XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

APLICAÇÃO E ANÁLISE DA ISO 16251-1 PARA DETERMINAÇÃO DA REDUÇÃO SONORA AO IMPACTO DE REVESTIMENTO RESILIENTE FLEXÍVEL

Ricardo Netto Carminatti (1); Erasmo Felipe Vergara (2)
(1) Eng., Mestrando do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, ricardo@labcon.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina.
(2) Dr. Eng., Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, e.f.vergara@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Vibrações e Acústica, Cx Postal 476, Florianópolis–SC, 88040-870, Tel.: (48) 3721 9227

RESUMO
O ruído de impacto em pisos, no Brasil, vem sendo um tema com maior evidência após a publicação da NBR 15575 (ABNT, 2013), na qual são tratadas as exigências de desempenho em edificações habitacionais. Fabricantes e fornecedores de materiais acústicos, desta forma, sentem a necessidade de rápido desenvolvimento de seus produtos, desde a concepção dos materiais utilizados, até os testes em laboratório e campo, buscando o desempenho requerido pelo setor. A ISO 16251-1 (2014), recentemente publicada, traz um procedimento alternativo aos métodos tradicionais para determinação laboratorial do isolamento acústico ao impacto (ISO 10140-3, 2013), contando com uma bancada reduzida, de baixo custo e simplicidade operacional. Esta pesquisa vem aplicar a ISO 16251-1 (2014) e analisar seus resultados comparativamente a outros métodos, utilizando um revestimento resiliente flexível, composto de grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano. Os resultados encontrados para a redução sonora ponderada do material, em três espessuras distintas, foram 24 dB – 3 mm, 25 dB – 5 mm e 29 dB – 8 mm, mostrando-se condizentes com a ficha técnica do fabricante (21 dB – 3 mm e 26 dB – 8 mm), e com os resultados pelo método tradicional (24 dB – 5 mm e 25 dB – 8 mm) aplicado na pesquisa de Siqueira *et al.* (2018). Comparando-se com um método analítico, encontra-se coerência na inclinação de aumento de 40 dB/década nas bandas de frequência de terço de oitava, contudo o procedimento experimental adotado possui características que não são abordadas pelo método teórico, influenciando no distanciamento dos resultados analíticos ao estudo de caso.
Palavras-chave: isolamento acústico, ruído de impacto em pisos, revestimentos resilientes.

ABSTRACT
The impact noise in floors in Brazil has been a subject with greater evidence after the publication of NBR 15575 (ABNT, 2013), where the performance requirements in residential buildings are addressed. In this way, manufacturers and suppliers of acoustic materials feel the need for faster development of their products, from the materials design, to laboratory and field tests, seeking the performance required by the sector. The recently published ISO 16251-1 (2014) provides an alternative procedure to the traditional methods for laboratory determination of impact sound insulation (ISO 10140-3, 2013), with a compact slab of low cost and operational simplicity. This research applies ISO 16251-1 (2014) and analyzes its results comparatively to other methods, using a flexible resilient covering composed of polyurethane agglomerated recycled tire granules. The results obtained for the weighted impact sound reduction in three different thicknesses were 24 dB - 3 mm, 25 dB – 5 mm and 29 dB - 8 mm, being compatible with the manufacturer's technical data sheet (21 dB – 3 mm and 26 dB – 8 mm), and with the research results by the traditional method (24 dB – 5 mm and 25 dB – 8 mm) applied by Siqueira *et al*. (2018). Comparing with an analytical method, the increase slope of 40 dB/decade in the octave third frequency bands is consistent, however the experimental procedure adopted has characteristics that are not approached by the theoretical method, influencing the distancing of the analytical results to the case study.
Keywords: acoustic insulation, noise impact floors, resilient coverings.

1. INTRODUÇÃO

Uma das causas de ruídos em edifícios é o som de impacto produzido em pisos por objetos caindo ou pessoas caminhando. Em cada país, as exigências acústicas definem demandas que visem minimizar os problemas produzidos por ruídos, os quais em geral exigem a verificação dos níveis de ruído de impacto no ambiente receptor e seu correspondente valor ponderado (PEREIRA *et al.*, 2014). Godinho *et al*. (2010), complementam que soluções construtivas que minimizam a transmissão dos ruídos de impacto tem sido um tema de interesse não somente para a comunidade científica mas também para a indústria da construção.

A norma brasileira de desempenho em edificações habitacionais NBR 15575 (ABNT, 2013), estabelece requisitos mínimos de atendimento e eficiência acústica. Fabricantes e fornecedores de materiais acústicos têm sentido a necessidade de desenvolvimento de seus produtos que, em geral, são compostos por revestimentos flexíveis, pisos flutuantes e lajes flutuantes. Estas soluções, de forma padrão, são avaliadas experimentalmente em laboratório a partir dos procedimentos definidos pela ISO 10140-3 (2010), e ainda de acordo com Pereira *et al*. (2014), esse método envolve o uso de infraestrutura com alto custo de construção e manutenção, [...] e, no estágio inicial do desenvolvimento de produtos pode ser mais interessante usar outras metodologias, com custos mais baixos, para prever a redução do impacto do revestimento de pisos.

