

Desempenho Acústico de Sistemas de Piso: Estudos de Caso Para Isolamento ao Ruído Aéreo e de Impacto

Nunes, M.F.O.; Zini, A.; Pagnussat, D.T.

*Laboratório de Tecnologia Construtiva, Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, RS, mfonunes@ucs.br

Resumo

Os sistemas de piso constituem um dos limites horizontais de separação de unidades habitacionais em edifícios, mas sua importância no isolamento acústico ainda não foi completamente considerada. O desempenho acústico de sistemas de piso é avaliado tanto para o ruído aéreo como para o ruído de impacto, e as características construtivas devem atender a requisitos específicos de transmissão sonora. Neste estudo, foram avaliados diferentes sistemas de piso e desempenho acústico ao ruído aéreo e ao ruído de impacto. Foram realizados ensaios em campo em lajes de concreto maciço, lajes treliçadas e laje nervurada, com revestimento cerâmico e com laminado de madeira, além de diferentes tipos de contrapiso. Os procedimentos das medições seguiram as normas ISO 140-4, 140-7 e 140-14 e o desempenho acústico foi determinado a partir de critérios da NBR 15575-3. Os resultados indicam que os sistemas de piso analisados com laje treliçada apresentam deficiência no isolamento sonoro ao ruído aéreo quando revestidas com laminado de madeira e, ao ruído de impacto quando revestidas com piso cerâmico. O único sistema de piso com valores de $D'_{nT,w}$ e $L'_{nT,w}$ com classificação de desempenho acústico superior foi com laje nervurada com cubetas de EPS, contrapiso com brita leve e piso laminado de madeira.

Palavras-chave: Isolamento acústico, ensaios em campo, sistemas de piso

1. INTRODUÇÃO

Devido ao adensamento urbano e a verticalização das construções, os sistemas de piso passaram a ter grande importância no conforto acústico, pois suas características e composição contribuem para a qualidade acústica em uma unidade habitacional. Ao contrário das paredes, que tem sua espessura mínima definida por alguns códigos de obra municipais, os pisos ainda não foram devidamente considerados como um elemento de separação entre unidades habitacionais e o principal critério para a escolha de um tipo de laje é a possibilidade de vencer um determinado vão, ao menor custo possível.

O desempenho acústico dos sistemas de piso é avaliado de acordo com as formas mais comuns de transmissão sonora em edifícios. O comportamento acústico frente ao ruído aéreo e ao ruído de impacto apresenta diferenças e as soluções construtivas nem sempre atendem simultaneamente aos dois requisitos. O ruído aéreo consiste em sucessivas ondas de pressão ou vibrações que são geradas pela fala ou

autofalantes e que são transmitidas pelo ar. Para esses casos, o aumento na massa dos fechamentos torna a transmissão da vibração mais difícil e, conseqüentemente, reduz a transmissão sonora para a superfície oposta. O ruído de impacto é causado pelo contato intermitente entre sólidos e, os exemplos mais comuns em edifícios residenciais incluem queda de objetos, caminhar de pessoas, arrastar de cadeiras, etc. As vibrações são criadas nos pisos e tendem a espalhar-se nos outros elementos conectados. Apesar dessas diferenças, pode existir uma estreita relação entre isolamento ao ruído aéreo e ao ruído de impacto para determinados sistemas construtivos, especialmente para pisos rígidos (JONES, 2008).

A estimativa teórica do isolamento acústico ao ruído aéreo em pisos segue o mesmo princípio da transmissão ao ruído aéreo em paredes. No entanto, os sistemas de piso são compostos por diferentes revestimentos e, em alguns casos por forros suspensos, o que pode dificultar a aplicação de modelos teóricos em função da diversidade de combinações

(HASSAN, 2009). Além disso, sistemas de piso compostos por lajes não homogêneas apresentam meios de propagação mais complexos e as variáveis são mais difíceis de se estimar, sendo necessário o conhecimento das diferenças entre o concreto maciço e demais materiais utilizados (HOPKINS, 2004).

Alguns sistemas de piso, com a utilização combinada de elementos leves sem finalidade estrutural, são amplamente utilizados no Brasil em lajes pré-moldadas, que utilizam materiais leves de enchimento colocados nas regiões tracionadas. Os materiais mais utilizados são blocos cerâmicos vazados, blocos de concreto celular ou blocos de poliestireno expandido (TRIGO *et al.*, 2008).

