



Desempenho acústico de isolamento a ruído aéreo de lajes em banheiros: comparativo entre resultados previsionais pela ISO 12354-1:2017 e ensaios *in loco* pela ABNT NBR ISO 10052:2022

Eichler, B. C.¹; Coelho, F. C.²; Rocha, D. G.³; Rocha, R. R.⁴

^{1,2} Síntese Acústica Arquitetônica, Brasília, DF, Brasil, {bruna, fabiana}@sintesearquitectura.com.br

³ UFG - Instituição Federal de Goiás, GO, Brasil, darianegomes@outlook.com

⁴ GINER - Designing sound spaces, São Paulo, SP, Brasil, raquel@giner.com.br

Resumo

O artigo avalia o desempenho acústico de nove banheiros em relação ao isolamento de ruído aéreo de sistemas de piso. Para realizar a avaliação, foram empregados o método de simulação de acordo com a norma ISO 12354-1:2017 e medições de campo seguindo a ABNT NBR ISO 10052:2022, a fim de comparar os resultados obtidos por ambas as abordagens. As metodologias abrangem duas formas de cálculo. No método completo são consideradas diversas variáveis, possibilitando uma análise detalhada do desempenho acústico dos materiais utilizados na construção. Além disso, são realizadas avaliações em bandas de frequência de 1/3 de oitava, fornecendo resultados mais precisos. O método simplificado leva em conta o Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w) do elemento separador e seus flancos, proporcionando uma estimativa mais rápida e menos complexa do isolamento acústico. Contudo, é válido observar que as instalações prediais no elemento separador não são consideradas em ambos os métodos. Ao comparar os resultados das simulações com as medições de campo, o artigo fornece percepções valiosas sobre o desempenho acústico de banheiros e lavabos em edificações habitacionais. Tais conclusões podem auxiliar na criação de projetos mais eficientes e com melhor qualidade acústica, contribuindo para o conforto e bem-estar dos ocupantes dos espaços construídos.

Palavras-chave: lajes com banheiros, 12354-1:2017, 10052:2022, comparações

Acoustic performance of airborne noise insulation of slabs in bathrooms: comparison between predicted results by ISO 12354-1:2017 and on-site tests by ABNT NBR ISO 10052:2022

Abstract

The article evaluates the acoustic performance of nine bathrooms regarding airborne noise insulation of floor systems. To conduct the assessment, the simulation method was employed following ISO 12354-1:2017, and field measurements were conducted according to ABNT NBR ISO 10052:2022 to compare results obtained from both approaches. The methodologies encompass two calculation methods. The comprehensive method considers numerous variables, enabling a detailed analysis of the acoustic performance of construction materials used. Additionally, assessments are made in 1/3-octave frequency bands, providing more accurate outcomes. The simplified method takes into account the Weighted Sound Reduction Index (R_w) of the separating element and its flanks, offering a quicker and less complex estimate of acoustic isolation. However, it's worth noting that building installations within the separating element are not considered in both methods. By comparing simulation results with field measurements, the article provides valuable insights into the acoustic performance of bathrooms and washrooms in residential buildings. Such conclusions can assist in creating more efficient projects with better acoustic quality, contributing to the comfort and well-being of occupants in constructed spaces.

Keywords: slabs in bathrooms, 12354-1:2017, 10052:2022, comparisons

1. Introdução

A norma ABNT NBR 15575-3 Edificações habitacionais - Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos [1] está vigente desde 2013. Nela são apresentados os requisitos acústicos para o isolamento a ruído em sistemas de pisos que separam unidades habitacionais autônomas ou entre estas e áreas comuns de uso coletivo, tais como espaços de circulação e áreas de lazer. São determinados dois requisitos de isolamento acústico, um a ruído aéreo e outro a ruído de impacto, aplicável somente à laje de teto de dormitórios.

O isolamento a ruído aéreo é avaliado a partir do parâmetro Diferença de Nível Padronizada Ponderada ($D_{nT,w}$) e o critério de avaliação varia de acordo com o uso do ambiente. Para as situações onde haja ao menos um dormitório, ou onde a unidade faz divisa com áreas comuns de uso coletivo destinadas a lazer, esportes e outras atividades, o $D_{nT,w}$ deve ser no mínimo de 45 dB. Para os demais ambientes da unidade habitacional, ou onde esta faz divisa com espaços coletivos de circulação, o $D_{nT,w}$ deve ser no mínimo de 40 dB.

