DESEMPENHO ACÚSTICO DO CONTRAPISO FLUTUANTE COM MANTA DE POLIETILENO EXPANDIDO DE BAIXA DENSIDADE

MORAES, Rafael de Brito (1); CASAGRANDE, Douglas (2)

(1) *Aluno do curso de Mestrado Strictu Sensu em Engenharia Civil*, Universidade São Judas Tadeu, rafaeldebritomoraes@gmail.com

(2) *Prof. Dr. do curso de Mestrado Strictu Sensu em Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu e do curso de Edifícios, Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC-SP,* prof.doug@usjt.br , prof.doug@fatecsp.br

Resumo: *Muitas construtoras utilizam uma manta de polietileno expandido de baixa densidade entre o piso e o contrapiso dos apartamentos constituindo um sistema de contrapiso flutuante onde a manta atua como isolamento acústico. A norma brasileira NBR 15.575 estabelece critérios de desempenho acústico para a construção civil e seus sistemas construtivos, porém, há muita dúvida sobre a manutenção do desempenho acústico da manta ao longo da vida útil da edificação. O objetivo foi verificar o desempenho acústico da manta em relação ao ruído de impacto para as mantas de 5 mm e 10 mm de espessura. O método experimental buscou simular o desgaste natural das mantas com a aplicação de uma força de 12 tf produzindo uma deformação por compressão. As mantas foram inseridas no sistema construtivo e o nível de pressão sonora do ruído de impacto foi medido no ambiente receptor para as mantas em condições originais e após a deformação. Mesmo após a deformação, o sistema de contrapiso flutuante apresentou o nível de pressão sonora dentro do requerido pela norma para a manta de 5 mm. Para a manta de 10 mm o desempenho foi melhorado devido ao aumento da densidade da manta pela compactação.*

Palavras-chave: *desempenho acústico, acústica dos edifícios, manta de polietileno.*

Área do Conhecimento: *Engenharia Civil – Materiais de isolamento acústico.*

1 INTRODUÇÃO

A poluição sonora é sem dúvida uma poluição ambiental quase tão grave quanto a poluição atmosférica e vem exigindo muita atenção em todos os ecossistemas. Ela produz efeitos nocivos aos humanos (PARK) e também aos animais terrestres e marinhos (BRUMM). Muitas pesquisas ambientais em todo o mundo têm se preocupado em identificar o problema da poluição sonora e seus efeitos realizando medições e testes *in situ* e procurando caracterizar o ambiente e o local já habitado (PAIVA). No Brasil, a norma NBR 15.575 (ABNT) trata do desempenho em edificações habitacionais incluindo o desempenho ao isolamento acústico para o ruído de impacto. Este desempenho foi dividido em três faixas de eficiência conforme a medida do nível de pressão sonora média ponderada realizada no ambiente receptor. Para um nível de pressão sonora de até 80 dB sem tratamento acústico no piso, o desempenho acústico é classificado como mínimo. Para um nível de pressão sonora entre 55 dB até 65 dB com tratamento acústico no piso, o desempenho acústico é considerado intermediário e com o nível de pressão sonora menor do que 55 dB, o desempenho acústico ao isolamento do ruído de impacto é considerado superior. Desde a sua publicação, as construtoras têm se mobilizado para atender aos requisitos da norma. Por outro lado, pesquisas têm investigado materiais e sistemas interessantes para o isolamento acústico e o aproveitamento simultâneo de resíduos ambiental (BORGES, D'ALESSANDRO). Para o tratamento do isolamento acústico dos pisos entre as unidades de apartamento, as construtoras têm utilizado com frequência uma manta de polietileno expandido de baixa densidade sob o contrapiso o qual não encosta nas paredes dos cômodos do apartamento para que os ruídos de impacto não se propaguem através da estrutura para as unidades inferiores e nem superiores. Este sistema leva o nome de contrapiso flutuante (CANIATO,SCHIAVI). A manta de polietileno expandido de baixa densidade repousa sobre a laje e recebe sobre si o contrapiso, sendo instalada durante a construção da edificação e permanecendo no sistema durante todo o tempo de vida do edifício. Como as edificações possuem um longo período de vida e o crescimento urbano junto ao desenvolvimento tecnológico vêm causando acelerado aumento no nível de ruídos antropogênicos, faz-se muito necessária a verificação dos

processos construtivos atuais em relação ao seu desempenho ao longo do tempo de vida útil da edificação. Com isso, há um grande questionamento sobre a manutenção das características da manta de polietileno e de seu desempenho acústico ao longo dos anos de uso da edificação. Devido a isto, realizou-se neste trabalho, uma avaliação do desempenho acústico da manta de polietileno após um processo experimental de sobrecarga com máxima deformação da manta para comparar com o seu desempenho no estado original e principalmente se as características de desempenho acústico exigidas pela norma são atendidas.