Apesar de cumprir adequadamente a função estrutural, lajes no sistema vigota/tabela, com blocos cerâmicos vazados, não tem o mesmo comportamento acústico que uma laje maciça, que apresenta características de material heterogêneo e ortotrópico (HOPKINS, 2004). A heterogeneidade da vigota/tabela causa diferenças significativas nos mecanismos de transmissão pelos flancos, comparado a homogeneidade da laje de concreto maciço, para uma densidade superficial similar. Sendo assim, a transmissão por flancos é um dos principais fatores que limitam o isolamento ao ruído aéreo nos sistemas de piso com laje vigota/tabela. No entanto, com a utilização de acabamentos nos flancos entre a parede de alvenaria, acima ou abaixo da laje, é possível melhorar seu desempenho ao ruído aéreo (PATRÍCIO, 2001).

Outro aspecto relevante e que caracteriza a complexidade do tema, nas considerações sobre a propagação do som em lajes pré-moldadas, é o tipo de vínculo existente entre blocos e vigas. Nesse sentido, pode-se considerar o vínculo do apoio simples entre os elementos e, até mesmo, das camadas de revestimento na face superior da laje. A composição, a espessura e o tipo de instalação podem caracterizar o sistema de piso como homogêneo, devido ao aumento da espessura total e aos vínculos rígidos (TOMASI;

NUNES, 2013), ou heterogêneo, devido a transmissão predominante pelas vigas de concreto colocadas em uma única direção (HOPKINS; TURNER, 2005; HOPKINS, 2004).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a influência de variações de tipos de laje, de contrapiso e de revestimentos no desempenho acústico ao ruído aéreo e ao ruído de impacto de sistemas de piso a partir de ensaios de campo.

2. MÉTODO

As medições foram realizadas em edifícios residenciais, nas cidades de Caxias do Sul/RS e Bento Gonçalves/RS, durante o ano de 2013.

Foram analisados sete diferentes sistemas de piso com laje de concreto maciço com espessuras de 10 e de 12 cm, laje treliçada com preenchimento de EPS e uma laje nervurada. Os revestimentos foram compostos por laminado de madeira e cerâmica, com variações no contrapiso. Para fins de agrupamento, os sistemas de piso foram classificados em homogêneos, com lajes de concreto maciço (Tabela 1) e heterogêneos, com lajes mistas (Tabela 2).

Tabela 1: Características dos sistemas homogêneos de piso analisados

Sigla	Tipo de laje	Revestimento	Área (m ²)
CL1	Concreto maciço 10 cm	Contrapiso de argamassa comum 5cm + laminado de madeira 7mm, com manta de fibras de polipropileno 5mm	17,56
CL2	Concreto maciço 10 cm	Contrapiso de argamassa comum 5cm + laminado de madeira 7mm, com manta polietileno expandido 2mm	12,24
CL3	Concreto maciço 12 cm	Contrapiso de argamassa com brita leve 4cm (1:2:3) + laminado de madeira 7mm, com manta de polietileno expandido 2mm	11,31
CC	Concreto maciço 12 cm	Contrapiso de argamassa com brita leve 4cm (1:2:3) + Porcelanato	16,15

Tabela 2: Características dos sistemas heterogêneos de piso analisados

Sigla	Tipo de laje	Revestimento	Área (m ²)
TL	Treliçada com enchimento de EPS 5cm e capa de concreto armado 4cm	Contrapiso de concreto 4 cm + laminado de madeira 7mm	7,57
TC	Treliçada com enchimento de EPS 5cm e capa de concreto armado 4cm	Contrapiso de concreto 4cm + cerâmica esmaltada	7,79
NL	Laje nervurada com cubetas de EPS	Contrapiso de argamassa com brita leve 5cm (1:1:4) e argamassa comum 2cm + laminado de madeira 7mm	10,50

As medições seguiram os procedimentos descritos nas normas ISO 140-4, ISO 140-7 e ISO 140-14, para ensaios em campo. Os locais das medições foram ambientes de dormitórios sobrepostos, que não diferem entre si em área nem em volume. Todas as medições foram realizadas em apartamentos finalizados, com as esquadrias instaladas, sem a ocupação dos usuários e sem mobília. Os equipamentos foram posicionados considerando-se o ambiente de baixo como sala de recepção e o de cima como sala de emissão, tanto para os ensaios de ruído de impacto como para os de ruído aéreo.

Nas medições de ruído aéreo a fonte sonora dodecaédrica B&K 4296, acoplada ao amplificador de potência B&K 2716, foi colocada em três posições e o microfone do analisador sonoro B&K 2270 foi acoplado por cabo e posicionado em cinco pontos na sala de emissão e cinco na sala de recepção. Para determinar o isolamento acústico ao ruído aéreo do sistema de piso, foram realizados quatro tipos de medições: níveis sonoros na sala de emissão (L1); níveis sonoros na sala de recepção (L2); ruído de fundo (B2); tempo de reverberação na sala de recepção (T2).

