SOLUÇÃO CONSTRUTIVA PARA SISTEMAS DE PISOS: DESEMPENHO ACÚSTICO

PARISE, Carlos Henrique (1); LORENZI, Luciani Somensi (2)

(1) Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, carlosh.parise@gmail.com;

(2) Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Luciani.lorenzi@ufrgs.br

Resumo: *O desempenho acústico do sistema de piso em relação aos ruídos de impacto continua sendo um tema bastante discutido no meio acadêmico e, frequentemente, gera dúvidas e discussões entre especialistas da área. Dada a necessidade de soluções e de acesso a informações acerca das mesmas no atual mercado, o campo de estudo da acústica de ruídos de impacto tem uma demanda considerável a ser suprida, não apenas na pesquisa e desenvolvimento de soluções alternativas para atendimento dos requisitos e critérios da NBR 15.575:2013 – "Edificações Habitacionais – Desempenho", mas também na busca por sistemas que atendam níveis superiores de desempenho. O objetivo desse Trabalho de Conclusão de curso é revisar os conceitos referentes à acústica, ao ruído de impacto, e ao isolamento do mesmo. Ainda, apresentar soluções construtivas para melhoria no isolamento, especificando e detalhando a que melhor atenda aos critérios da NBR 15.575:2.*

Palavras-chave: *NBR 15.575:2013; Desempenho Acústico de Pisos; Piso Flutuante.*

Área do Conhecimento: *Qualidade e desempenho de produtos e sistemas construtivos*

1 INTRODUÇÃO

A publicação da NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho foi um marco na construção civil brasileira, tendo a mesma provocado mudanças e debates ao longo de toda a cadeia industrial da construção civil: fornecedores, incorporadoras, construtoras, consultores e prestadores de serviço. Embora já se tenham passados dez anos da publicação da primeira versão da Norma de Desempenho Brasileira, muitas construtoras, principalmente as emergentes e de pequeno porte, ainda encontram dificuldades no atendimento dos requisitos de desempenho e ainda não assimilaram a dimensão da responsabilidade e riscos que assumem ao não atingir ao menos desempenho mínimo. Em virtude disso, o presente trabalho aborda de maneira simples, mas fundamentada, o desempenho acústico de sistemas de piso e os fatores que alteram seu desempenho.

O presente trabalho tem como objetivo principal a análise e avaliação de uma solução construtiva de isolamento acústico para sistemas de pisos, e suas tipologias, visando atender ao requisito de desempenho acústico quanto ao ruído de impacto, estabelecido na NBR 15:575 – Parte 3:2013. Este trabalho tem como premissa que o desempenho acústico das lajes de concreto maciço de 12 cm de espessura é insatisfatório para certas configurações de paredes e de área, conforme a ISO 12354-2:2017, podendo o sistema não atingir o desempenho mínimo sob certas condições de contorno, e que a execução da solução de isolamento analisada será conforme instruído, atendendo ao desempenho projetado.

A delimitação está na análise do desempenho acústico ao ruído de impacto de sistemas de pisos, por meio do método simplificado que consta na ISO 12354-2:2017, que simplifica os cálculos das transmissões marginais e desconsidera as deformações posteriores das mantas, conforme ISO 20392:2007. O estudo ocorre em um empreendimento localizado na cidade de Porto Alegre, sendo este uma edificação residencial multifamiliar, projetado e construído em sistema convencional (estruturas em concreto armado, vedações verticais internas e externas em alvenaria de bloco cerâmico, revestimento interno e externo em argamassa de revestimento e esquadrias de alumínio).

2 DESEMPENHO ACÚSTICO

A seguir são abordados aspectos relacionados ao isolamento de ruídos de impacto em edificações habitacionais, uma contextualização do fenômeno físico das ondas sonoras e da percepção física e psicológica do ser humano sobre as mesmas, bem como a compreensão acerca dos termos, definições, requisitos e critérios de desempenho acústico referentes aos sistemas de pisos.

2.1 Ruído de Impacto

O ruído de impacto é originado por contato ou atrito mecânico entre dois corpos (GERGES, 2000). A propagação desse ruído é, então, exercida pela vibração da estrutura que, devido sua alta densidade e alta rigidez nas ligações, acelera e altera a velocidade das ondas sonoras, não permitindo o amortecimento dessa vibração. Dessa forma, possibilita que a propagação da onda ocorra por longas distâncias sem atenuações de grandeza impactante.

