



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Isolamento de ruído de impacto em pisos de sala de aula avaliados em campo

Alves, S. M.¹; Barbieri Júnior, M. R.²; Cruz, H. A. F.³; Bertoli, S. R.⁴

¹ PPGEF FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, samiraeng@outlook.com

² PPGEF FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, mrbjr@outlook.com

³ PPGEF FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, eng.hugocruz@hotmail.com

⁴ PPGEF FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, rolla@fec.unicamp.br

Resumo

O conforto acústico tem se mostrado desafiador para a construção civil, trazendo uma abordagem de desempenho para além dos quesitos resistência e durabilidade. A vigência da norma de desempenho das edificações habitacionais, ABNT NBR 15575:2021, estabelecendo requisitos, critérios e métodos de avaliação, que incluem o isolamento de ruído de impacto em pisos, atuou positivamente para evolução da qualidade acústica nas edificações habitacionais brasileiras. Os resultados dos ensaios de isolamento de ruído de impacto em pisos, realizados em laboratório e em campo, apresentam diferenças. Assim, o desempenho nas edificações construídas pode não atingir o estimado nas especificações projetivas, baseados nos resultados de medições em laboratório. Para contribuir no entendimento da diferença de desempenho entre laboratório e campo, esse trabalho apresenta uma análise sobre fatores que alteraram o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$), por ensaio em campo. Como estudo de caso foram avaliadas quatro salas de aula na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, considerando características como: tipos de revestimento de piso, espessura das lajes, presença de forro, arranjo das lajes em relação às paredes, área e volumes dos ambientes receptores. Os ensaios seguiram os procedimentos das normas ABNT NBR ISO 16283-2:2018 e ISO 717-2:2013. Fundamentado nos dados obtidos da avaliação em campo, foi realizado um estudo comparativo do desempenho acústico dos diferentes ambientes. Concluiu-se que fatores como a espessura das lajes e presença de forro na sala receptora influenciaram no isolamento acústico, e que a influência dos tipos de piso, área e volume dos ambientes e posição das lajes em relação às paredes laterais não apresentaram diferenças significativas.

Palavras-chave: ruído de impacto, ensaios em campo, piso, forro, lajes

PACS: 43.55.Ti, 43.50.Pn, 43.50.Jh.

Abstract

Acoustic comfort has proved to be a challenge for civil construction, bringing a performance approach beyond strength and durability. The validity of the performance standard for housing buildings, ABNT NBR 15575:2021, establishing requirements, criteria and evaluation methods, which include the isolation of impact noise on floors, acted positively for the evolution of acoustic quality in Brazilian housing buildings. The results of floor impact noise insulation tests, carried out in the laboratory and in the field, show differences. Thus, the performance in built buildings may not reach the estimated in the projective specifications, based on the results of measurements in the laboratory. To contribute to the understanding the difference in performance between laboratory and field, this work presents an analysis of factors that changed the level of standard weighted impact sound pressure ($L'_{nT,w}$), by field test. As a case study, four classrooms at the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Urbanism at UNICAMP were evaluated, considering characteristics such as: types of floor covering, thickness of the slabs, presence of lining, arrangement of the slabs in relation to the walls, area and volumes of the receiving environments. The tests followed the procedures of the ABNT NBR ISO 16283-2:2018 and ISO 717-2:2013 standards. Based on the data obtained from the field evaluation, a comparative study of the acoustic performance of the different environments was carried out. It was concluded that factors such as the thickness of the slabs and the presence of lining in the receiving room influenced the acoustic insulation, and that the influence of the types of floor, area and volume of the environments and position of the slabs in relation to the side walls did not show significant differences.