Sommerfeld (2009), comenta que foi desenvolvida uma compacta instalação de medição que pode ser usada com poucas adequações e que fornece bons resultados, baixo esforço e fácil manuseio e, ainda, cumpre os requisitos. O procedimento, descrito no documento técnico da ISO 16251-1 (2014), requer uma instalação de laje de pequenas dimensões suportada, na qual medidas de vibração são obtidas quando uma máquina de impacto normalizada excita o sistema, sem e com o revestimento na laje (PEREIRA *et al.*, 2014).

Os revestimentos resilientes flexíveis são muito utilizados em sistemas de pisos flutuantes (camada intermediária entre piso e contrapiso), ou como acabamento final em ambientes com alto teor de impacto ao piso, como academias, *playgrounds*, ou até mesmo ambientes corporativos. Alguns exemplos destes produtos são os carpetes, os pisos laminados e as mantas emborrachadas (caso deste estudo).

Conforme mensionado por Hopkings (2007), a análise teórica de um sistema composto por uma laje coberta por um revestimento resiliente flexível sendo excitada pela máquina de impacto, leva em consideração uma dimensão infinita para a laje. Segundo Beranek e Vér (2006), neste método é assumido que a laje é homogênea e isotrópica, isto é, que suas propriedades físicas são constantes independentes da direção. Por outro lado, o estudo de Pereira *et al.* (2014) verificou que a configuração da laje em formato reduzido produz pelo menos dois efeitos na faixa de frequências entre 10 Hz e 1000 Hz, sendo a primeira identificada como a frequência de ressonância do efeito massa-mola-massa, próxima de 40 Hz, e a segunda como o primeiro modo de flexão da bancada, próxima de 550 Hz.

Outros fatores significativos ao método teórico são intrínsicos à escolha do material empregado para análise, pois suas características mecânicas, em especial seu módulo de elasticidade dinâmico e sua espessura, tem influência direta nos resultados teóricos. Sobre a relação entre essas duas variáveis, Beranek e Vér (2006) comentam que, para a maioria dos materiais elásticos, o módulo de elasticidade dinâmico é aproximadamente o dobro do módulo de elasticidade estático (módulo de Young). Contudo, para o material do revestimento em estudo, de acordo com Gere e Goodno (2011), a borracha apresenta valores entre 0,0007 GPa e 0,004 GPa, que reflete uma variação de 571% na característica geral do seu módulo de elasticidade. Também vale ressaltar, conforme comentado por Bodlund e Jonasson (1983) *apud* Hopkings (2007) que "os resultados podem diferir dependendo se a cobertura é solta ou se um adesivo de fixação é usado" [1] na aplicação do revestimento na laje.

Diante disso, podemos prever diferenças entre o método experimental da bancada em tamanho reduzido e o método analítico com laje adimensional, assim como variações entre as características mecânicas teóricas do revestimento, e seu comportamento experimental.

2. OBJETIVO

Aplicar e analisar os procedimentos da ISO 16251-1 (2014), em laboratório, determinando a redução sonora ao impacto de um revestimento resiliente flexível amostral, a partir da comparação de seus resultados com dados técnicos fornecidos pelo fabricante, resultados experimentais encontrados na literatura científica pelo método tradicional da ISO 10140-3 (2010), e por um método analítico.

3. MÉTODO

Esta pesquisa é de caráter quantitativo e pretende gerar conhecimentos para aplicação prática. Desse modo, quanto a sua classificação e finalidade, esta pesquisa se caracteriza como aplicada ou tecnológica.

[1] Tradução livre pelos autores.

Dar-se-á ênfase aos procedimentos aplicados de modo experimental em laboratório, conforme referências normativas (ISO 16251-1:2014 e ISO 717-2:2013), e com um estudo de caso da aplicação destas em um revestimento resiliente flexível escolhido, a fim de verificar com profundidade as técnicas empregadas, resultados obtidos e suas variáveis.

3.1. Procedimento operacional

3.1.1. Montagem do sistema

Seguindo os padrões da norma referenciada, foi produzida uma laje de concreto em tamanho reduzido, com as dimensões de 1,20 m x 0,80 m, com 0,20 m de espessura, e característica estrutural buscando aproximação ao concreto denso (*heavyweight base floors*) com densidade de 2.300 kg/m³. A laje foi suportada por quatro pilares de concreto, isolados por amortecedores elásticos em todas extremidades, com área de contato máxima de 0,10 m x 0,10 m. Para excitação mecânica do sistema utilizou-se uma máquina de impacto padrão, e para captação da aceleração vibracional, acelerômetros acoplados abaixo da laje e conectados a um sistema de processamento de dados (software Siemens *LMS – Spectral Impact Test*).

A redução da transmissão do ruído de impacto, principal indicador vibroacústico procurado, foi pesquisado mediante aplicação de um revestimento de grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano. As amostras, em três espessuras diferentes – 3 mm, 5 mm e 8 mm, continham dimensões padrões de 0,50 m x 0,80 m. Conforme montagem completa do procedimento apresentado na Figura 1, fez-se a captação da transmissão da aceleração vibracional, com e sem a aplicação do revestimento, determinando assim, a diferença entre as duas medidas, apresentadas na Equação 1.

$$\Delta Ln = Ln\ (laje)\ -\ Ln\ (manta) \qquad \text{Equação 1}$$

Sendo:
ΔLn é redução sonora ao impacto [dB];
Ln é o nível de aceleração vibracional [dB];



Figura 1 – (a) Bancada de laje reduzida, e (b) Bancada com aplicação do revestimento.