Em 2021, houve a publicação da emenda da ABNT NBR 15575-3 [2] com a revisão do item 12 Desempenho Acústico, mas as alterações foram apenas para harmonização e melhoria do texto, sem alteração de requisitos ou critérios. Antes dessa revisão, nos itens 12.3.1.1 e 12.3.2.1 [1], nos quais era tratado o método de avaliação, continha a informação de que apenas dormitórios deveriam ser avaliados. Isto dificultava a interpretação do texto, visto que havia critérios de avaliação para situações em que não houvesse dormitórios. O texto da emenda disponibilizado para consulta nacional já apresentava a alteração dos itens de método de avaliação, retirando referência a um ou mais ambientes específicos onde deve ser realizada a medição. Frente a alteração, alguns dos votos da consulta nacional solicitaram esclarecimentos sobre a necessidade de avaliação de desempenho em ambientes pequenos onde não há permanência prolongada, tais como banheiros, lavabos, despensas entre outros. No documento “Acústica - ABNT NBR 15575:2013 | Comentários sobre proposta de revisão de texto - Planilha para comentários e sugestões referentes a alterações da proposta de revisão acústica ABNT NBR 15575:2013” [3], a comissão de revisão da norma esclareceu que, mesmo nas áreas de curta permanência, é necessário isolamento acústico, pois podem ser áreas que geram incômodo.

A partir da consolidação de que banheiros e lavabos devem atender ao desempenho acústico mínimo para sistemas de piso, surgiram novos questionamentos. Uma vez que muitas edificações residenciais em altura sobrepõem divisões espaciais idênticas nos pavimentos sequenciais e as instalações hidrossanitárias dos banheiros transpassam o sistema de piso, qual será o desempenho da laje de banheiros e lavabos?

De acordo com as duas versões da ABNT NBR 15575-3 [1][2], a única forma de comprovação de desempenho acústico é o ensaio *in loco*, mas os métodos de cálculo estimativo vêm sendo utilizados com ferramentas para assegurar o resultado final na obra. Nos métodos apresentados na norma ISO 12354-1:2017 *Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms* [4] há a possibilidade de prever a transmissão sonora através de elementos de instalação, mas as informações necessárias para simulação não estão disponíveis para os sistemas e elementos hidrossanitários comercializados no Brasil. Então, como se comporta a resposta da simulação matemática sem a inserção da transmissão sonora pelos elementos de instalação? Qual a diferença entre o resultado obtido em simulação e ensaio no local?

Neste artigo, propõe-se avaliar o comportamento de uma amostra de nove banheiros quanto ao desempenho acústico de isolamento a ruído aéreo de sistema de pisos. Os resultados obtidos através do método de simulação previsional conforme ISO 12354-1:2017 [4] são comparados com os resultados obtidos na medição de campo conforme método descrito na norma ABNT NBR ISO 10052:2022

Acústica - Medições em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais - Método simplificado [5].

2. Fundamentação teórica

A transmissão sonora via som aéreo refere-se à propagação de ondas sonoras através do ar. Quando uma fonte sonora emite vibrações, essas vibrações se propagam como ondas de pressão no meio circundante, que no caso é o ar. Essas ondas de pressão viajam pelo ar e podem ser captadas pelos nossos ouvidos, permitindo-nos perceber o som [6].

A transmissão sonora aérea entre banheiros separados por um sistema de piso com tubulações pode ser um problema comum devido à propagação do som através do ar e das estruturas físicas envolvidas. O som pode se propagar facilmente através do ar e se transmitir por meio de materiais sólidos, como as tubulações presentes no sistema de piso [7]. Existem vários fatores que podem contribuir para essa transmissão sonora, como:

- vibração das tubulações: quando o som é gerado em um banheiro, as vibrações sonoras podem ser transmitidas através das tubulações que estão conectadas ao sistema de piso. Essas vibrações podem se propagar e serem transferidas para o banheiro adjacente;
- vazamentos sonoros: se as tubulações não estiverem devidamente isoladas acusticamente, pode haver vazamentos sonoros ao longo do percurso do sistema de piso. Isso permite que o som se espalhe pelos dutos e chegue ao banheiro adjacente;
- ressonância das estruturas: dependendo das frequências sonoras envolvidas e das características das estruturas do sistema de piso, pode ocorrer ressonância. A ressonância amplifica certas frequências sonoras, tornando-as mais audíveis no banheiro adjacente.