2 MATERIAIS E MÉTODO

O objetivo deste trabalho foi verificar o isolamento acústico para ruídos de impacto no sistema de contrapiso flutuante construído sobre uma manta de polietileno expandido de baixa densidade. A manta usualmente utilizada na construção civil para esta finalidade possui espessuras de 5 mm e 10 mm. Buscou-se verificar a manutenção das características desta manta em relação ao isolamento acústico por meio de ensaios de deformação por sobrecarga, seguidos por ensaios de medida de nível de pressão sonora. Os ensaios foram realizados conforme as normas ISO 16.283-1:2014 *Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements Part 1: Airborne sound insulation*, ISO 16.283-2:2018 *Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation.*

A norma que apresenta o método de avaliação do isolamento acústico fazendo uso de uma máquina padronizada geradora de ruído de impacto é a norma ISO 16.283-2. De acordo com a norma ISO 16.283-2, o ruído de impacto deve ser gerado em pelo menos quatro posições diferentes e aleatoriamente distribuídas no piso a ser avaliado. Com isso, uma combinação de pelo menos quatro posições de microfones e pelo menos quatro posições da máquina de ruído de impacto devem ser utilizadas.

Os ensaios foram realizados *in situ*, em colaboração com a construtora Silvercon em duas unidades de apartamentos com dormitórios sobrepostos. Foram utilizados os apartamentos 124 e 134 do 12° e 13º andares respectivamente do edifício localizado no bairro da Vila Augusta, no município de Guarulhos/SP.

O piso de ensaio do cômodo no andar superior, situado no 13º andar do edifício, possui área de 7,68 m². Neste piso foram colocados quatro pontos para a excitação de ruído de impacto produzido por máquina padronizada.

O contrapiso foi executado seccionado para que fosse possível montar e desmontar, sem demolição. As placas de contrapiso foram pré-fabricadas com concreto de traço 1:2:2 e reforçado com tela nas dimensões de 44 cm x 57 cm x 5 cm. Estas placas foram justapostas sobre a manta no piso superior para a realização do ensaio de isolamento de ruído de impacto.

Foi medido o tempo de reverberação sonora do ambiente receptor cuja medida é usada para calcular o nível de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt}. A Equação 1 fornece o nível de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt} como:

$$L_{nt} = L_i - 10\log\frac{t}{t_0}(dB) \quad (1)$$

onde: L_{nt} = Nível de pressão sonora de impacto padronizado em dB.

L_i = Nível de pressão sonora médio na sala receptora quando o piso sob teste é excitado pela fonte sonora de impacto padronizada, em dB.

t = Tempo de reverberação do ambiente receptor em s.

t_0 = Tempo de reverberação de referência = 0,5 s.

No piso inferior foram emitidos ruídos aéreos produzidos por um alto-falante omnidirecional para medir o tempo de reverberação do som neste ambiente e obter o nível de pressão sonora do ruído de impacto padronizado L_{nt} . Essas medições foram realizadas conforme a norma ISO 354 empregando-se uma fonte de ruído omnidirecional como fonte de ruído impulsivo. Após o impulso acústico seguiu-se a medição do decaimento sonoro durante 15 segundos. Os valores dos tempos de reverberação foram efetuados em terças de oitava no ambiente receptor (piso inferior). As medições foram efetuadas para a posição da fonte de ruído omnidirecional sobre um tripé a 1,5 m de altura do piso do cômodo inferior. Foram realizadas medições de decaimento sonoro em 20 registros de resposta de reverberação após o impulso sonoro.

O nível de pressão sonora no piso inferior foi medido utilizando-se cinco microfones instalados no dormitório adjacente ao apartamento superior, no cômodo diretamente abaixo. Este ambiente também possui identicamente 7,68 m² de área de piso, 19,52 m³ de volume, 43,81 m² de área de superfície interna do ambiente e 2,54 m de pé-direito.