Keywords: impact noise, field tests, floor, lining, slabs



1. INTRODUÇÃO

Entende-se como ruído um som indesejado que gera efeitos desagradáveis. Em níveis mais elevados o ruído pode causar efeitos fisiológicos, psicológicos e até estruturais [1]. Existem duas formas de transmissão do ruído: aérea e por impacto. O crescimento populacional nos centros urbanos levou a popularização de edificações verticalizadas, tanto residenciais como comerciais, aumentaram a emissão de ruídos, uma vez que ele está presente em praticamente todas as atividades humanas. Nessas edificações verticalizadas as unidades estão separadas entre si por conjuntos laje/piso que podem ser meios de transmissão de ruído e gerar incômodo para os usuários. Por isso a importância de considerar a transmissão de ruído por impacto nesses sistemas e seu isolamento.

Para analisar o desempenho acústico é importante o conhecimento das normas nacionais e internacionais pertinentes ao assunto. Existem normas que tratam dos métodos de medição e outras que tratam dos métodos de predição de isolamento para ruído de impacto em piso. No Brasil, a norma de desempenho de edificações habitacionais ABNT NBR 15575:2021 [2] colocar a versão atualizada estabelece requisitos, critérios e métodos de avaliação de desempenho e está dividida em seis partes para tratar diferentes sistemas. A parte 3 refere-se aos sistemas de piso, o item 12 dessa parte aborda os requisitos e critérios tanto para o isolamento de ruído de impacto (caminhamento, queda de objetos e outros), quanto isolamento de ruído aéreo (conversas, som proveniente de TV e outros).

Os problemas identificados em edificações habitacionais verticalizadas, também podem ser evidenciados em edificações educacionais. Embora a norma ABNT NBR 15575:2021 [2] se refira a edifícios residenciais, os métodos nela descritos são também importantes para o ensaio de edifícios educacionais, pois ambos podem apresentar materiais e metodologias construtivas similares. O método de avaliação de medição do isolamento de ruído de impacto indicado na norma ABNT NBR 15575-3:2021

[3] é descrito na norma ABNT NBR ISO 16283-2:2018. [4]

Duas fontes de impacto são descritas nessa norma: a fonte de impacto padronizado (*tapping machine*) e a bola de borracha. Neste trabalho, foi utilizado o método com a fonte de impacto padronizado. Ela é usada para avaliar uma variedade de impactos leves e pesados, tais como, passos de pessoas usando calçados de calcanhar duro ou objetos derrubados. Há dois métodos disponíveis para avaliação do isolamento de ruído de impacto em sistema de pisos: o método de engenharia e o método simplificado. Entre os métodos de medição em campo, o método de engenharia é o mais preciso e foi o utilizado neste trabalho. O parâmetro acústico de avaliação de desempenho para sistema de piso quanto ao isolamento a ruído de impacto é o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$), obtido pela norma ABNT NBR ISO 16283-2:2018 [4] em conjunto com a norma ISO 717-2:2013. [5]

O objetivo do presente trabalho é analisar o isolamento sonoro a ruído de impacto de pisos considerando diferentes tipos de lajes, de revestimento, de formas de apoio das lajes e do volume das salas receptoras, a fim de determinar quais são os fatores que influenciam no isolamento sonoro em campo do ruído de impacto desses pisos.

2. METODOLOGIA

Nesse estudo de determinação isolamento sonoro a ruído de impactos de pisos, foram analisadas as salas de aula do prédio da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Primeiro foi realizado o levantamento de alguns fatores que podem influenciar no isolamento de ruído de impacto de sistemas de pisos, tais como: tipos de piso, diferentes revestimentos e presença ou não de forro nas salas receptoras. Em seguida, a partir das plantas, cortes e fachadas dos prédios da FEC, fornecidas pela Coordenadoria de Projetos (CEPROJ) da FECFAU-UNICAMP, foi possível determinar a área de piso e o volume das salas, bem como a

espessura e os tipos das lajes e também o tipo de junção delas com as paredes. Após análise desses dados foram escolhidas as salas que seriam ensaiadas.