Nas medições de ruído de impacto a máquina de impactos B&K 3207 foi posicionada em quatro pontos distintos na sala de emissão e o microfone do analisador sonoro B&K 2270 foi acoplado por cabo e posicionado em cinco pontos distintos na sala de recepção. O isolamento acústico ao ruído de impacto do sistema de piso foi determinado a partir dos resultados de três tipos de medições: níveis sonoros na sala de recepção (L2); ruído de fundo (B2); tempo de reverberação na sala de recepção (T2).

As medições foram realizadas nas frequências entre 100 e 3.150 Hz nas bandas de 1/3 de oitava e a obtenção do número único da Diferença de Nível Padronizada Ponderada (D'_{nTw}) e do Nível Sonoro de Impacto Padronizado Ponderado (L'_{nTw}) seguiu procedimentos das normas ISO 717-1 e ISO 171-2, respectivamente. Ressalta-se que o isolamento ao ruído aéreo de um fechamento é definido a partir da diferença de níveis sonoros entre dois ambientes contíguos e quanto maior esse valor, maior será o isolamento ao ruído aéreo. Por outro lado, o isolamento ao ruído de impacto, que é propagado na estrutura dos edifícios, é definido a partir de níveis de pressão sonora absolutos que, quanto menores, melhor será o isolamento ao ruído de impacto.

Para a classificação do desempenho acústico foram utilizados os valores de referência da NBR 15575-3 para ruído aéreo (Tabela 3) e para ruído de impacto (Tabela 4).

Tabela 3: Critério de diferença padronizada de nível ponderada D'_{nTw}

Elemento	$D'_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	Mínimo
	50 a 55	Intermediário
	55	Superior

Fonte: (ABNT, 2013).

Tabela 4: Critério de nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado $L'_{nT,w}$

Elemento	$L_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	Mínimo
	56 a 65	Intermediário
	55	Superior

Fonte: (ABNT, 2013).

3. RESULTADOS

3.1 Ruído aéreo

Os sistemas de piso analisados apresentam maior isolamento acústico nas altas frequências para o ruído aéreo. No gráfico da Figura 1, pode-se observar comparativamente os valores de diferença de nível sonoro padronizada $D'_{nT,w}$ dos sistemas de piso ensaiados. O sistema de piso composto por laje treliçada e piso cerâmico (TC) apresentou os menores valores medidos em todas as frequências. Até a frequência de 200 Hz, os valores apresentaram oscilações, sem uma hierarquia definida em relação ao isolamento acústico. A partir da frequência de 250 Hz, o comportamento do sistema de piso TL, composto por laje treliçada com revestimento de laminado de madeira, apresenta os menores valores de isolamento sonoro. Entre 315 e 1000 Hz os demais sistemas de piso apresentam uma hierarquia diferente, destacando-se os sistemas CL1 e NL com o maior isolamento acústico. A partir da frequência de 1000 Hz, o isolamento acústico ao ruído aéreo do sistema de piso NL apresenta valores crescentes e maiores que os demais. Nesse sistema, composto por laje nervurada, a diferença de nível sonoro padronizada tem valores de 60 dB na frequência de 1.000 Hz e de 75,8 dB a 3.150 Hz.

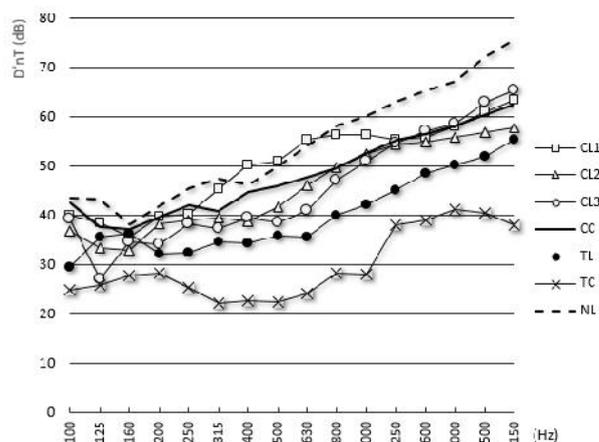


Figura 1 – Comparativo por frequência das Diferenças de Nível Sonoro Padronizada D'_{nT}