Para resolver ou minimizar esses problemas, é necessário adotar soluções de isolamento acústico como: utilizar materiais de envelopamento acústico nas tubulações, instalação de isolamento acústico nas paredes e pisos adjacentes aos banheiros, e até mesmo a adoção de sistemas como defletores acústicos no ralo, abraçadeiras acústicas nas tubulações etc. [8].

A Figura 1 apresenta o sistema de piso típico encontrado no Brasil, no qual as tubulações perfuram a laje. É importante destacar que esse tipo de instalação hidrossanitária é menos comum em outros países, onde se utiliza uma laje mais espessa com tubulações embutidas [8]. Essa diferença construtiva pode impactar as considerações de interferências nas transmissões secundárias, conforme estabelecido na norma ISO 12354-1:2017 [4]. Portanto, é provável que a aplicação dessa norma não abranja essas particularidades construtivas, o que prejudica a capacidade de realizar simulações e prever resultados antes da construção.

3. Métodos

A norma ISO 12354:2017 [4] é uma metodologia internacionalmente reconhecida para realizar cálculos de isolamento acústico em edificações. Ela é exigida em diversos países europeus para verificar o cumprimento dos requisitos acústicos legais em projetos de novas edificações residenciais [9]. Para este estudo, não foram avaliadas as instalações prediais existentes nas amostras, visto que os métodos de cálculo utilizados não consideram a presença destes elementos. Porém, para efeito de conhecimento, os elementos hidrossanitários presentes em cada uma das amostras são uma bancada com pia, um vaso sanitário e um box. As instalações que transpassam a laje, em cada unidade, são um ralo ou caixa sifonada e a tubulação de esgoto do vaso sanitário.

Na Seção 3.1. iremos analisar o cálculo do parâmetro $D_{nT,w}$ através de duas metodologias de simulação distintas, o método completo, realizado através de uma programa computacional, e o método simplificado, calculado de maneira direta. Na Seção 3.2. será analisado o método de ensaio através da NBR ISO 10052:2022 [5].

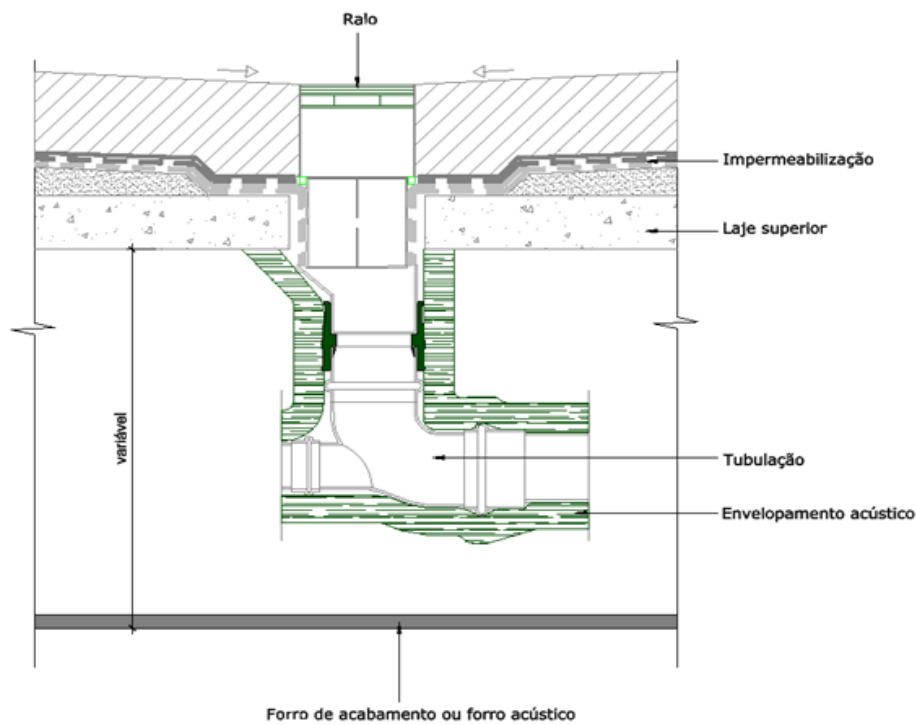


Figura 1: Croqui das instalações hidrossanitárias no sistema de piso.