3.1.2. Equipamentos

Abaixo se apresentam as características dos equipamentos, e na Figura 2 sua montagem durante testes.

- Máquina de Impacto Brüel & Kjaer, modelo DK-2850;
- Acelerômetros Brüel & Kjaer, modelo 4519;
- Calibrador de vibração Brüel & Kjaer, modelo 4294;
- Sistema de aquisição de dados LMS Scadas Mobile, modelo SCM201;
- Software Siemens LMS Test Lab – Spectral Impact Test;



Figura 2 - Equipamentos

3.1.3. Medições

Antes de iniciar a excitação do sistema, é captado o ruído de fundo por meio da vibração estrutural do sistema, caso ocorra, inerente ao espaço físico de testes. Após iniciada excitação mecânica, tomam-se medidas em duas posições para a máquina de impacto, com utilização de quatro acelerômetros na parte inferior da bancada, e obtêm-se assim, oito resultados de aceleração vibracional para cada ciclo de testes. Na aquisição de dados, cada ciclo repetiu-se três vezes, gerando uma média para cada um dos oito resultados, e seus respectivos desvios. Para um ciclo, o tempo total adotado foi de 22,4 s – 70 registros de 0,32 s. Com os valores captados, aplicou-se a Equação 2, conforme ISO 16251-1 (2014).

$$La = 10 * \log \frac{1}{Tm} \int_0^{Tm} \frac{a(t)^2 dt}{a_0^2} \qquad \text{Equação 2}$$

Sendo:
La é o nível de aceleração vibracional [dB];
Tm é o tempo total de integração [s];
a(t) é a aceleração vibracional instantânea [m/s²];
dt é o instante de tempo [s];
a_0 é a aceleração vibracional de referência ($1x10^{-6}$) [m/s²];[2]

Os resultados das medições, com e sem revestimento, devem ser corrigidos pelo ruído de fundo, conforme correspondente indicação na ISO 16251-1 (2014).

A diferença de nível de aceleração vibratória, para cada posição de acelerômetro e posição de máquina de impacto, é individualmente calculada, para após obter-se a média aritmética da redução total do impacto sonoro que o revestimento proporciona. Com o resultado final, utilizando os valores encontrados nas bandas de frequência central de terço de oitava (entre 100 a 3.150 Hz), calculou-se a redução do impacto sonoro ponderado (ΔLw), aplicando-se a Equação 3, conforme procedimentos da norma ISO 717-2 (2013). A ponderação dos níveis de redução sonora levam em consideração a curva de referência para impacto sonoro e os valores para o nível de pressão sonora normalizados do piso de referência da referida norma.

$$\Delta Lw = 78 - Ln, r, w \qquad \text{Equação 3}$$

Sendo:
ΔLw é redução sonora ponderada ao impacto [dB];
Ln,r,w é o nível de aceleração vibracional calculado, normalizado ponderado pelo piso de referência [dB];

3.1.4. Referências de redução sonora comparativas

O revestimento escolhido para testes, apresenta duas fontes comparativas com os resultados de níveis de redução sonora ponderados, conforme Tabela 1. Na ficha técnica solicitada ao fabricante, é apresentado seu valor individual, sem menção à qual tipo de procedimento laboratorial foi realizado. Na pesquisa de Siqueira

[2] Referência normativa segundo a ISO 16251-1 (2014).

et al. (2018), os resultados foram encontrados aplicando-se a metodologia tradicional, conforme ISO 10140-3 (2010).

Tabela 10 – Referências de redução sonora comparativas.

Espessura da manta	ΔLw (Fabricante)	ΔLw (Siqueira *et al., 2018*)
3 mm	21	-
5 mm	-	24
8 mm	26	25

3.2 Método Analítico

Para Beranek e Vér (2006), a curva padrão que apresenta a melhoria do isolamento ao impacto - Figura 3(a), com a relação de ΔLn *versus* a frequência, foi medida e reportada para uma grande variedade de revestimentos elásticos. Ainda, mencionando que as Figuras 3(a) e 3(b) "permitem selecionar um revestimento elástico que alcancem o ΔLn especificado" [3] (BERANEK e VÉR, 2006), demonstram que é possível utilizar estes gráficos para qualquer tipo de revestimento resiliente flexível.

