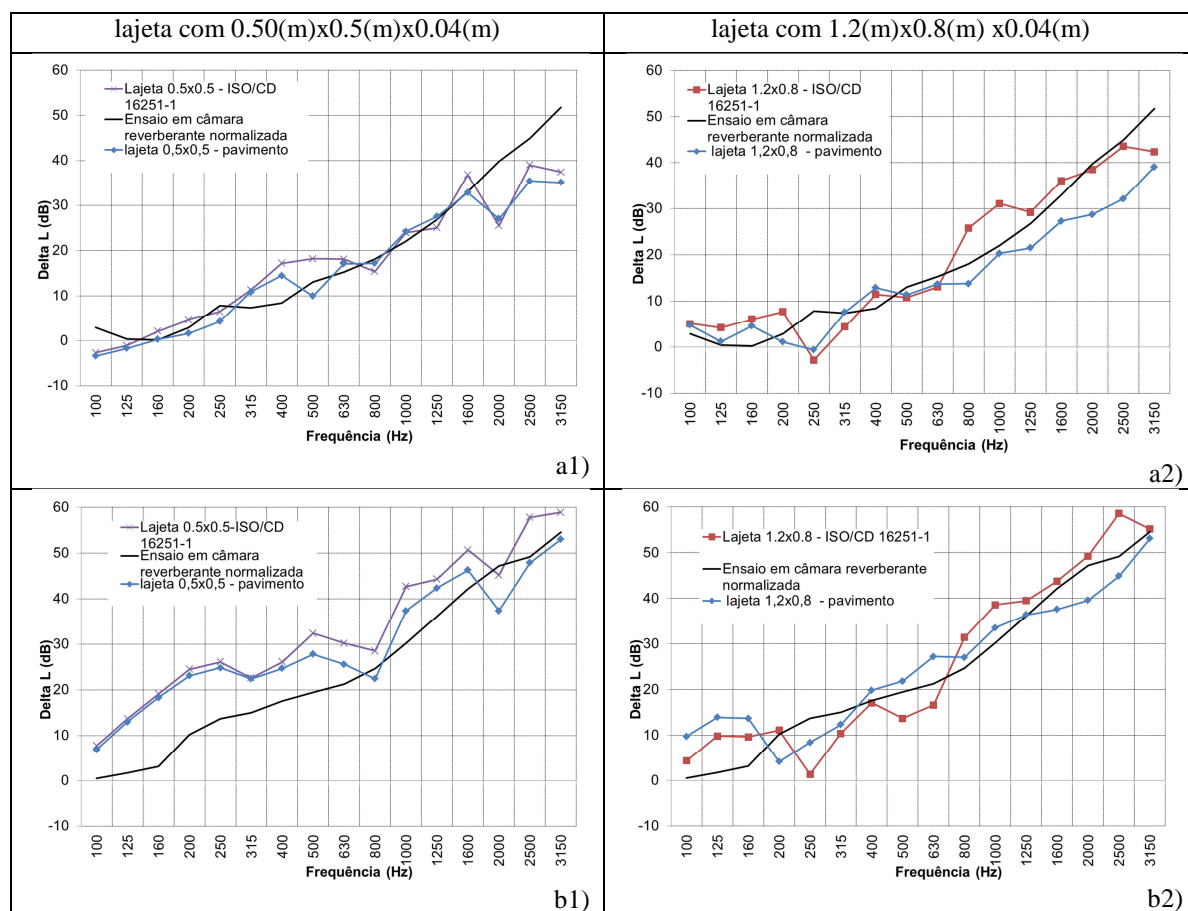


Figura 5 –Redução sonora obtida utilizando os dois métodos para ensaiar uma lajeta de 4 cm sobre: a) manta de borracha com espessura uniforme de 4,5mm; b) manta de borracha com espessura variável de 15/7.