3.1 Cálculo de $D_{nT,w}$

A norma ISO 12354-1 [4] apresenta duas metodologias para calcular a previsão de $D_{nT,w}$. O método completo abrange mais variáveis e realiza uma análise detalhada do desempenho dos materiais envolvidos no sistema, avaliando suas características em bandas de frequência de 1/3 de oitava com base nas informações disponíveis dos elementos construtivos [9]. Já o método simplificado, leva em conta o Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w) do elemento separador, bem como dos elementos adjacentes, conhecidos como flancos, e suas interações no processo de transmissão de energia sonora [10]. Para este estudo, calculou-se a $D_{nT,w}$ de acordo com os requisitos da norma ISO 12354-1 [4], tanto conforme o método completo, quanto conforme o método simplificado.

Para realizar o cálculo através do método completo, utilizou-se o *software* SONArchitect ISO versão 3.11. Nesse programa, as propriedades acústicas das composições foram obtidas a partir dos resultados de relatórios de ensaios realizados em laboratório, os quais foram fornecidos pelos fabricantes dos materiais [11]. Foi desenvolvido um modelo a partir dos arquivos das plantas arquitetônicas. Em seguida, os ambientes foram caracterizados, considerando as configurações dos parâmetros acústicos conforme as premissas desejadas. Após, foram configurados os elementos construtivos, como: esquadrias, sistema de piso e divisórias. Por fim, foi realizada a análise dos parâmetros simulados [11].

O método simplificado foi calculado através do modelo matemático descrito pela norma ISO 12354-1 [4]. A base do modelo de cálculo é a relação inversa entre o isolamento acústico ao ruído aéreo entre dois ambientes, expressada pela Diferença Padronizada de Nível (D_{nT}), e a soma de todas as transmissões diretas e indiretas, corrigida com o volume do recinto receptor e a área do elemento separador [9]. A Diferença padronizada de nível sonoro (D_{nT}) é dada por:

$$D_{nT} = R' + (10 \lg 0,32 V S_s) \text{ dB}, \quad (1)$$

em que V é o volume do recinto receptor em metros cúbicos, S_s é a área do elemento separador entre os recintos em metros quadrados e R' é o índice de redução sonora aparente em decibel, dado por:

$$R' = - (10 \lg \tau') \text{ dB}, (2)$$

em que τ' é a somatória da transmissão direta e todas as transmissões indiretas, que são influenciadas prioritariamente pelo Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w) do elemento separador e dos flancos; e pelo Índice de Redução de Vibração para Junções (K_{ij}), que é calculado em função do fator M , descrito na Equação (3), que traça uma relação entre a massa específica superficial do elemento i (m_i') no caminho de transmissão ij , e a massa específica superficial do elemento perpendicular (m_{li}') formador da junção [12], sendo:

$$M = \log[(m_{li}')/(m_i')]. (3)$$

No método simplificado, o resultado será o valor global $D_{nT,w}$, enquanto que no método completo serão obtidos valores do D_{nT} em bandas de 1/3 de oitava, os quais devem ser processados de acordo com o procedimento de cálculo estabelecido na norma ISO 717-1, a fim de obter o valor global [9].

Em ambos os cálculos, são utilizados os índices R_w , as massas específicas superficiais m' e as áreas tanto do elemento separador quanto dos flancos, além dos volumes dos ambientes incluídos [12]. A Tabela 1 apresenta as características de cada elemento separador analisado, bem como seus valores de área, R_w e massa específica superficial (m').

Tabela 1: Características dos elementos separadores de cada ambiente simulado.

Empreendimento	Ambiente Emissor	Ambiente Receptor	Composição	Área elemento separador	R_w [dB]	m' [kg/m ²]
A (A1)	Banheiro unidade 203	Banheiro unidade 303	Laje de 120 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica + forro abaixo da tubulação	2,74 m ²	57	368,3
A (A2)	Banheiro suíte master unidade 22	Banheiro suíte master unidade 32	Laje de 110 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica + forro abaixo da tubulação	7,1 m ²	56	343,3
B	Banheiro unidade 1101	Banheiro unidade 1201	Laje de 100 mm + piso de cerâmica + forro abaixo da tubulação	2,37 m ²	54	258,3
C	Banheiro 1 unidade 704	Banheiro 1 unidade 804	Laje maciça 120 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica + forro de gesso acartonado	3,15 m ²	57	368,3
D (D1)	Banheiro social unidade 203	Banheiro social unidade 303	Laje maciça 100 mm + piso de cerâmica + forro de gesso acartonado	3,18 m ²	54	258,3
D (D2)	Banheiro suíte unidade 203	Banheiro suíte unidade 303	Laje maciça 100 mm + piso de cerâmica + forro de gesso acartonado	3,46 m ²	54	258,3
E	Banheiro social unidade 606	Banheiro social unidade 706	Laje maciça 150 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica + forro de gesso acartonado	2,91 m ²	58	443,3
F (F1)	Banheiro casal	Banheiro casal unidade	Laje maciça 120 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica +	6,23 m ²	57	368,3

	unidade 701	801	forro abaixo da tubulação			
F (F2)	Banheiro 01 unidade 701	Banheiro 01 unidade 801	Laje maciça 120 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica + forro abaixo da tubulação	3,8 m ²	57	368,3

Maiores informações sobre as amostras podem ser consultadas no Quadro 1, presente no Apêndice deste documento.