Definidas as salas, foi ensaiado o isolamento de ruído de impacto de pisos, adotando os métodos e cálculos especificados pelas normas ABNT NBR ISO 16283-2:2018 [4] e ISO 717-2 [5]. O método de engenharia, descrito na norma ABNT NBR ISO 16283-2:2018 [4], indica os parâmetros acústicos a serem médios em campo para a determinação, em campo, do nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) obtidos em função de frequência em bandas de 1/3 de oitava entre 100 Hz e 3500Hz. Esses valores são convertidos em um número único usando os procedimentos descritos na norma ISO 717-2:2013[5] para obter o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$), que é utilizado na avaliação do desempenho acústico de isolamento sonoro de sistemas de pisos a ruído de impacto, em campo.

Os equipamentos utilizados nos ensaios são da marca Brüel&Kjaer. Sendo eles: um medidor de nível de pressão sonora modelo BK 2270, uma fonte omnidirecional Tipo 4292-L, um amplificador Tipo 2734, o software Building Acoustics BZ 7228 e uma fonte de impacto padronizado (“tapping machine”) Tipo 3207.

3. RESULTADOS

Nesse item são apresentadas as características das salas escolhidas para os ensaios; os pontos de ensaio em cada sala; a disposição das salas, mostrando a posição delas em cortes transversais; os valores de nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) em função de frequência para cada sala; o número único de nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) e o nível de desempenho para cada sala; além de uma discussão dos resultados obtidos.

3.1 Disposição e características das salas ensaiadas

As Figuras 1 e 2 apresentam cortes transversais de dois corredores do prédio das salas de aula com a disposição das salas, que auxiliaram na escolha das salas emissoras e receptoras dos

ensaios de isolamento sonoro de ruído de impacto dos sistemas de piso. As salas que apresentavam muitas divisórias internas, ou estavam subdivididas por divisórias ou paredes de vedação em posição irregular foram desconsideradas, por não serem adequadas para ensaio como ambiente único.

Para os ensaios em campo de isolamento sonoro de sistemas de piso foram escolhidos quatro sistemas: (a) sistema de piso entre sala CA 11 e Auditório, (b) sistema de piso entre CA 31 e CA 21, (c) sistema de piso entre CA 35 e CA 23 e (d) sistema de piso entre CA 36 e CA 24. (ver Figuras 1 e 2). Os sistemas de piso escolhidos apresentam uma variação de características com relação ao tipo de revestimento, presença de forro na sala receptora, área de piso, volume da sala receptora e espessura da laje, possibilitando a análise dos resultados e determinação dos fatores que impactam no isolamento.

Pela observação dos cortes transversais (Figuras 1 e 2), o Auditório e as salas CA21 e CA24 estão sob lajes que abrangem completamente o volume das suas salas emissoras (CA11, CA31 e CA36, respectivamente), portanto a área de piso é comum para o conjunto sala emissora e receptora. Observa-se que o piso da sala CA 35 (sala emissora) está compartilhado com as salas CA 23 (sala receptora) e CA 22, portanto a laje da sala CA 23 tem um apoio diferente que as outras salas.

Quanto ao volume, as salas CA21 e CA24 possuem os mesmos volumes que as respectivas salas emissoras, enquanto o Auditório tem um volume maior que o da sua sala emissora, e a sala CA23 volume menor comparado a sala emissora. Os volumes das salas estão apresentados na Tabela 1.

Destaca-se que a sala CA21 tem um forro acústico, enquanto o Auditório e as salas CA23 e CA24 não possuem. As lajes acima do Auditório e as salas CA21 e CA23 são revestidas com pisos vinílicos, enquanto a laje superior a sala CA24 é revestida com piso cerâmico. A Tabela 1 apresenta as características das salas ensaiadas



Figura 1: Corte das salas no corredor oeste da FECFAU (adaptado).