Na figura seguinte são apresentados os resultados obtidos para uma espuma de poliuretano com densidade 120 kg/m^3 e 200 kg/m^3 com espessuras de 5, 10 e 30 mm. Estes materiais foram ensaiados utilizando três métodos distintos. O primeiro método [8] consistiu na realização do ensaio em câmara reverberante de acordo com a NP EN ISO 140-8, mas utilizando uma lajeta de $0.4(\text{m}) \times 0.6(\text{m}) \times 0.05(\text{m})$. No segundo método, os ensaios foram efetuados sobre a laje de betão com $1.2(\text{m}) \times 0.8(\text{m}) \times 0.2(\text{m})$, de acordo com o procedimento referido na ISO/CD 162541-1, tendo sido utilizada uma lajeta de $0.5(\text{m}) \times 0.5(\text{m}) \times 0.04(\text{m})$. O terceiro método é o método simplificado, em que se utilizou o pavimento da câmara acústica, ao invés da laje de betão referida na ISO/CD 162541-1 e uma lajeta de $0.5(\text{m}) \times 0.5(\text{m}) \times 0.04(\text{m})$. Pretende-se avaliar se, utilizando cada um destes diferentes métodos para aferir o desempenho de soluções, é possível retirar conclusões idênticas.

Pela análise dos resultados, verifica-se que as curvas obtidas pelos três métodos são dominadas por oscilações associadas à vibração da lajeta. Observa-se ainda que, em todos os três métodos, a redução sonora obtida pela lajeta sobre espuma de poliuretano com 30 mm é a que apresenta, claramente, melhor desempenho acústico. O sistema com a espuma de 10mm de espessura apresenta um desempenho intermédio, enquanto a espuma de poliuretano com 5 mm apresenta resultados menos satisfatórios. Para os resultados obtidos de acordo com a NP EN ISO 140-8, utilizando uma lajeta de $0.4(\text{m}) \times 0.6(\text{m}) \times 0.05(\text{m})$, verifica-se que, à medida que a frequência aumenta, as curvas referentes à espuma de poliuretano de diferentes espessuras e densidades idênticas tendem a aproximar-se, denotando que o aumento da redução sonora com a espessura se observa, sobretudo, nas baixas e

médias frequências. Nas curvas obtidas pelos restantes métodos, este comportamento não é tão notório.