3.2 Ruído de impacto

Na Figura 2 são representados os valores de Nível Sonoro de Impacto Padronizado L'_{nT} dos sete sistemas de piso ensaiados. Os sistemas com revestimento cerâmico (TC e CC) apresentaram um comportamento diferente dos demais, com tendência ascendente na curva de L'_{nT} , contrário ao perfil gráfico da curva de referência da ISO 717-2. Até a frequência de 250 Hz, os valores apresentaram oscilações, sem uma tendência definida. A partir da frequência de 315 Hz os sistemas de piso CL1, CL3 e NL apresentam um perfil gráfico com decaimento mais acentuado que os demais a medida em que ocorre o aumento das frequências. Nesses três sistemas foi utilizado revestimento de piso laminado, mas somente esse tipo de revestimento pode não ser suficiente para assegurar o isolamento acústico adequado, pois os sistemas CL2 e TL não apresentaram um decaimento tão acentuado dos níveis sonoros.

No gráfico comparativo, também é possível estabelecer paralelos entre CL3/CC e TL/ TC e verificar que o revestimento com laminado de madeira em CL3 e TL aumenta o isolamento acústico ao ruído de impacto na comparação com o mesmo sistema de piso com revestimento cerâmico.

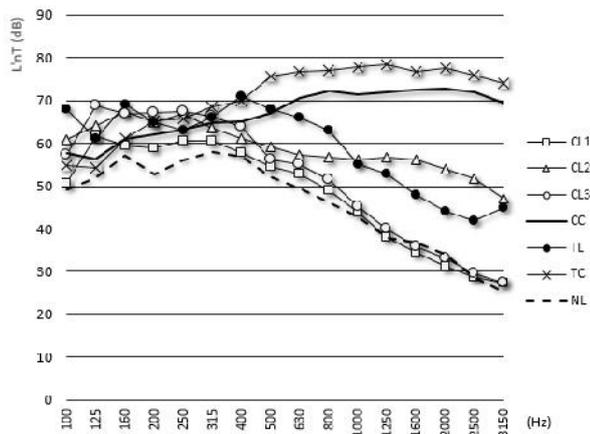


Figura 2 - Comparativo por frequência dos Níveis Sonoros de Impacto Padronizados L'_{nT}

3.3 Classificação de Desempenho

Os sistemas de piso analisados apresentaram classificações de desempenho diferentes para o ruído aéreo e ruído de impacto, com exceção do sistema NL que obteve classificação de desempenho superior em ambos.

O sistema de piso CL2 teve classificação mínima para o ruído aéreo e intermediária para o ruído de impacto. A alteração de desempenho ao ruído aéreo em relação ao sistema CL1 se justifica pela diferença de espessura e composição das mantas utilizadas. No sistema CL1 foi utilizada uma manta de fibras de polipropileno de 5 mm de espessura entre a laje e o contrapiso, conferindo um sistema massa-mola-massa mais eficiente que o utilizado no piso CL2.

A influência do revestimento nos sistemas de piso pode ser verificada na comparação entre os pisos com laje treliçada (TL e TC) e os pisos com laje de concreto maciço com espessura de 12 cm (CL3 e CC). Nesses casos ocorreu uma inversão na classificação de desempenho acústico insuficiente e a distinção entre o piso cerâmico (cerâmica esmaltada e porcelanato) e o laminado de

madeira. Na execução do sistema de piso com revestimento cerâmico os materiais de base cimentícia utilizados para a fixação das peças, depois de secos, conferem maior rigidez ao sistema, comparado ao laminado de madeira. No piso laminado, as peças não possuem vínculos rígidos com os demais elementos construtivos e podem proporcionar espaços para a transmissão do ruído aéreo por flancos, em casos de deficiência na execução dos sistemas de acabamento, seja por falta de preparo adequado da planicidade da base, seja por problemas de instalação das mantas ou do piso em si.

No sistema de piso NL, com laje nervurada, foram utilizadas várias camadas de materiais distintos, que conferem amortecimento eficiente ao conjunto. Nesse caso, a argamassa com brita leve atenua a transmissão do som pelos possíveis flancos. Deve-se também ressaltar que a elevada espessura do sistema NL também consiste em um fator relevante para o desempenho superior.