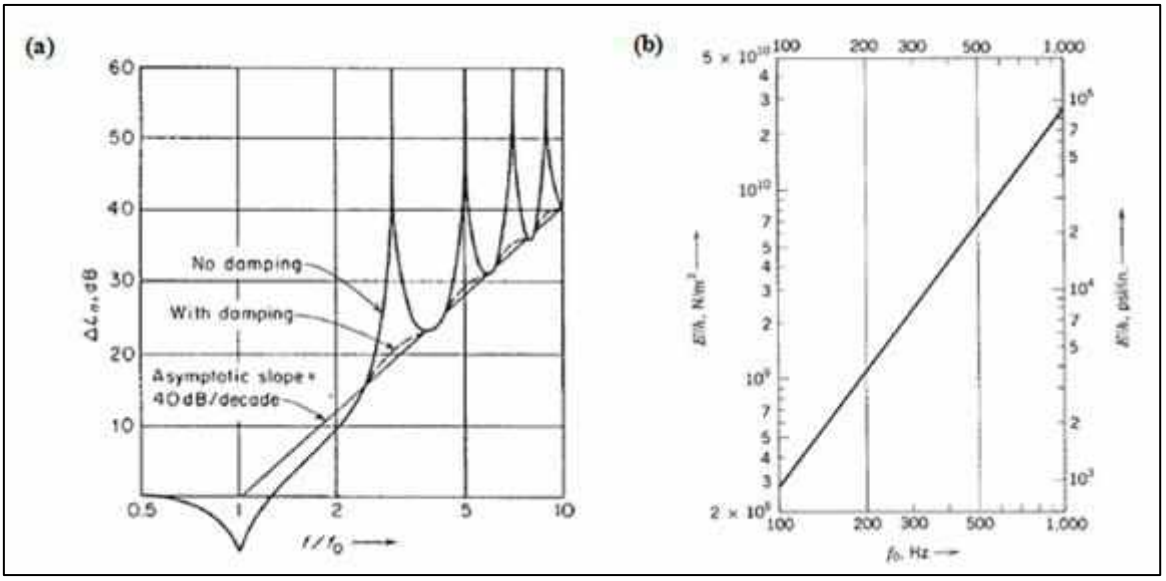

Figura 3 – (a) Redução ao ruído de impacto, ΔLn, em função da frequência normalizada f/f_0, e (b) Seleção de um revestimento elástico, em função da frequência característica f_0 (VÉR, 1970).

Conforme a publicação de Vér (1970), na Figura 3(a) podemos observar que a característica geral é de um comportamento nulo abaixo da frequência normalizada do sistema (relação entre frequência requerida e a frequência característica), e acima desta, apresenta um acréscimo linear de 40 dB/década (12 dB/oitava). O cálculo da frequência característica do sistema de pisos, excitado pela máquina de impacto, e coberto por um revestimento resiliente flexível, é apresentada por Vér (1970), como:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{m}}\sqrt{\frac{E}{h}} \qquad \text{Equação 4}$$

Sendo:
f_0 é frequência característica do sistema [Hz];
A é a área de contato do martelo de impacto [m²];
m é a massa do martelo de impacto [kg];
E é o módulo de Elasticidade dinâmico do revestimento [N/m²];
h é a espessura do revestimento [m];

Um exemplo trazido por Beranek e Vér (2006), evidencia a possibilidade de análise gráfica reversa ao método de cálculo, onde, a partir do nível de redução sonora ponderado obtido experimentalmente para uma dada frequência, descobre-se a frequência característica do sistema, assim como, a razão do módulo de elasticidade dinâmico pela espessura da manta a ser escolhida.

[3] Tradução livre pelos autores.

De modo a utilizar os gráficos da Figura 3 com maior precisão, pôde-se reproduzí-los e extraiu-se suas equações aproximadas, conforme Gráficos 1(a) e 1(b), e Equações 5 e 6, respectivamente.

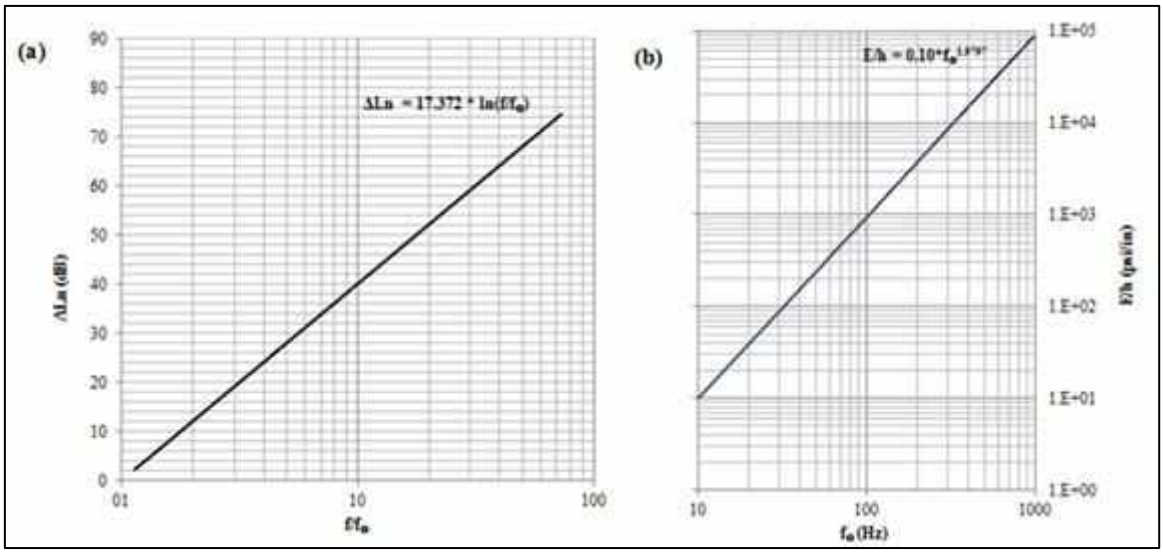

Gráfico 1 – (a) Reprodução e equacionamento da Figura 3(a), e (b) Reprodução e equacionamento da Figura 3(b).