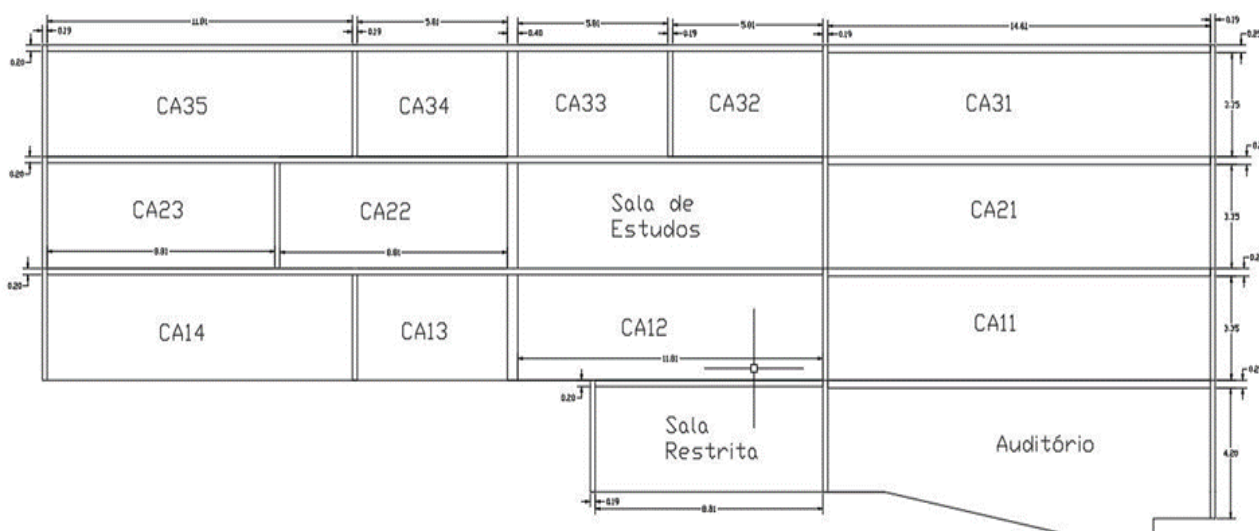


Figura 2: Corte das salas no corredor norte da FECFAU (adaptado).

Tabela 1: Salas da FECFAU ensaiadas.

Sala	Piso	Forro	Área (m ²)	Volume (m ³)	Espessura da Laje (cm)
Auditório (receptor)	Vinílico	Não	160.10	658.00	20
CA11 (emissor)	Vinílico	Sim	160.10	536.32	25
CA21 (receptor)	Vinílico	Sim	160.10	536.32	25
CA23 (receptor)	Vinílico	Não	68.81	233.94	20
CA24 (receptor)	Cerâmico	Não	156.91	533.48	20
CA31 (emissor)	Vinílico	Não	160.10	536.32	25
CA35 (emissor)	Vinílico	Não	92.24	313.60	20
CA36 (emissor)	Cerâmico	Sim	156.91	533.48	20

3.2 Dados sobre medição em campo

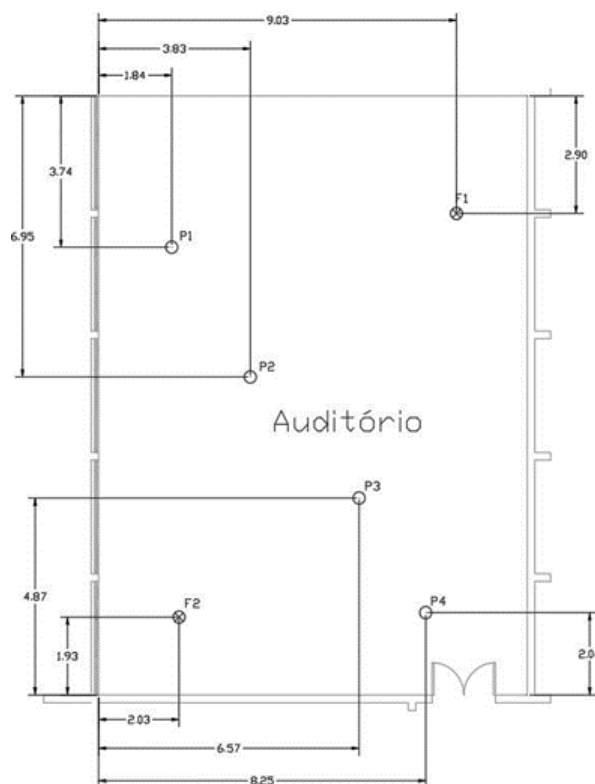
Para o ensaio de isolamento sonoro a ruído de impacto dos pisos entre CA11/Auditório e CA31/CA21, foram escolhidos 4 pontos para posicionamento da fonte de impacto na sala emissora e 4 posições de microfones na sala receptora. Para a medição do tempo de reverberação da sala receptora, foram adotadas 2 posições de fontes sonora e as mesmas 4 posições de microfone. Em ambos os casos foram realizadas 2 medições de som residual.