3.2 Método de ensaio através da NBR ISO 10052:2022

A norma ABNT NBR ISO 10052:2022 [5] descreve o procedimento de medição do nível de pressão sonora para isolamento a ruído aéreo entre ambientes da seguinte maneira: para determinar o isolamento acústico a ruído aéreo, é necessário medir o nível médio de pressão sonora tanto nas salas de emissão como nas de recepção. Essa medição deve ser realizada em cada uma das bandas de oitava especificadas, utilizando um sonômetro integrador.

O procedimento de medição requer ficar em pé próximo ao centro do piso, de costas para a fonte sonora (no caso das salas de emissão) ou para o elemento de separação (nas salas de recepção). O sonômetro deve ser segurado à extensão do braço e movido quatro vezes na horizontal, abrangendo 180°, com um movimento suave na direção transversal (ver Figura 2). Essas quatro rotações devem ser concluídas em um tempo total de aproximadamente 30 segundos. Como alternativa, pode-se usar um microfone giratório em um suporte, com um ângulo de inclinação de no mínimo 10° em relação à horizontal e um raio mínimo de 1 metro [5].

Caso não estejam disponíveis sonômetros de banda de oitava paralela ou banda de oitava em tempo real, o procedimento deve ser repetido para cada banda de oitava separadamente, com a leitura do Leq para um tempo de 30 segundos do sonômetro, a fim de obter uma estimativa dos níveis médios em cada banda de oitava no ambiente [5].



Figura 2: Exemplo de movimento do sonômetro.

Fonte: ABNT NBR ISO 10052:2022

Dos procedimentos de ensaio, inicia-se com a geração de campo sonoro. Nos ensaios entre sistemas de pisos, o ambiente inferior deve ser o emissor, e o superior deve ser o ambiente receptor. O campo sonoro gerado no receptor deve ser estável e ter um espectro contínuo sobre a faixa de frequências considerada.

A fim de medir o isolamento sonoro entre ambientes, é necessário utilizar uma fonte sonora omnidirecional. Para todas as medições, é imprescindível o uso de microfones de campo difuso. Caso o sonômetro possua microfones de campo livre, é necessário aplicar correções para considerar o campo sonoro difuso. Além disso, os filtros utilizados devem atender aos requisitos especificados na norma IEC 61260 [5].

4. Resultados e discussões

A Figura 3 apresenta os resultados de $D_{nT,w}$ obtidos através de simulação (utilizando os métodos de cálculo da norma ISO 12354-1 [4]) e os medidos *in loco* em cada um dos ambientes avaliados. Todas as simulações foram feitas considerando ambiente com forro e sem impermeabilizações.