$$\Delta Ln = 17{,}372 * \ln(f/f_0) \qquad \text{Equação 5}$$

Sendo:
ΔLn é redução sonora ao impacto [dB];
f/f_0 é a frequência normalizada do sistema [adimensional];

$$E/h = (0{,}10 * f_0^{1{,}9797}) * 300.000 \qquad \text{Equação 6}^4$$

Sendo:
E/h é a razão do módulo de Elasticidade dinâmico *versus* espessura do revestimento [N/m³];
f_0 é frequência característica do sistema [Hz];

4. RESULTADOS

Os níveis de aceleração sonora (Ln) para a laje nas frequências entre 80 Hz e 5.000 Hz, com e sem as mantas, são elucidados no Gráfico 2, e os respectivos níveis de redução sonora (ΔLn) das mantas, no Gráfico 3. Os desvios apresentados nos gráficos correspondem à faixa de variação média de 3 dB para cada uma das curvas plotadas.

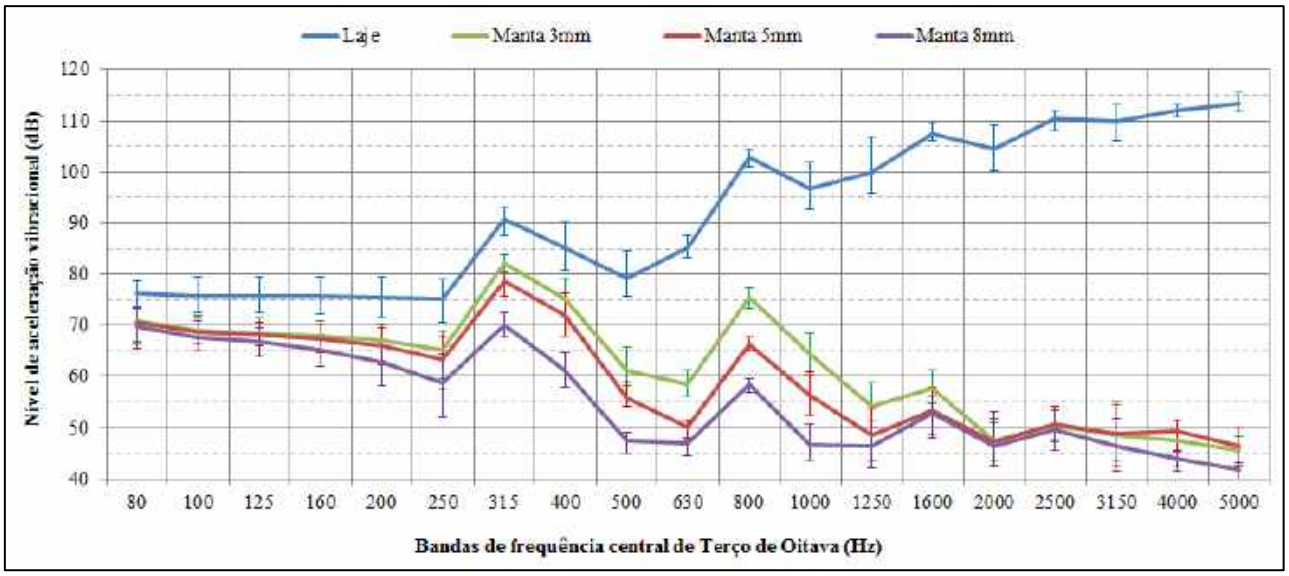

Gráfico 2 – Nível de aceleração vibracional da laje, com e sem mantas.

[4] A relação psi/in = 6894,76 (N/m²) / 0,0254 (m), equivale à aproximadamente 3x10⁵ (N/m³).