Para os pisos entre CA 35/CA 23 foi adotado o mesmo número posição de fonte e receptores, com 4 medições de som residual.

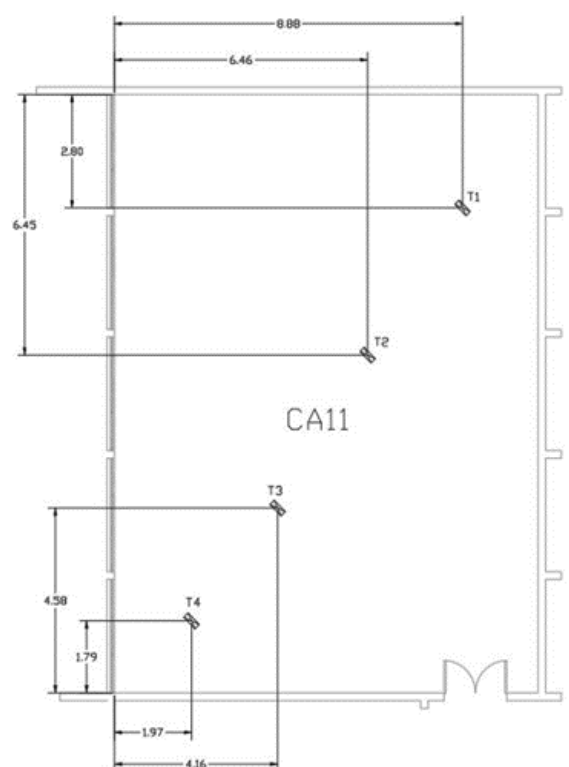
A Figura 3 mostra o posicionamento dos pontos de fonte e de receptores para o Auditório (a) e CA 11(b), respectivamente. A Figura 4 mostra o posicionamento dos pontos de fonte e de receptores para a CA21 (a) e CA 31 (b), respectivamente. As Figura 5 mostra o

posicionamento dos pontos de fonte e de receptores para a CA23 (a) e CA 35 (b), respectivamente.

No caso do ensaio de isolamento sonoro a ruído de impacto do piso entre CA36/CA24 escolhidos 4 pontos de fonte de impacto na sala emissora e 8 posições de microfones na sala receptora. Para a medição do tempo de reverberação da sala receptora foram adotadas 2 posições de fontes e as mesmas 8 posições de microfone. Foram efetuadas 8 medições de som residual. As Figura 6 mostra o posicionamento dos pontos de fonte e de receptores para a CA24 (a) e CA 36 (b), respectivamente.

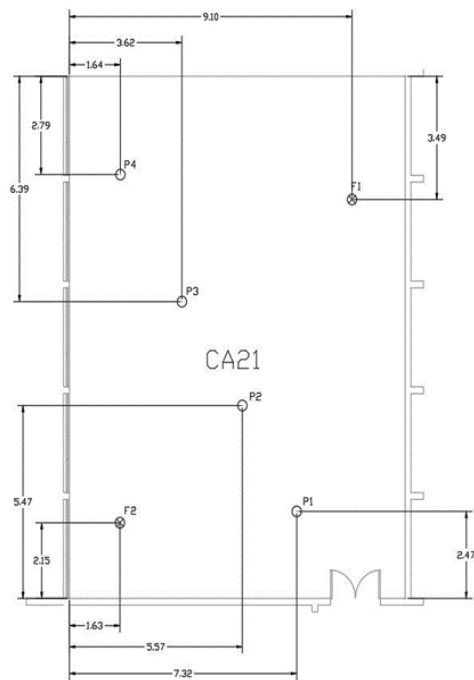


(a) Auditório e pontos ensaiados.