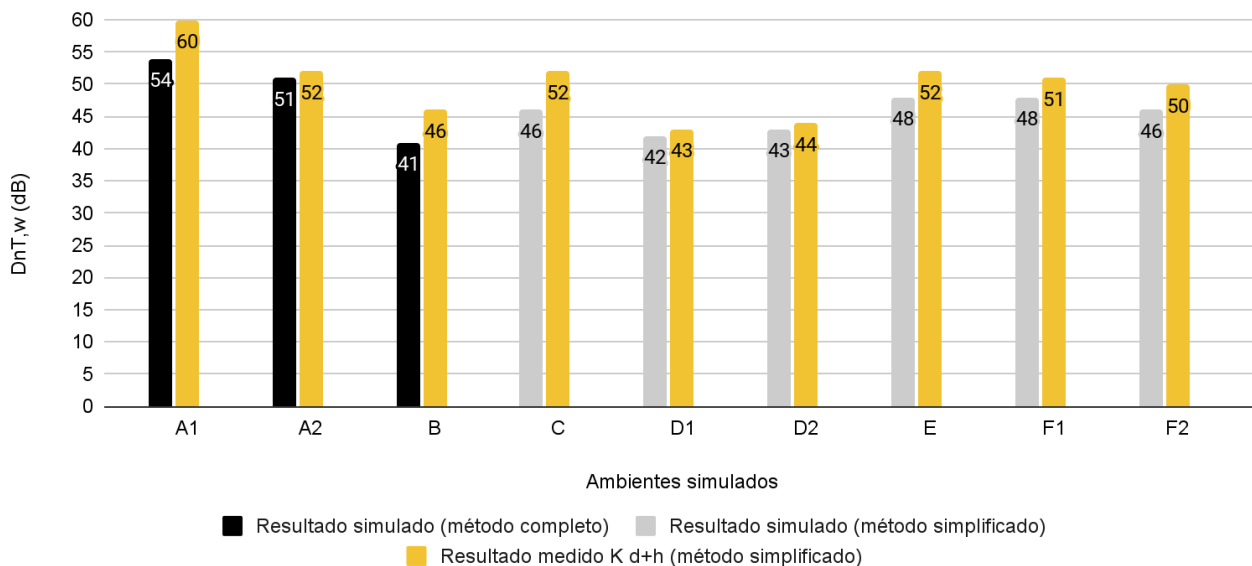


Figura 3: Gráfico dos resultados.

Conforme a norma ISO 12354-1 [4], para o cálculo do isolamento a ruído aéreo mediante o método completo, podem ser esperados resultados para o valor global de R_w com uma variação aproximada de ± 2 dB para as situações mais simples, e de ± 4 dB para aquelas mais complexas ou quando não for considerado o tempo de reverberação estrutural dos elementos construtivos [9].

Em todos os casos analisados, os resultados obtidos para medições *in loco* foram superiores aos simulados, ou seja, a favor da segurança. Para as simulações realizadas de acordo com o método completo de cálculo, os ambientes A1 e B apresentaram resultados 6 dB e 5 dB abaixo da medição local, e o ambiente A2, apenas 1 dB abaixo.

De acordo com o capítulo 5 da ISO 12354-1 [4], estima-se que o método simplificado de cálculo apresenta um desvio de até 2 dB, com tendência de superestimar o isolamento [10]. Entretanto, novamente, todos os resultados obtidos para medições *in loco* foram superiores aos simulados.

Os sistemas C, E, F1 e F2 obtiveram $D_{nT,w}$ calculadas abaixo das medidas *in loco*, com diferenças de 6 dB, 4 dB, 3 dB e 4 dB, respectivamente. Já os sistemas D1 e D2 obtiveram resultados com apenas 1 dB acima do simulado.

Com relação aos diferentes sistemas construtivos do elemento separador, detalhados na Tabela 1, pode-se verificar a existência de quatro espessuras de laje: 10 cm para os ambientes B, D1 e D2, 11 cm no ambiente A2, 12 cm nos ambientes A1, C, F1 e F2 e 15 cm para o ambiente E. Todos os sistemas são compostos por laje, contrapiso e piso cerâmico, exceto nos casos em que a laje é de 10 cm. A Figura 4 traz os resultados organizados com base nas espessuras de laje de cada amostra.

Nos sistemas onde a laje possui 10 cm de espessura, foram encontradas diferenças de 5 dB e 1 dB, para a simulação através do método completo e as simulações através do método simplificado, respectivamente.