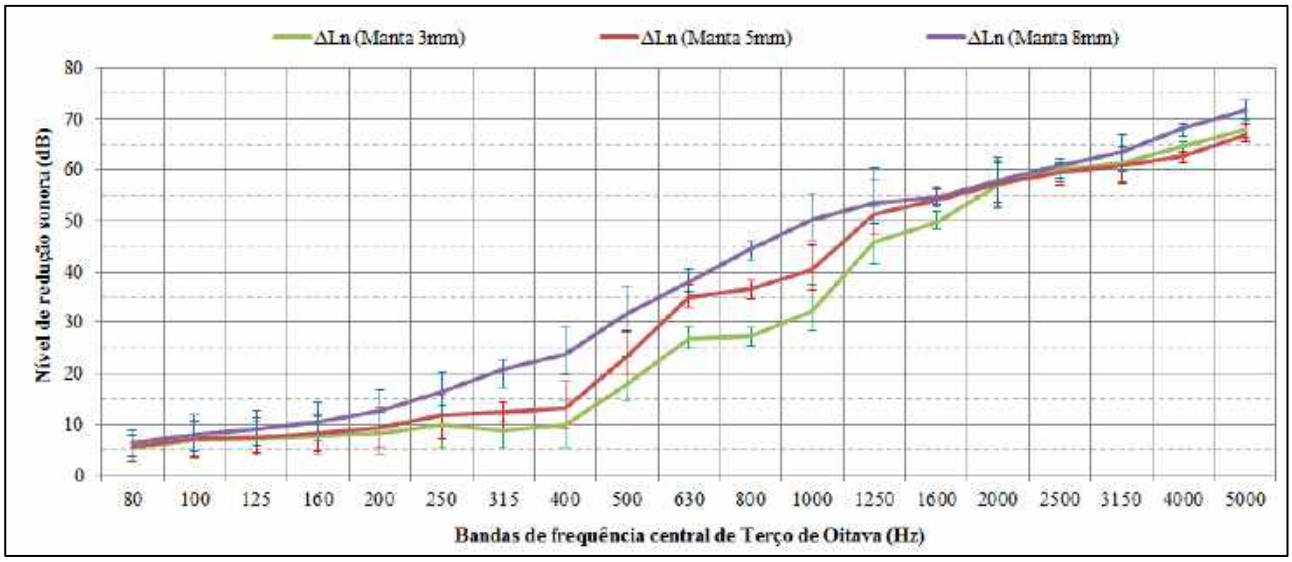

Gráfico 3 – Nível de redução sonora das mantas.

Os valores de redução sonora ponderada, para cada uma das mantas, comparativamente a outras referências mencionadas na Tabela 1, apresentam-se no Gráfico 4. Com relação à ficha técnica do fabricante, há proximidade dos dados obtidos, com um erro percentual de 12% para a manta de 3 mm, e 14% para a manta de 8 mm. Não há dado comparativo diretamente do fabricante para a manta de 5 mm, porém observando-se as linhas de tendência dos dois resultados, estima-se que também há convergência para esta avaliação. Pela pesquisa de Siqueira *et al*. (2018), os resultados apresentam erros percentuais de 4% para a manta de 5 mm e 16% para a manta de 8 mm. Sua linha de tendência também mostra-se coerente para a manta de 3 mm na qual não foi experimentada pela pesquisa em questão.

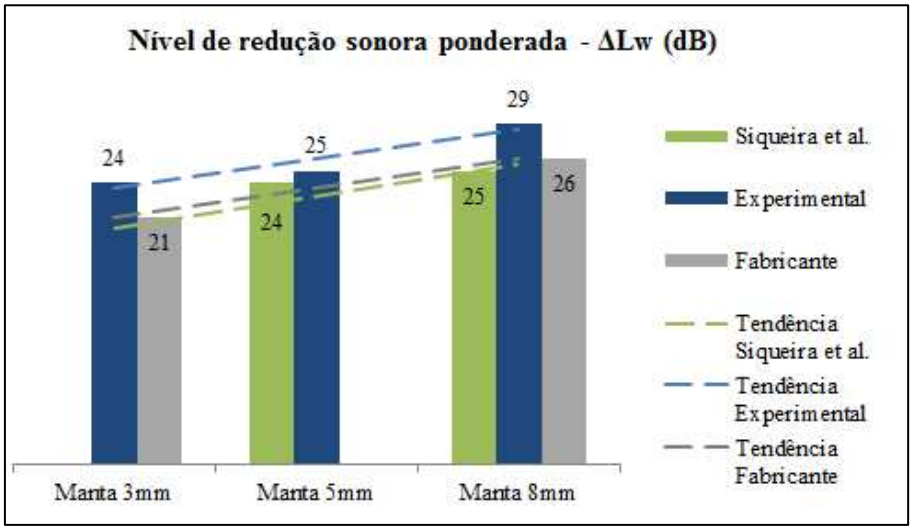

Gráfico 4 – Comparativo entre os dados experimentais e do fabricante.

4.1 Comparação com método analítico

As frequências características calculadas para as três mantas testadas, foram determinadas pela Equação 4, e utilizando-se os dados divulgados pelo fabricante (razão "E/h"), conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Dados para cálculo da frequência característica dos sistemas.

Espessura das mantas "h" (m)	0,003	0,005	0,008
Área de contato do martelo "A" (m²)	0,0007	0,0007	0,0007
Massa do martelo de impacto "m" (kg)	0,5	0,5	0,5
Razão "E/h" (N/m³)	$0{,}34 \times 10^8$	$0{,}22 \times 10^8$	$0{,}27 \times 10^8$
Frequência característica "f_0" (Hz)	**34,89**	**28,07**	**31,09**

Tomando como referência o gráfico da Figura 3(b), os valores da relação "E/h" utilizados na Tabela 2 são encontrados graficamente abaixo de 100 Hz para a frequência característica do sistema, que demonstra coesão nos resultados obtidos pelo cálculo analítico.

Quando aplicadas as frequências características analíticas, na relação "f/f_0", em função das bandas de frequências centrais de terço de oitava, pela Equação 5, nota-se uma discrepância entre os resultados do método experimental e analítico, conforme Gráfico 5, onde as linhas de tendência são provenientes da curva experimental, e a assíntota proveniente do método analítico.