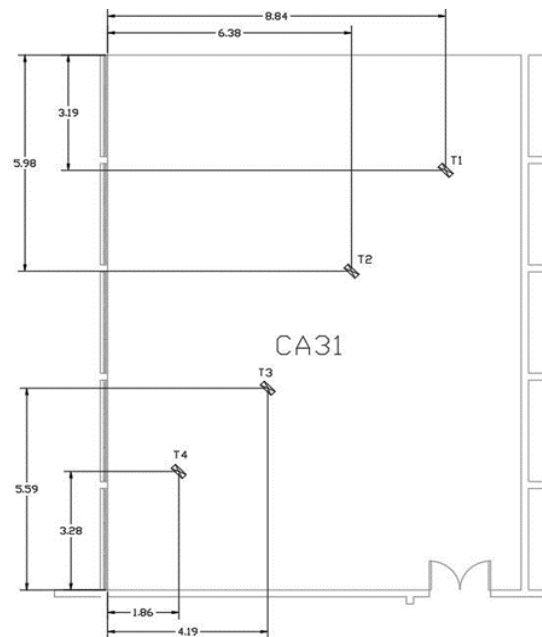


(b) CA11e pontos ensaiados.

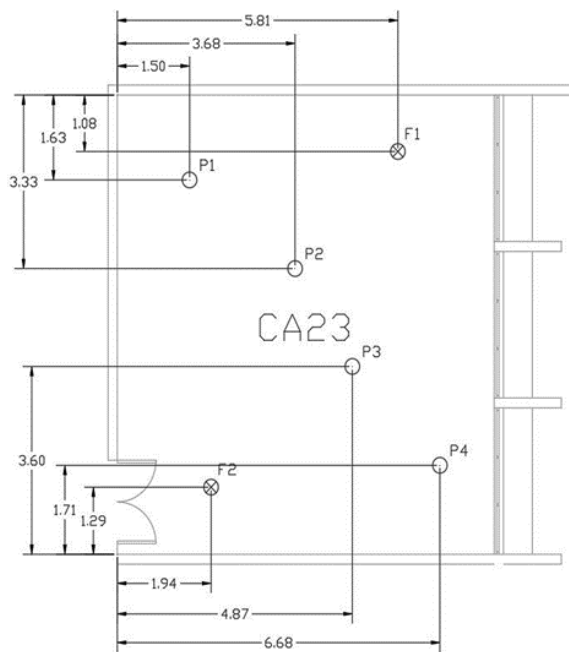
Figura 3: Disposição dos pontos de medição CA11/Auditório (adaptado).



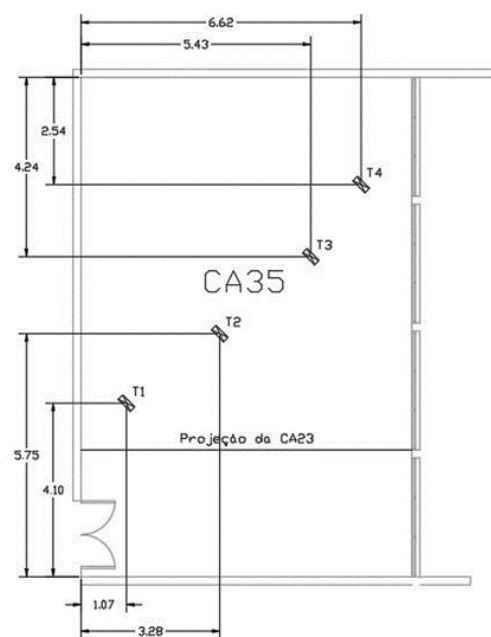
(a) CA21 e pontos ensaiados.



(b) CA31e pontos ensaiados.

Figura 4: Disposição dos pontos de medição CA31/CA21 (adaptado).

(a) CA23 e pontos ensaiados.



(b) CA35 e pontos ensaiados.