Os sistemas CL2 e CL3 aparentemente se distinguem pelo tipo de material do contrapiso, sendo CL2 com argamassa comum e CL3 com argamassa com adição da chamada brita leve. Em princípio, a argamassa com brita leve deveria apresentar um desempenho melhor, considerando-se a possibilidade do polímero incorporado na mistura apresentar maior resiliência. No entanto, de acordo com estudos anteriores (TUTIKIAN *et al.*, 2012), o aumento da proporção de polímero (brita leve) na argamassa não garante necessariamente o aumento no isolamento. Além disso, um traço 1:1:4 em volume, segundo os autores, pode ser mais indicado para melhorar o desempenho acústico em um sistema de piso. Desta forma, as limitações de desempenho acústico de sistemas que utilizam lajes treliçadas parecem ser mais preponderantes no resultado a ser atingido em comparação a incorporação da brita leve, para os casos estudados.

Tabela 5: Resultados e classificações de desempenho acústico dos sistemas de piso analisados

Sigla	Ruído Aéreo		Ruído de impacto	
	D' _{nT_w} (dB)	Classificação de Desempenho	L' _{nT_w} (dB)	Classificação de Desempenho
CL1	53	Intermediário	54	Superior
CL2	48	Mínimo	56	Intermediário
TL	29	Não atende	63	Intermediário
TC	49	Mínimo	85	Não atende
CL3	46	Mínimo	60	Intermediário
CC	51	Intermediário	78	Mínimo
NL	55	Superior	50	Superior

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas de piso são compostos por um conjunto de camadas que se destinam a atender diversas funções como, por exemplo, estruturais, de vedação, de segurança ao tráfego e de isolamento acústico; sendo que, os materiais que compõem essas camadas apresentam características diversificadas, com inúmeras possibilidades de combinações. São essas combinações, juntamente com a execução, que irão definir sua qualidade frente ao isolamento acústico.

Neste trabalho, sete sistemas de piso foram analisados considerando-se as principais variáveis que afetam o isolamento acústico, com as respectivas classificações de desempenho, que, em seis deles, se mostraram diferentes para o ruído aéreo e para o ruído de impacto.

Nos casos estudados, os sistemas considerados homogêneos com laje de concreto maciço, atenderam aos requisitos de desempenho acústico da NBR 15.575, com variações decorrentes dos vínculos estabelecidos na execução dos revestimentos. Os sistemas considerados heterogêneos, com diversos benefícios estruturais e econômicos, podem apresentar fragilidades no isolamento

acústico, mas as deficiências decorrentes da reduzida espessura e da ausência de vínculo entre as peças podem ser mitigadas com a utilização de materiais leves e de base cimentícia, em camadas alternadas.

Desta forma, pode-se afirmar que os materiais que constituem um sistema de piso não devem ser considerados isoladamente e que a análise global na definição de materiais e sistemas construtivos pode determinar soluções mais adequadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 15575-3. Edifícios Habitacionais - Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. 2013.
- HASSAN, O. A. B. **Building Acoustics and Vibration: Theory and Practice**. London: World Scientific Publishing Company, Incorporated, 2009. p. 947
- HOPKINS, C. Airborne sound insulation of beam and block floors: direct and flanking transmission. **Building Acoustics**, v. 11, n. 1, p. 1–25, 2004.
- HOPKINS, C.; TURNER, P. Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 12, p. 1339–1382, dez. 2005.
- ISO 140-7. Acoustics - Measurement of sound insulation inbuilding elements - Part 7 Field measurements of impact sound insulation of floors. 1998 a.
- ISO 140-4. Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. 1998 b.
- ISO 140-14. Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Guidelines for special situations in the field. 2004.
- JONES, D. Acoustical noise control. In: BALLOU, G. (Ed.). **Handbook for sound engineers**. Oxford: Taylor & Francis, 2008. p. 65–94.
- PATRÍCIO, J. Can Beam-block Floors be considered Homogeneous Panels Regarding Impact Sound Insulation? **Building Acoustics**, v. 8, n. 3, p. 223–236, 1 set. 2001.
- TOMASI, A.; NUNES, M. F. DE O. **Desempenho acústico de sistemas de pisos em edifícios residenciais**. In: 44º Congresso Español de Acústica. **Anais...**Valladolid: Sociedad Española de Acústica, 2013

TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L.; MELGES, J. L. P.; CAMACHO, J. S. Avaliação do comportamento estrutural de protótipos de lajes pré-moldadas com concreto com resíduo de borracha de pneu. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 18, p. 37–50, 2008.

TUTIKIAN, B. F.; NUNES, M. F. O.; LEAL, L. C.; MARQUETTO, L. Hormigón ligero con agregado reciclado de EVA para atenuación del ruido de impacto. **Materiales de Construcción**, v. 63, n. 310, p. 309–316, 31 jul. 2012.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Sindicato da Construção Civil – SINDUSCON – de Caxias do Sul/RS pelo suporte financeiro para aquisição de equipamentos e para bolsa de iniciação científica.