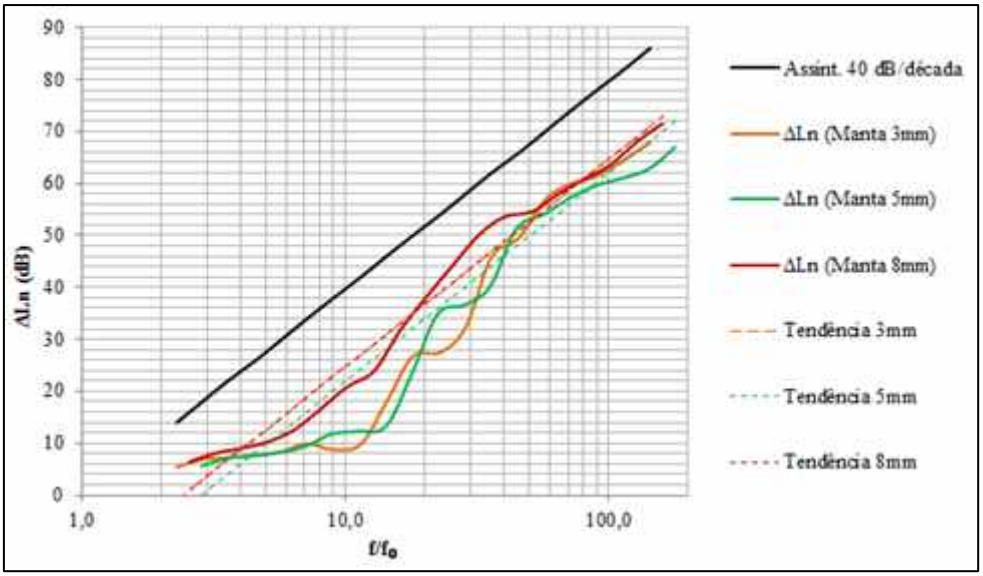

Gráfico 5 – Comparação resultado analítico e experimental de ΔLn *versus* f/f_0

Apesar das linhas de tendência apresentarem a correta inclinação de 40 dB/década, elas estão defasadas abaixo da assíntota, diretamente afetadas pelos valores calculados das frequências características, que por sua vez tem como seu único parâmetro variável, os dados externos da razão "E/h" utilizados (fabricante).

Como prova desta teoria - utilizando o exemplo de análise gráfica reversa, com os dados experimentais da redução sonora e as bandas de frequência centrais de terço de oitava aplicados na Equação 5, encontramos os valores para a frequência característica do sistema. Obtem-se assim, o valor médio para cada uma das três espessuras de revestimentos testados (114,68 Hz para 3 mm; 102,25 Hz para 5 mm; e 70,85 Hz para 8 mm).

Quando plotada no Gráfico 6, a Equação 5 com as novas frequências características pelo método inverso de cálculo, encontramos a correção ao Gráfico 5 apresentado anteriormente.

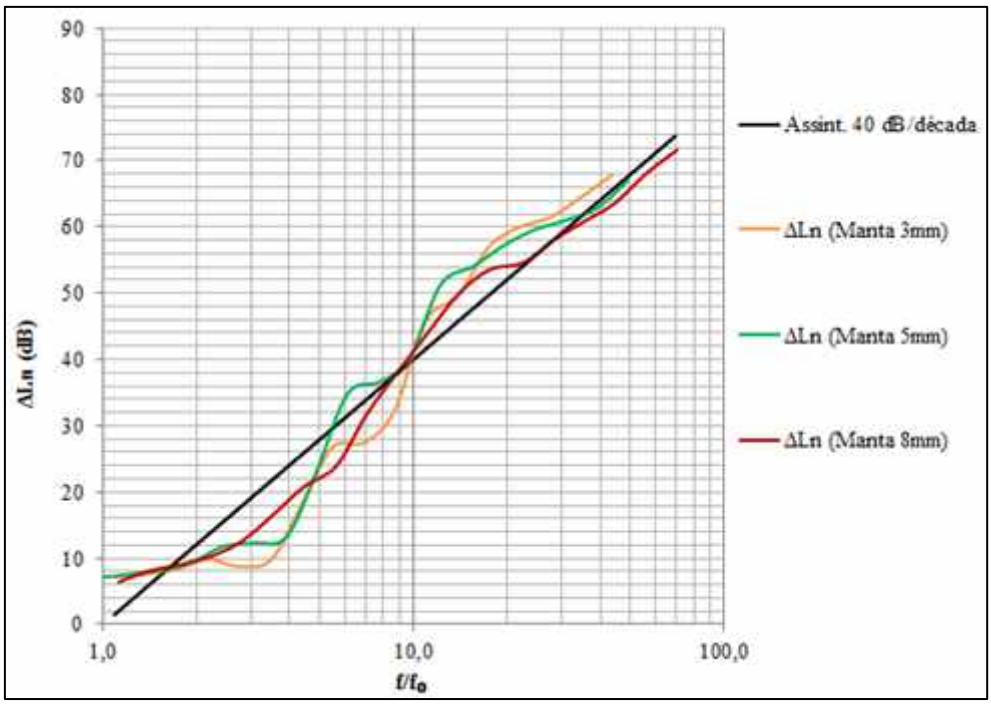

Gráfico 6 – Método gráfico reverso com ΔLn *versus* f/f_0.

A partir desta correção aplicada na Equação 6, podemos verificar a relação "E/h" utilizada na Tabela 2, porém os valores encontrados são $3{,}6x10^8$(N/m³) para a manta de 3mm, $2{,}8x10^8$(N/m³) para a manta de 5mm, e $1{,}3x10^8$(N/m³) para a manta de 8mm, respectivamente 406%, 1.293% e 1.325% maiores que os dados utilizados no primeiro método direto de análise. Estes resultados não são surpreendentes quando pondera-se a variação do módulo de elasticidade do material utilizado.