Entretanto, altas velocidades de propagação nem sempre se traduzem em alta transmissibilidade. Materiais resilientes e porosos apresentam alta velocidade de propagação, porém os mesmos apresentam baixa transmissibilidade, fato que pode ser explicado pela baixa densidade aparente desses materiais. As fontes ainda podem ser caracterizadas de acordo com Mateus (2015) como: a) Fontes estáticas: normalmente provocam vibrações periódicas, como é o caso dos sistemas de bombas hidráulicas, exaustão mecânica, ar condicionado, etc.; b) Fontes de impacto: provocam um estímulo de curta duração, repetitivo e não periódico, como é o caso do bater de portas, queda de objetos, passos.

Gerges (2000) ainda aponta que, a energia sonora gerada pela fonte procura as trajetórias mais fáceis de propagação, bem como elementos de fácil dissipação da energia, como por exemplo elementos em estado de ressonância, ou seja, elementos cuja frequência de ressonância é igual a frequência da onda incidente. Além disso, conforme o mesmo autor, a transmissão do ruído de impacto ocorre por praticamente todo o espectro de frequências de ondas sonoras, incluindo, portanto, a frequência crítica dos elementos de compartimentação, frequência essa tal que as ondas sonoras não são atenuadas, ou seja, são transmitidas como se não houvesse isolamento sonoro.

Segundo Galante (2010), a transmissão marginal dessas ondas sonoras é feita de forma independente para cada elemento do sistema de vedação vertical no compartimento receptor. Essa transmissão marginal depende do tipo de ligação entre os elementos de vedação vertical e horizontal, do tempo de reverberação estrutural desses elementos e da geometria do ambiente. Ao analisar uma situação simplificada de dois cômodos dispostos na vertical, entende-se as vias de propagação da onda e o elemento de transmissão do ruído: ..

2.2 ABNT NBR 15575: Sistema de Piso

Os requisitos e critérios de desempenho acústico de sistemas de pisos da ABNT NBR 15.575 - Parte 3:2013 para ruídos de impacto estão descritos no Quadro 1, onde $L'nT,w$ representa o Nível de Pressão Sonora de Impacto Padrão Ponderado medido no ambiente receptor. Rasmussen (2004) observa que os critérios brasileiros para os referidos sistemas estão notadamente acima da média em relação à países europeus, o que permite que as edificações brasileiras tenham desempenho acústico inferior às construções europeias.

Quadro 1 - Níveis de desempenho para sistemas de piso

Ambiente	$L'_{nT,w}$	Nível de Desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80 dB	M
	56 a 65 dB	I
	≤ 55 dB	S

Fonte: ABNT NBR 15575-3:2013

3 ANÁLISE DE PROJETO E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Neste item estão descritos o desempenho acústico quanto ao ruído de impacto do estudo de caso na formatação original e as soluções construtivas propostas para melhoria do desempenho acústico.

3.1 Avaliação do projeto original

Atualmente, a construtora entrega aos seus clientes, em suas áreas privativas, como sistema de compartimentação horizontal uma laje de concreto armado maciço com espessura total de 12 cm, com 25 MPa e, aproximadamente, 276 kg/m^2, e acabamento polido, deixando a execução de contrapisos e a instalação de revestimentos a cargo do cliente. O modelo de entrega adotado pela construtora possui vantagens logísticas como a remoção de mais um serviço do cronograma e a dispensabilidade de aguardar a cura do contrapiso. Quanto ao desempenho acústico essa tipologia de laje obtém, nos ensaios de ruído de impacto, para condições de laboratório, resultados muito próximos do limite mínimo de desempenho para pisos estabelecidos na ANBT NBR 15575 – Parte 3, que é de 78 dB.

Outra análise realizada para o projeto original foi por meio de cálculos para valores de projeto para o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado. Desses valores, cabe o alerta que, mesmo sem considerar as transmissões devido às ligações com elementos de vedação vertical, o resultado encontrado (78,6 dB) aproxima-se muito do valor máximo permitido na ABNT NBR 15.575 – Parte 3:2013 que é de 80 dB.

Quando consideradas as transmissões devido aos vínculos com os elementos de vedação vertical, estimou-se um aumento dos níveis medidos variando entre 0 e 2 dB, em decorrência da presença de paredes de alvenaria, com 175 kg/m^2, e pilares junto aos dormitórios, que facilitam a propagação dos ruídos de impacto. Dessa forma, o sistema de piso projetado e entregue ao cliente não atende ao desempenho mínimo, conforme é apresentado no Quadro 2. Ressalta-se que, devido ao pequeno volume dos ambientes de ensaio, o fator de correção que considera o tempo de reverberação do cômodo receptor prejudica significativamente o desempenho do sistema em relação ao ruído de impacto, conforme a equação 1.

$$L'_{nT,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K - 10\log\frac{V}{30} \quad (1)$$

Onde:

$L'_{nT,w}$ = nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado do pavimento calculado com a manta (dB);

$L_{n,w,eq}$ = nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado do pavimento calculado;

ΔL_w = redução do nível de pressão sonora de impacto ponderado (dB);