Figura 5: Disposição dos pontos de medição CA23/CA35 (adaptado).

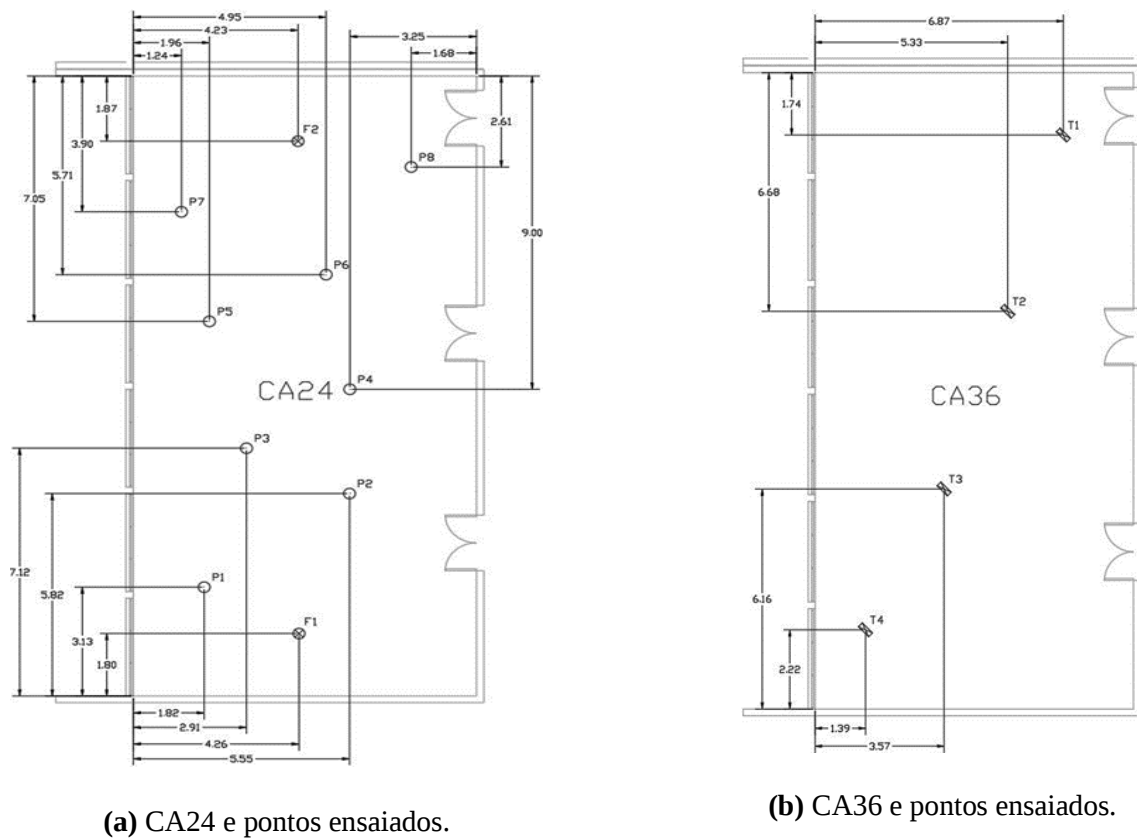


Figura 6: Disposição dos pontos de medição CA24/CA36 (adaptado).

Tabela 2: Nível de pressão sonora de impacto padronizado em função de frequência

	L'nT ajustado (nível de pressão sonora de impacto padrão ajustado) (dB)															
	100 Hz	125H z	160H z	200H z	250H z	315H z	400H z	500H z	630 Hz	800H z	1kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2kHz	2.5k Hz	3.15k Hz
AU	48.3	50.6	49.5	49.2	49.6	51.2	50.4	52.4	53.1	54.6	54.7	55.9	56.5	57.0	58.9	60.3
CA21	43.5	43.9	46.5	45.3	47.4	50.4	51.5	49.9	52.7	51.2	50.8	52.1	52.2	51.4	50.3	49.5
CA23	52.6	55.1	56.4	57.1	55.9	56.0	57.2	58.1	60.7	60.4	60.5	61.1	61.1	61.3	59.9	60.2
CA24	48.7	50.5	52.4	52.7	52.8	51.9	52.6	54.1	56.2	57.4	58.1	60.8	59.8	60.3	59.7	61.3