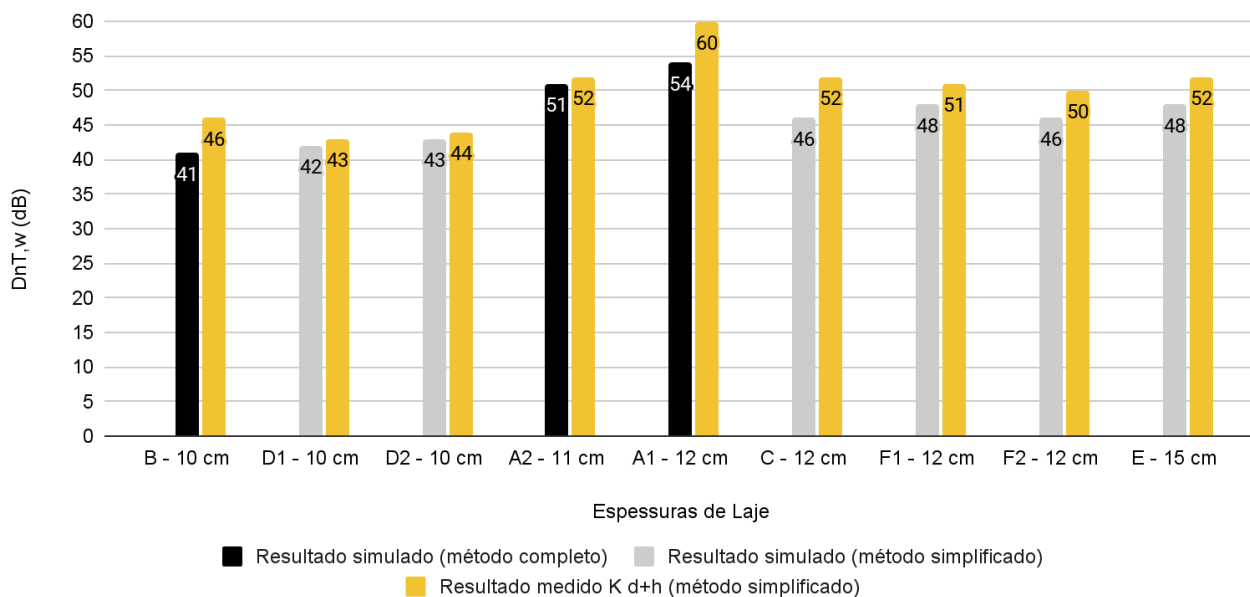


Figura 4: Gráfico dos resultados.

A laje de 11 cm apresentou diferença de 1 dB entre a medição local e a simulação através do método completo.

Para as lajes de espessura 12 cm, o cálculo realizado através do método completo apresentou diferença de 6 dB em relação à medição *in loco*, enquanto os cálculos através do método simplificado apresentaram diferenças de 6 dB, 3 dB e 4 dB.

A laje com 15 cm de espessura, simulada através do método simplificado, resultou em uma diferença de 4 dB para a medição feita no local.

É fundamental destacar que as instalações prediais presentes no elemento separador não foram levadas em conta no desenvolvimento das simulações, mas estavam presentes nos sistemas avaliados *in loco*. Visto que, por padrão, apenas duas tubulações transpassam a laje, sendo elas o ralo/caixa sifonada e a tubulação do vaso sanitário, podemos inferir que o tipo de sistema construtivo exerce mais influência nos resultados das medições do que o tipo de instalação sanitária.

Também foi observada uma falta de informação a respeito do que se considera um “banheiro mobiliado”, de acordo com a ABNT NBR ISO 10052:2022 [5]. Louças e metais apenas, ou também marcenaria, objetos de uso do dia a dia? Para o presente estudo, foi considerado banheiro sem mobília, porém permanece o questionamento enquanto esse tipo de ambiente for amostra de medição de desempenho acústico.

5. Considerações finais

Após finalizadas as medições em obra, depoimentos dos colaboradores fizeram referência principalmente à falta de espaço dentro dos ambientes para que os procedimentos de medição fossem executados de maneira satisfatória - na maioria das vezes, não houve distanciamento mínimo suficiente entre o microfone e a fonte sonora, devido às pequenas dimensões dos cômodos.

Embora tenham sido relatadas dificuldades para realização dos ensaios, todos os resultados obtidos atenderam à norma, seja em medição local ou em simulação, que não considerou a transmissão sonora por elementos da tubulação. Observa-se também que a influência das instalações hidrossanitárias não foi significativa, visto que em todas as simulações, o resultado gerado foi inferior ao medido *in loco*, caracterizando cenário a favor da segurança.

Assim sendo, surge o questionamento: será que a simulação é adequada aos padrões construtivos brasileiros? Não seria necessária uma pesquisa mais aprofundada estatisticamente em relação, principalmente, às transmissões por flancos, devido às diferenças de padrões construtivos europeias e brasileiras, a fim de ter uma melhor noção de como as transmissões indiretas ocorrem no sistema construtivo brasileiro?