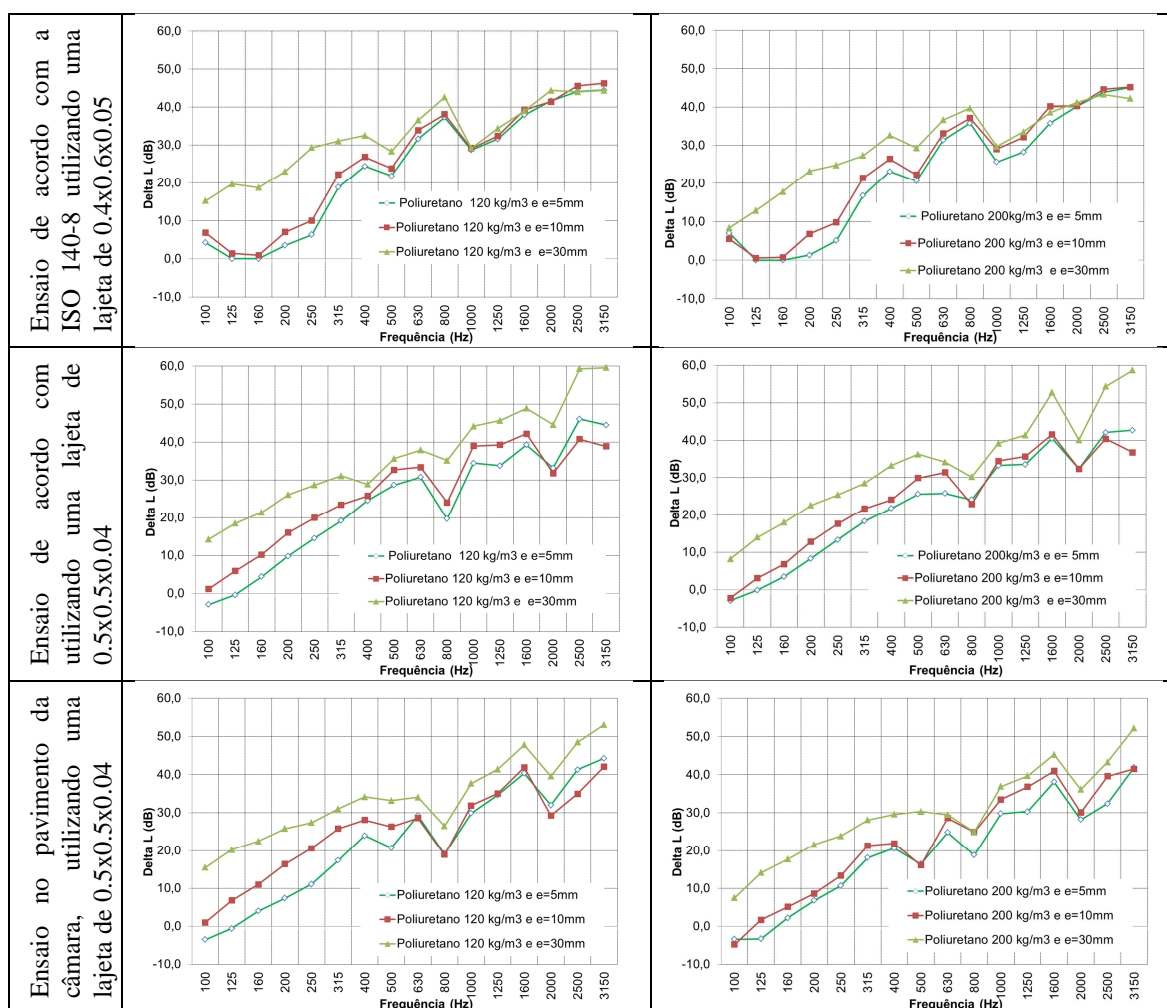


Figura 6 – Redução sonora obtida para uma lajeta de betão sobre espuma de poliuretano com diferentes densidades e espessuras utilizando diferentes métodos de medição.

4 Conclusões

No presente artigo foi avaliada a redução sonora resultante de um ruído de impacto normalizado, proporcionada por sistemas de lajeta flutuante onde se fizeram variar as dimensões da lajeta (0.25 a 0.96 m²). As curvas de redução sonora foram obtidas utilizando diferentes metodologias experimentais que envolvem a utilização de amostras de dimensões reduzidas. Um dos métodos utilizados, baseia-se no documento técnico ISO/CD 16251-1, sendo necessário efetuar registos de níveis de vibração numa laje de betão com dimensões reduzidas, sem e com o revestimento aplicado, quando atua uma máquina de percussão normalizada. A redução sonora é obtida diretamente, fazendo a diferença entre estes dois níveis. O outro método utilizado é semelhante a este, sendo as medições efetuadas no pavimento de uma câmara acústica, ao invés da laje de betão.

Os resultados obtidos permitem concluir que as curvas de redução sonora resultantes da avaliação dos níveis de vibração tendem a aproximar-se da curva normalizada, para soluções de manta flexível de

espessura reduzida (cerca 5 mm). No entanto, os resultados apresentam oscilações atribuídas aos modos de vibração da lajeta. Verificou-se ainda que maiores dimensões da lajeta são conducentes a curvas de redução sonora com oscilações em frequências mais baixas, ainda assim, dentro da gama de interesse. Um aumento da espessura da lajeta, desde que moderado, poderá conduzir a um aumento do desempenho acústico. Quando a manta flexível apresenta uma espessura maior (resultando num desempenho acústico melhorado), os resultados que melhor se aproximaram da curva normalizada foram os obtidos para a lajeta de maiores dimensões.

Através da comparação dos resultados obtidos pelos dois métodos de medição analisados, verificou-se que, para as medições realizadas no pavimento da câmara acústica, a redução sonora nas altas frequências apresenta amplitudes menores.

Conclui-se ainda que qualquer um dos métodos utilizados, embora não permita reproduzir os resultados obtidos no método normalizado poderá ser utilizado para analisar comparativamente o desempenho acústico de sistemas de lajetas flutuantes, numa fase preliminar de avaliação de soluções.

Referências

- [1] RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei nº 129/2002 de 11/05, com a nova redação dada pelo Decreto-Lei nº 96/2008 de 09/06.
- [2] Standard ISO 140-8: 1997(E). Acoustics-Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 8: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a heavyweight standard floor.
- [3] 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.
- [4] O-H. Bjor: Simplified measurement of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings, Proc 2010, BNAM 2010 – Bergen.
- [5] 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, 28 Junho a 1 Julho de 2011, pp. 1371-1376.
- [6] K. Miškinis, V. Dikavičius, J. Ramanauskas, R. Norvaišienė, Dependence between Reduction of Weighted Impact Sound Pressure Level and Specimen Size of Floating Floor Construction, *Materials Science*, Vol. 18 (1), 2012, pp. 93-97.
- [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.
- [8] N. Sousa, Caracterização do comportamento acústico a sons de percussão de soluções à base de espumas de poliuretano, tese de mestrado integrado, FEUP, 2008.