A norma ISO 717-2 apresenta o método para a obtenção do nível de pressão sonora do ruído de impacto padronizado ponderado $L_{nt,w}$. Segundo a norma ISO 717-2, obtém-se o gráfico com as medidas do nível de pressão sonora de ruído de impacto padronizado L_{nt} em bandas de terças de oitava entre 100 Hz a 3150 Hz. Os dados obtidos são comparados a uma curva de referência de nível de pressão sonora para ruído de impacto em função da frequência. Para determinar o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado $L_{nt,w}$, move-se verticalmente para cima a curva de referência até que a somatória dos valores entre a curva de ensaio e a curva de referência não exceda 32 dB. Quando a curva estiver posicionada no ponto mais baixo seguindo este critério, o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado $L_{nt,w}$ será a imagem do ponto na frequência de 500 Hz da curva de referência. Este procedimento foi realizado de forma automatizada pelo conjunto de equipamentos padronizados e certificados utilizados nestes ensaios e relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 – Marcas e modelos dos equipamentos utilizados nos ensaios.

Equipamento	Função
1 - Medidor de nível de pressão sonora portátil da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 2270.	Medir o nível de pressão sonora em dB.
2 - Amplificador de potência da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 2734.	Amplificar o som para o alto-falante.
3 - Alto-falante omnidirecional de alta potência da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 4292-L.	Emite o som para a medição do tempo de reverberação.
4 - Gerador de ruído de impacto padrão (*Tapping Machine*) da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 3207.	Gerar um ruído por impacto no contrapiso.

Fonte: O próprio autor

Os equipamentos possuem certificados de calibração com prazos de validade em vigor, emitidos pela empresa FALCÃO BAUER, a qual está integrada à Rede Brasileira de Calibração e devidamente credenciada pelo INMETRO.

A norma brasileira NBR 15.575 estabelece critérios para os níveis de pressão sonora de impacto padronizado e ponderado $L_{nt,w}$ medidos em campo. A norma classifica o desempenho acústico do sistema construtivo em três faixas conforme o valor dos níveis de pressão sonora de impacto padronizado e ponderado $L_{nt,w}$ medidos. Para os sistemas compostos por laje e contrapiso com tratamento acústico, uma medida de $L_{nt,w}$ entre 55 dB e 65 dB classifica o sistema construtivo em um nível de desempenho acústico intermediário. Para valores de $L_{nt,w}$ menores que 55 dB, o sistema é classificado em um nível superior de desempenho acústico, conforme mencionado anteriormente na Introdução.

Foram realizados ensaios de medida de pressão sonora envolvendo as mantas de polietileno expandido de 5 mm e 10 mm em seus estados originais. Estas mantas também foram ensaiadas após serem submetidas a uma deformação por sobrecarga de compressão fora do sistema construtivo por meio de um rolo compressor de 12 toneladas de força peso e posteriormente inseridas no sistema construtivo de contrapiso flutuante para o ensaio acústico.