K = coeficiente de transmissão do ruído marginal, obtido na ISO 12354-2:2017 (dB);

V = volume do ambiente receptor (m^3);

Quadro 2 - Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado calculado

Parâmetro	Apartamento final 03	Apartamento final 04
Área	8,77	7,21
Volume	23,50	19,32
Ln,w,eq	78,6	78,6
K	2,0	0,0
$L'n,w$	80,6	78,6
$\boldsymbol{L'nT,w}$	81,7	80,6

(fonte: elaborado pelo autor)

Diante desses resultados (Quadro 2) fez-se um levantamento de possíveis para o sistema de piso para o estudo de caso, com a finalidade de o desempenho acústico quanto ao ruído de impacto.

3.2 Solução encontrada

Um dos pontos considerados constantes para a análise de outras soluções construtivas para o sistema de piso foi a composição e espessura da laje, sendo laje maciça com 12 cm de espessura. Outro aspecto importante é a não utilização de forro e a premissa de liberdade de personalização do revestimento do

sistema de piso. A composição do sistema de piso contempla um contrapiso industrializado, a fim de minimizar problemas de homogeneização. O piso flutuante foi o que mais deu opções de acabamento, sendo alinhado com a possibilidade de personalização.

A partir da definição do piso flutuantes como modelo de solução a ser utilizado no sistema de piso, foram definidos os componentes do piso flutuante. A camada rígida, conforme Mapei (2012), pode ser simplificada em um contrapiso de 5 mm. Já a camada resiliente tem duas propriedades fundamentais que são importantes para a análise: módulo de elasticidade dinâmico e a espessura do material. A relação dessas duas variáveis é expressa por meio da rigidez dinâmica. Outro ponto a ser considerado é a deformação relativa e a consequente elevação da rigidez dinâmica da manta quando colocada sob carga.

Para Caniato et al. (2016), essa deformação relativa pode ser prevista com a realização do ensaio de fluência a compressão e extrapolada para o limite da sua vida útil, conforme ISO 20392:2007. O autor ainda propõe uma relação entre a deformação relativa e a diminuição da redução do nível de pressão de sonora de impacto, onde materiais com deformações relativas inferiores a 20% apresentam uma variação da redução de nível de pressão sonora de impacto (ΔLw) inferior a 3 dB. Enquanto materiais com deformações relativas superiores a 20% apresentam uma variação de redução de nível de pressão sonora de impacto (ΔLw) superior a 3 dB.

Foram selecionadas e avaliadas em relação ao desempenho acústico, quanto ao ruído de impacto, 17 tipologias (incluindo a laje maciça) de solução construtiva, com materiais de mercado. Com base nos valores de nível de pressão sonora de impacto padronizado apresentados na ISO 717-2:2013 para uma laje de concreto homogênea de 12 cm foram calculados os valores de redução padronizada do nível de pressão sonora de impacto das mantas conforme ISO 12354-2:2017 para cada frequência central e ponderados de acordo com o procedimento descrito na primeira norma, conforme Quadro 3.

$$\Delta L_w = L_{n,w,eq} - L'_{n,w} \quad (2)$$

Onde:

ΔL_w = redução do nível de pressão sonora de impacto ponderado (dB);

$L_{n,w,eq}$ = nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado do pavimento calculado (equação 1) (dB);

$L'_{n,w}$ = nível de pressão sonora de impacto ponderado do pavimento calculado com a manta (dB);

Quadro 3 – Valores de isolamento calculados para um contrapiso armado de 5 cm

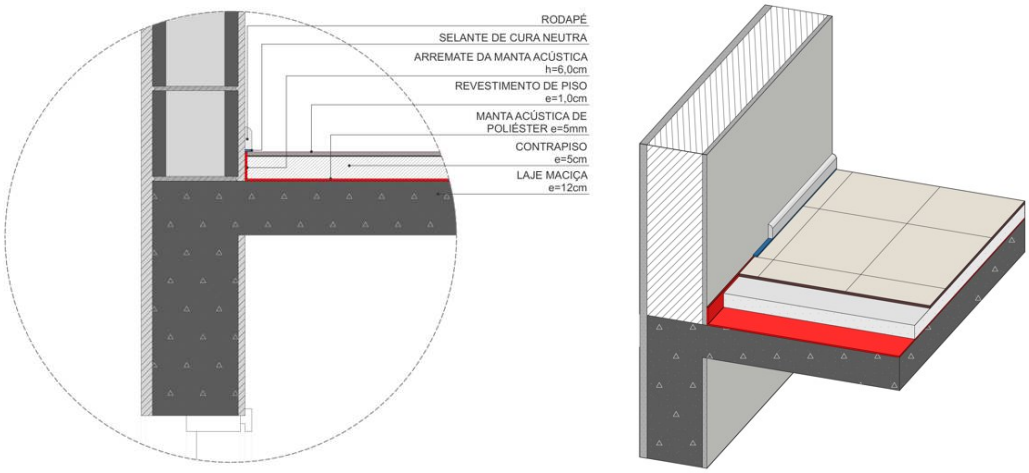
Fabricante	Manta	Material	Espessura (mm)	Rigidez Dinâmica Aparente (MN/m^3)	ΔL_{wcal} (dB)
A	PE-10	Polietileno Expandido	10	28	26
A	PE-5	Polietileno Expandido	5	52	22
B	PET-8	Poliéster	8	8	34
C	PET-5	Poliéster	5	6	36
D	PET-8	Poliéster	8	34	25
D	PE-10	Polietileno Expandido	10	28	26
D	PE-5	Polietileno Expandido	5	52	22
D	PP-2	Polipropileno Expandido	2	86	19
E	PEX-4	Polietileno Reticulado	4	42	23
F	PEBD-10	Polietileno Expandido	10	27	26
F	PEBD-5	Polietileno Expandido	5	22	22
F	EE-10	Espuma Elastomérica	10	33	25