Nas salas receptoras abaixo de cada piso escolhido foram obtidos os valores do nível de pressão sonora em função de frequência com fonte de impacto operando e também os tempos de reverberação em função de frequência. A partir desses dados foram calculados os valores do nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) em função de frequência. Os resultado dos cálculos estão indicados para cada sala receptora na Tabela 2.

Aplicados os procedimento da ISO 717-2:2013 [5] foram determinados os valores do nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($LnTw'$), Na Tabela 3 são apresentados os valores de $LnTw'$, bem como o nível de desempenho atingido para o Auditório e as salas CA21, CA23 e CA24, segundo a ABNT NBR 155757:2021[2] caso fossem sistemas de piso de edificações habitacionais.



Tabela 3: Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) para as salas ensaiadas.

Sala	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Auditório	64	Intermediário
CA21	57	Intermediário
CA23	67	Mínimo
CA24	66	Mínimo

Lembrando que quanto menor o valor de $L'_{nT,w}$, melhor o isolamento sonora a ruído de impacto, observa-se dos resultados da Tabela 3 que a separação entre as salas CA31 e CA21 apresentou um desempenho acústico superior em relação às outras salas, com $L'_{nT,w}$ de 57 dB. A separação entre a CA11 e Auditório tem mesma espessura de laje (25cm) e apresentou um desempenho pior. Embora o volume entre as salas receptoras sejam ligeiramente diferentes a presença do forro na sala receptora CA 21 pode ter influenciado significativamente na melhora do desempenho de isolamento.

As lajes entre as salas CA 35 e CA23 e entre as salas CA 36 e CA24 apresentaram os dois piores resultados de isolamento sonoro a impacto entre as lajes estudadas. Elas tem espessura de 20 cm portanto mais finas que as outras duas lajes. A influência do volume das salas receptoras parecem não ter influenciado de forma significativa na diferença entre os resultados de isolamento.

Os pisos vinílico utilizados nas salas acima do Auditório e das salas CA21 e CA23 colados ao contrapiso e acima da CA24 o revestimento é piso cerâmico. Os desempenhos de isolamento sonoro de impacto de piso para as salas CA23 e CA24 ficaram muito próximos o que indicou que os revestimentos não mudaram de forma significativa o desempenho.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença de forro no ambiente receptor do impacto se mostrou determinante para um melhor isolamento acústico. A sala com presença de forro apresentou melhor desempenho acústico com redução de 7dB para o L_nT_w' em relação a qualquer outra das salas ensaiadas. A espessura da laje também teve influência considerável no ruído de impacto, visto que as duas salas com maiores espessuras exibiram os melhores desempenhos acústicos.

Não foram apresentadas quais são as influências dos volumes e áreas dos ambientes emissores e receptores nem a influência do arranjo das lajes, devido ao espaço amostral reduzido. Também não foi impossível concluir experimentalmente uma diferença no desempenho acústico entre os tipos de piso, embora se estime que o piso vinílico isole mais o impacto do que o piso cerâmico. Sugere-se, a partir disso, uma ampliação do espaço amostral a fim de continuar a investigar a influência desses fatores.

5. AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] BISTAFA, SR. **Acústica no aplicada ao controle de ruído 2^a**, São Paulo, 2011.
- [2] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [3] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho — Parte 3: Requisitos para sistemas de Piso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [4] *INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*. **ABNT NBR ISO 16283-2: Building acoustics — Acoustics — Field measurement of sound insulation in**



buildings and of building elements: Part 2:
Impact sound insulation. Londres, 2018.

[5] *INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR
STANDARDIZATION. BS ISO712-2:*
Acoustics – Rating of sound insulation in
buildings and of building elements: Part 2:
Impact sound insulation. Londres, 2013.