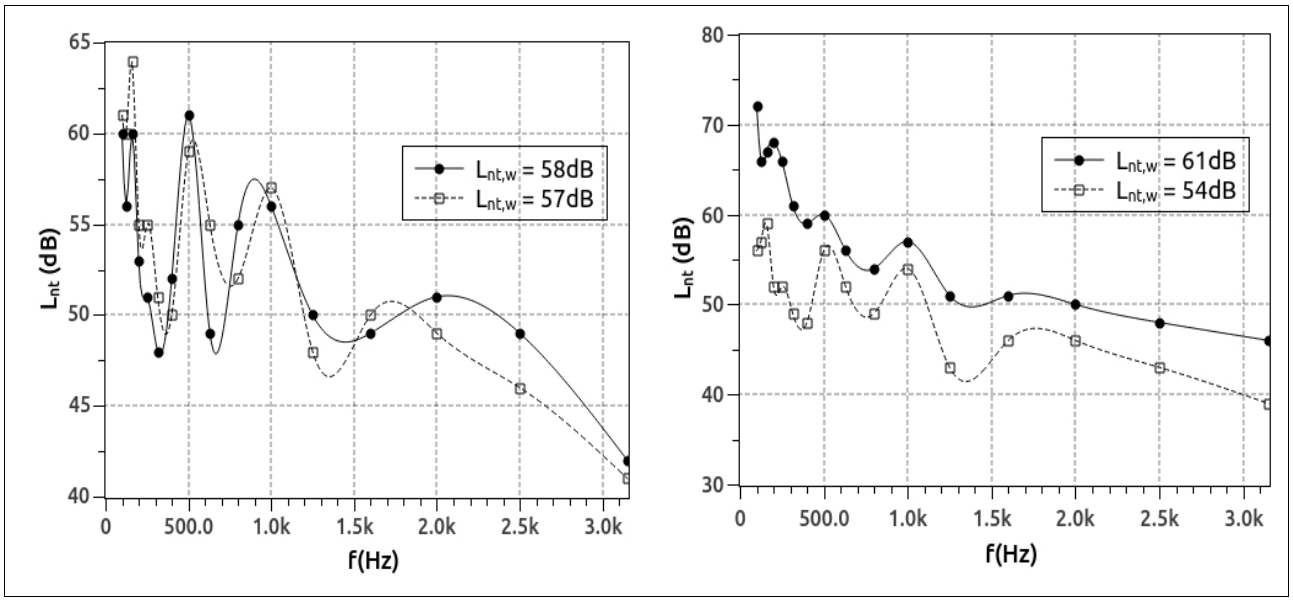
3 RESULTADOS

Os resultados foram condensados em dois gráficos de níveis de pressão sonora de impacto padronizados L_{nt} (dB) para o ruído de impacto em função da frequência em Hz juntamente com o cálculo dos valores dos níveis de pressão sonora de impacto padronizados ponderados $L_{nt,w}$.

Os gráficos dos níveis de pressão sonora de impacto padronizados em função das frequências podem ser vistos na Figura 1. À esquerda estão os resultados para a manta de 5 mm de espessura e à direita para a manta de 10 mm de espessura. As medidas para as mantas originais são dadas pela linha contínua. Os

resultados para as mantas deformadas são apresentados pelas linhas tracejadas.

Figura 1 – Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt} (dB) X f(Hz). À esquerda para a manta de 5 mm de espessura e à direita para a manta de 10 mm de espessura. O resultado para a manta original é mostrado pela linha cheia e para a manta com deformação pela linha tracejada.



Fonte: O próprio autor

O nível de pressão sonora de impacto padronizado e ponderado $L_{nt,w}$ para a manta de 5 mm foi obtido em 58 dB para a manta original e 57 dB para a manta deformada mantendo o desempenho acústico no nível intermediário conforme os critérios da norma brasileira NBR 15.575, mesmo após a deformação da manta.

Para a manta de 10 mm, o nível de pressão sonora de impacto padronizado e ponderado $L_{nt,w}$ foi obtido em 61 dB para a manta original e 54 dB para a manta deformada. O nível de desempenho para este sistema segundo a norma brasileira NBR 15.575 melhorou do nível intermediário para o nível superior após a deformação da manta de polietileno.

Para a manta de 5 mm de espessura, a diminuição do $L_{nt,w}$ é pequena mas observa-se no gráfico da Figura 1, à esquerda, uma mudança na impedância acústica da manta comprimida em relação à manta original na região de baixas frequências. Há um ligeiro aumento no nível de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt} para a manta comprimida (linha tracejada) em frequências abaixo de 750Hz em relação à manta original (linha contínua). Na região de mais altas frequências, o nível de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt} foi bem menor para a manta comprimida (linha tracejada) do que para a manta original (linha contínua). Essa inversão de comportamento entre as baixas e altas frequências para a manta de 5 mm comprimida em relação à manta original pode ser explicada se considerarmos que a impedância acústica é uma função direta da densidade do material a qual aumenta com a compressão da manta, mas também é função inversa da espessura do material. Este último efeito é especialmente observado na região de baixas frequências onde o comprimento da onda sonora é maior e a distância de percurso se tornou menor após a compressão da manta. A manta mais fina favoreceu a passagem de baixas frequências enquanto o aumento da densidade da manta melhorou o seu desempenho de isolamento acústico na região de frequências mais altas. Para a manta de 10 mm, pôde-se observar claramente pelo gráfico da Figura 1, à direita, uma melhora significativa do desempenho acústico em todas as frequências. A diferença de nível de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt} entre a manta original e a manta comprimida está bem visível neste gráfico, sendo bem menor para a manta comprimida. A impedância acústica da manta de polietileno expandido, a qual foi a única componente do sistema construtivo que sofreu alteração, mostrou uma coerência em resposta à excitação do ruído de impacto, diminuindo sempre proporcionalmente o nível de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt} em todas as frequências em relação à manta original. A deformação por compressão sobre a manta de 10 mm aumentou a densidade da manta reduzindo a sua transmissão para todas as faixas de frequência da pressão sonora do ruído de impacto e apesar de diminuir a sua espessura, esta redução não foi significativa para diminuir o desempenho na região das baixas frequências como ocorreu no caso da