F	EE-5	Espuma Elastomérica	5	54	22
G	SRB-5	SBR + Poliuretano	5	29	26
H	VID-2.8	Lã de Vidro	2,8	12	22
H	ROC-15	Lã de Rocha	15	10	33

(fonte: elaborado pelo autor)

A manta que obteve o melhor desempenho acústico, dentre as mantas das empresas que disponibilizaram dados e laudos acerca de seus produtos, foi a manta PET-5 (Poliéster, 5 mm de espessura, frequência de ressonância 39 Hz e redução do nível de pressão sonora de impacto ponderado 36 dB). A mesma é composta por lã de poliéster, coberta com uma película de polietileno, conferindo certa impermeabilidade à manta e permitindo a execução direta do contrapiso, conforme apresenta a Figura 1.. A mesma atingiu o nível superior de desempenho de ruído de impacto.

Figura 1 – Detalhe de projeto com a manta e Representação 3D do encontro da manta acústica



(fonte: elaborado pelo autor)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entende-se que os valores obtidos através de cálculos de estimativa de nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, feitos através da análise de projetos de formas, onde se obtiveram os dados referentes a tipologia e forma das lajes, e de modulação, onde se obtiveram os dados referentes aos elementos verticais de vedação sejam satisfatórios. Pois, ainda que se utilize a metodologia simplificada descrita apresentada na ISO 12354-2:2017, onde são simplificados os cálculos referentes às transmissões marginais e não são considerados os efeitos de deformações posteriores, as estimativas aparentam serem condizentes com valores obtidos em ensaios anteriores nos empreendimentos da empresa.

No que se refere aos aspectos construtivos da implementação do sistema, as grandes dificuldades podem ser resumidas na possibilidade serem criadas pontes acústicas devido a falhas de execução, em qualquer uma das etapas, e nas deformações imediatas e posteriores que as mantas podem sofrer. A primeira das deformações pode causar afundamentos e problemas de fissuras caso o contrapiso não tenha sido projetado e executado com armadura prevendo esses deslocamentos. Já a segunda, conforme Caniato et al. (2016), pode diminuir o desempenho do sistema em mais de 3 dB, possibilitando que algumas das mantas avaliadas tenham seu nível de desempenho enquadrado em uma categoria inferior àquela inicial.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-3: Edificações habitacionais —

Desempenho - Parte 3: Sistemas de Pisos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

CANIATO, M. et al. Time-depending performance of resilient layers under floating floors. Construction and Building Materials, [s. l.], v. 102, p. 226–232, 2016.

GALANTE, Rui. Análise comparativa dos métodos normalizados de previsão da transmissão sonora por via estrutural. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142220588/Dissertação.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2017

GERGES, Samir N. Y. Ruído: Fundamentos e Controle. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 717-2: Acoustics - Acoustics rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation. Geneva, 2013.

MAPEI – **Caderno Técnico: Realização de bentonilhas para o assentamento de pavimentos.** Disponível em <http://www.mapei.com/public/PT/menu/QT_BETONILHAS.pdf > Acesso em: 30 abr. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 12354-2: Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms. Geneva, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 20392: Thermal-insulating materials - Determination of compressive creep. Geneva, 2007.

RASMUSSEN, Birgit. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. Applied Acoustics, v. 71, n. 4, p. 373-385, 2010.

SILVA, Rui Miguel Cunha da. **Avaliação Acústica de Edifícios Habitacionais:** Análise dos Coeficientes de Ponderação Associados aos Índices de Desempenho Acústico de Habitações. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/12528>. Acesso em: 26 out. 2017.