Visto que há uma grande complexidade na obtenção de amostras controladas, sugere-se para trabalhos futuros a análise de um maior número de amostras, e a possibilidade de comparação de cálculos considerando a transmissão sonora através de elementos de instalação para outros ambientes de volume pequeno, a fim de verificar se outros sistemas construtivos também apresentam desempenho acústico satisfatório.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3 Edifícios Habitacionais Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos.** Rio de Janeiro, RJ, 2013
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3 Edifícios Habitacionais Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos.** Rio de Janeiro, RJ, 2021.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575:2013 | Comentários sobre proposta de revisão de texto.** Rio de Janeiro, RJ, 2021. <https://sd.iso.org/documents/ui/#!/browse/abnt/ct/abnt-cb-002/abnt-cb-002-ce-002-136-001>
- [4] ISO 12354-1: 2017. *Building acoustics—estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements—part 1: airborne sound insulation between rooms.* 2017.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10052:2022 Acústica - Medições em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais - Método simplificado.** Rio de Janeiro, RJ, 2022.
- [6] ROSSING, Thomas D.; STUMPF, Folden B. The science of sound. *American Journal of Physics*, v. 50, n. 10, p. 955-955, 1982.
- [7] HARRIS, Cyril Manton. **Noise control in buildings: a practical guide for architects and engineers.** McGraw Hill, 1994.
- [8] ROCHA, Raquel Rossatto. **Análise e caracterização de soluções acústicas para mitigar os ruídos oriundos de instalações hidrossanitárias prediais.** 2018. Dissertação. Universidade de São Paulo.
- [9] DE FRÍAS, Juan; GIBIN, Fernando, DIEZ, Victor, GONZÁLEZ, Benjamín. **Resultados de isolamento acústico a ruído aéreo e de impacto conforme norma ISO 12354: Métodos simplificado vs. detalhado vs. ensaios de campo.** In: XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Sobrac 2018, Porto Alegre, RS, 2018.
- [10] NASCIMENTO, Néio Lúcio Freitas.; COELHO, Fabiana Curado; MACIEL, Cândida de Almeida. **Estudo comparativo entre as $D_{nT,w}$ aferidas in loco e as resultantes do método de cálculo da norma EN 12354-1 em sistemas de vedação vertical interna.** In: XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Sobrac 2017, Brasília, DF, 2017.
- [11] SÁ, K. S.; FENGLER, B.; ROCHA, R. R.; GINER, J. C. **Acústica e BIM – Comparação de resultados e procedimento de simulação para isolamento acústico entre software.** In: XII Congresso Iberoamericano de Acústica / XXIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC, Florianópolis, SC, 2020/22.
- [12] NASCIMENTO, Néio Lúcio Freitas; COELHO, Fabiana Curado. **Estudo comparativo entre os valores de $D_{nT,w}$ ensaiadas em campo e simuladas no sistema de cálculo simplificado da ISO 12354-1.** In: XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Sobrac 2018, Porto Alegre, RS, 2018.

A. Apêndices

Quadro 1: Dados gerais sobre as simulações e medições realizadas para o presente estudo.

Ano	Empreendimento	Tipo de Ensaio	Volume do Emissor	Volume do Receptor	Área de separação dos ambientes	Composição sendo todos com forro abaixo das tubulações	Norma da Simulação ISO 12354-1:2017	Resultado simulado	Resultado medido K de d+h ¹
2023	A (A1)	Piso aéreo	7,3 m ³	7,3 m ³	2,74 m ²	Laje de 120 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica	completo	54 dB	60 dB
2023	A (A2)	Piso aéreo	18,2 m ³	18,2 m ³	7,1 m ²	Laje de 110 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica	completo	51 dB	52 dB
2023	B	Piso aéreo	5,61 m ³	5,61 m ³	2,37 m ²	Laje de 100 mm + piso de cerâmica	completo	41 dB	46 dB
2023	C	Piso aéreo	7,6 m ³	7,6 m ³	3,15 m ²	Laje maciça 120 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica	simplificado	46 dB	52 dB
2023	D (D1)	Piso aéreo	7,63 m ³	7,63 m ³	3,18 m ²	Laje maciça 100 mm + piso de cerâmica	simplificado	42 dB	43 dB
2023	D (D2)	Piso aéreo	8,3 m ³	8,3 m ³	3,46 m ²	Laje maciça 100 mm + piso de cerâmica	simplificado	43 dB	44 dB
2023	E	Piso aéreo	6,98 m ³	6,98 m ³	2,91 m ²	Laje maciça 150 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica	simplificado	48 dB	52 dB
2023	F (F1)	Piso aéreo	14,95 m ³	14,95 m ³	6,23 m ²	Laje maciça 120 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica	simplificado	48 dB	51 dB
2023	F (F2)	Piso aéreo	9,12 m ³	9,12 m ³	3,8 m ²	Laje maciça 120 mm + contrapiso “farofa” 30 mm + piso de cerâmica	simplificado	46 dB	50 dB

¹ **d+h:** tipos de ambiente sem mobília combinados, de acordo com “Tabela 4 - Dados do índice de reverberação em dB, em bandas de oitava e correspondentes níveis de pressão sonora ponderada em A ou C” da ABNT NBR ISO 10052:2022 [5].