manta mais fina de 5 mm. Mesmo com o aumento da densidade da manta devido à sua deformação por sobrecarga de compressão, a sua densidade ainda é bem menor do que a densidade do material compósito da laje e do material do contrapiso. Esta grande diferença de densidade entre o concreto da laje e a manta de polietileno de baixa densidade faz com que o som seja potencialmente refletido, especialmente na segunda interface manta-laje no percurso de ida. Enquanto a onda sonora refletida nesta interface percorre o caminho de volta através da espessura da manta em direção ao piso superior de onde foi emitida, ela encontra uma manta mais densa e perderá mais energia nesta propagação. Ao encontrar a superfície interna do contrapiso, reflete novamente em sua maior parte para o interior da manta e quanto maior for a espessura da manta maior será a perda de energia, também em baixas frequências, como foi observado para a manta de 10 mm de espessura.

4 CONCLUSÕES

Em ambos os casos para as mantas de 5 mm e 10mm, o nível de desempenho acústico do sistema construtivo não piorou quanto a manta foi deformada por compressão. Ele foi ainda melhorado para a manta de 10 mm com o aumento de sua densidade devido à deformação por compressão. O nível de pressão sonora de impacto padronizado e ponderado $L_{nt,w}$ diminuiu para as duas espessuras de mantas utilizadas. Para a manta de 5 mm houve uma diminuição de 58 dB para 57 dB mantendo o sistema construtivo no nível de desempenho intermediário. Para a manta de 10 mm a diminuição foi mais significativa caindo de 61 dB para 54 dB, elevando o nível de desempenho do sistema de intermediário para superior. A compressão promoveu um aumento da densidade das mantas o que efetivamente melhorou o desempenho do sistema. Pôde-se perceber também que a diminuição da espessura da manta mais fina de 5 mm devido à compressão causou uma ligeira piora no isolamento acústico para as baixas frequências, possivelmente devido ao menor percurso de propagação da onda sonora com maior velocidade em um meio mais denso e com maior do comprimento de onda nestas frequências. Este fato não chegou a comprometer o desempenho do sistema construtivo como um todo mantendo-o dentro dos níveis exigidos pela norma brasileira de desempenho.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à construtora Silvercon e ao sr. Murilo de Lara Eugenio Junior pela colaboração cedendo as unidades dos apartamentos para a realização dos ensaios.

Ao professor Maurício Marques Resende pelo empréstimo dos equipamentos de medição e pelas sugestões e apoio durante os ensaios.

Ao professor Cláudio Oliveira Silva pelas sugestões.

6 REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho, Rio de Janeiro, 2013.

BORGES, J. K. et al. An experimental study on the use of waste aggregate for acoustic attenuation: {EVA} and rice husk composites for impact noise reduction. Construction and Building Materials, [s. l.], v. 161, p. 501–508, 2018. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061817322870>, acesso em 09 de junho de 2019.

BRUMM, H., HORN, A.G., Noise Pollution and Conservation, in: J.C. Choe (Org.), Encycl. Anim. Behav., Second Ed., Academic Press, Oxford, 2019, pp. 254–259.

CANIATO, M. et al. Impact sound of timber floors in sustainable buildings. Building and Environment, [s. l.], v. 120, p. 110–122, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013231730197X>, acesso em 09 de junho de 2019.

D'ALESSANDRO, F.; ASDRUBALI, F.; BALDINELLI, G. Multi-parametric characterization of a sustainable lightweight concrete containing polymers derived from electric wires. Construction and Building Materials, [s. l.], v. 68, p. 277–284, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814006941>, acesso em 09 de junho de 2019.

PAIVA , K.M., et. al., Exposure to road traffic noise: Annoyance, perception and associated factors among Brazil's adult population, Sci.Total Environ. 650, 2019, pp. 978–986.

PARK, S. H.; LEE, P. J.; JEONG, J. H. Effects of noise sensitivity on psychophysiological responses to

building noise. Building and Environment, [s. l.], v. 136, p. 302–311, 2018.

SCHIAVI, A. Improvement of impact sound insulation: A constitutive model for floating floors. Applied Acoustics, [s. l.], v. 129, p. 64–71, 2018. Disponível em: <
HYPERLINK
"http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X17304176"http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X17304176>, acesso em 09 de junho de 201