5. CONCLUSÕES

A determinação da redução sonora ponderada mediante aplicação da ISO 16251-1 (2014) e ISO 717-2 (2013), mostrou-se eficaz, metodologicamente simples e sistematicamente confiável. Os resultados obtidos experimentalmente estão de acordo com o esperado, e comparativamente próximos de outras fontes encontradas. Outros estudos, como o de Sommerfeld (2009), Foret *et al*. (2011), e Schmidt *et al*. (2013), já comprovaram os resultados experimentais da ISO 16251-1 (2014) em comparação com os resultados experimentais da ISO 10140-3 (2010), demonstrando confiabilidade do método alternativo.

A comparação com um método analítico trouxe diversas considerações sobre as características dos materiais e do procedimento, como a influência da razão "E/h" e da consequente resposta de ressonância (característica) do sistema, para verificação gráfica e analítica entre os resultados. Apesar da correção feita nas frequências características do sistema para que o método gráfico analítico estivesse coerente, em teoria, os valores de redução sonora (ΔLn) abaixo destas frequências deveriam ser nulos, que divergem do caso real experimentado em laboratório. Sobre a comparação dos valores da razão "E/h" teóricos pelo método analítico, e fornecidos pelo fabricante, não há como concluir para qual faixa de valores o comportamento do sistema é mais adequado. Sugere-se em novas pequisas, a análise preliminar do comportamento elástico do material em laboratório, para diminuir a suposição e variabilidade deste dado.

Dentre os erros aleatórios e sistemáticos, comentam-se a seguir algumas situações que podem ocasionar desvios aos métodos experimentais e analíticos, e aos quais sugere-se maior aprofundamento em estudos futuros.

Assim como a impossibilidade de análise da frequência de ressonância e os modos de flexão da laje construída para os testes, por não terem sido medidos, é importante ressaltar que desvios inerentes aos problemas de homogeneidade e isotropia também podem ter ocorrido, já que seriam necessárias uma quantidade amostral significativa de bancadas para avaliação da ocorrência média desses efeitos. No Gráfico 2 nota-se a presença de dois picos nas frequências de 315 Hz e 800 Hz. Há possibilidade destes pontos representarem os modos de flexão da bancada (primeiro e segundo modos), porém é inconclusivo sem seu devido procedimento de medição.

Como uso ideal do revestimento, é recomendado pelo fabricante a aplicação de um adesivo para fixação deste na laje. Este procedimento não foi realizado em virtude da possibilidade de flexibilizar as trocas das mantas, e consequente diminuição no intervalo total de testes. Apesar de considerar os desvios atribuídos neste tema, também ponderou-se as possíveis variações de temperatura, umidade e ruído de fundo, que não eram controláveis no local de testes, e que seriam mais significativas, conforme mencionado nos procedimentos da norma.

Esta pesquisa traz uma contribuição significativa para a disseminação do método da ISO 16251-1 (2014) no Brasil, tendo em vista o baixo número de sua abordagem na literatura científica nacional, além das contribuições já citadas anteriormente ao processo de desenvolvimento de produtos para o setor, provendo recursos para atendimento das exigências acústicas em face ao conforto ambiental das edificações habitacionais brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

BERANEK, L. VÉR, I. L. **Noise and Vibration Control Engineering – Principles and Applications (2nd Edition).** 2006.

FORET, R. CHÉNÉ, J. GUIGOU-CARTER, C. A comparison of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings measured using ISO 140-8 and ISO/CD 16251-1. **Forum Acusticum.** Aalborg, Denmark. 2011.

GERE, J. GOODNO, B. **Mecânica dos Materiais – Tradução da 7ª Edição Norte-Americana.** 2011.

GODINHO L. MASGALOS, R. PEREIRA, A. BRANCO, F. On the use of a small-sized acoustic chamber for the analysis of impact sound reduction by floor coverings. **Noise Control Engineering Journal**, v.58, p.658-668. 2010.

HOPKINGS, C. **Sound Insulation (First Edition).** 2007.

ISO 10140-3. **Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 3: Measurement of impact sound insulation**; 2010.

ISO 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**; 2014.

ISO 717-2**. Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 2: Impact sound insulation;** 2013.

PEREIRA, A. GODINHO, L. MATEUS, D. RAMIS, J. BRANCO, F. Assessment of a simplified experimental procedure to evaluate impact sound reduction of floor coverings. **Journal Applied Acoustics**, v.79. p. 92-103, 2014.

SCHMIDT, J. WITTSTOCK, V. FORET, R. FICHTEL, C. SCHECK, J. Measuring the impact sound reduction at a compact measurement setup – Design, results and uncertainties. **Building Acoustics,** v.20, n.2, p. 107-140, 2013.

SIQUEIRA, A. PIRES, J. HEISSLER, R. OLIVEIRA, M. Análise do desempenho de camadas elásticas de pisos flutuantes. **XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica**. Porto Alegre, 2018.

SOMMERFELD, M. A simplified measurement method for the determination of impact sound reduction. **Proceedings of NAG/DAGA**, Rotterdam. International Conference on Acoustics. p. 689-694, 2009.

VÉR, I. L. Impact Noise Isolation of Composite Floors. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 50. p. 1043-1050, 1970.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.