AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO AÉREO DE SISTEMAS VERTICAIS E HORIZONTAIS DO LABORATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO DA UFSM

Jéssica S. Vieira (1); Viviane S. G. Melo (2); Jamille B. Borges (3); Gabriela Meller (4); Giane C. Grigoletti (5)

(1) Mestranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, jessica.vieira.silva@outlook.com
(2) Doutora, Professora do Departamento de Estruturas e Construção Civil, viviane.melo@ufsm.br
(3) Mestranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, jamillebborges@hotmail.com
(4) Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, gabrielameller0@gmail.com
(5) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, giane.c.grigoletti@ufsm.br
Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Av. Roraima, 1000, Prédio INPE – Sala 2061, Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria, RS, +55 (55) 3220 8837

RESUMO

A escolha dos elementos construtivos de uma edificação deve abranger segurança, atender às exigências segundo normas técnicas a fim de garantir conforto e desempenho. Nesse contexto, o presente artigo apresenta um estudo da avaliação do isolamento acústico aéreo de elementos construtivos de uma sala de estudos de um laboratório em uma universidade federal, sediada no município de Santa Maria. Foram realizadas medições *in situ* de ruído residual, tempo de reverberação e isolamento aéreo dos sistemas de vedação verticais e horizontais internos. A metodologia de ensaios se baseou nas instruções das normas ABNT: NBR ISO 16283-1:2021, NBR ISO 717-1:2021 e NBR ISO 3382-2:2017. Como resultados encontrados para o sistema de vedação vertical (parede e porta) a perda de transmissão do conjunto foi de 37 dB, e para o sistema de vedação horizontal (laje nervurada) o isolamento a ruído aéreo foi de 52 dB. É importante lembrar que a classificação do desempenho acústico nas edificações, especialmente no Brasil, abrange a elementos habitacionais e não a diferentes edificações como escolas ou edificações comerciais. Diante do exposto, os resultados encontrados neste artigo foram comparados com valores de referência da norma americana ANSI/ASA S12.60/Parte 1:2010 (R2020), que possui parâmetros próprios para escolas e salas de aprendizado. Os resultados revelaram que o desempenho acústico do sistema de vedações verticais internos, que constitui a sala de estudos objeto desta pesquisa, são insuficientes, enquanto o sistema de vedação horizontal apresentou valores aceitáveis para isolamento a ruído aéreo.

Palavras-chave: Desempenho acústico de edificações, medições acústicas, isolamento aéreo, sala de estudos.

ABSTRACT

The choices of the constructive elements of a building must include safety, the requirements according to technical standards and guarantee comfort and performance. In this context, this article presents a study of the acoustic insulation of constructive elements in a study room at a federal university based in the municipality of Santa Maria. In situ measurements of residual noise, reverberation time and air insulation of the internal vertical and horizontal sealing systems were carried out. The tests were based on the instructions of the norms ABNT: NBR ISO 16283-1:2021, NBR ISO 717-1:2021 and NBR ISO 3382-2:2017. As results found for the vertical sealing system (wall and door) the transmission loss of the set was 37 dB, and for the horizontal sealing system (ribbed slab) the airborne noise isolation was 52 dB. It is important to remember that acoustic performance in buildings, especially in Brazil, covers housing elements and not different buildings such as schools or commercial buildings. Therefore, the results found in this article were compared with the reference values of the American standard ANSI/ASA S12.60/Part 1:2010 (R2020), which has its own parameters for schools and classrooms. The results revealed that the acoustic performance of the internal vertical sealing system, which constitutes the study room object of this research, is insufficient, while the horizontal sealing system presented acceptable values for airborne noise insulation.

Keywords: Acoustic performance of buildings, acoustic measurements, air insulation, study room.

1. INTRODUÇÃO

Em ambientes de ensino e aprendizagem a qualidade acústica é de extrema importância, pois irá refletir no desempenho de professores e alunos. Um espaço ruidoso gera efeitos negativos em tarefas cognitivas, como a leitura, a resolução de problemas e a memorização (EVANS, 2015). Isso também afeta a saúde dos professores, pois precisam fazer um significativo esforço vocal para serem compreendidos pelos alunos, como demonstra o estudo de Ronsse (2011).

Ao se tratar de avaliações construtivas para fins acústicos, as principais variáveis que afetam o isolamento acústico são a massa do sistema construtivo analisado, a frequência predominante do som incidente e a existência de pontos fracos em elementos construtivos, como portas e janelas (SCHIAVONI et al., 2016; THOMAS; DING, 2018). Mateus e Pereira (2011) afirmam que a transmissão sonora entre dois compartimentos envolve diversos fatores, como as propriedades elastodinâmicas dos elementos de separação, a heterogeneidade dos elementos, as características das ligações e dos campos sonoros estabelecidos nos recintos emissor e receptor. Além disso, a obtenção de um isolamento acústico eficiente depende da escolha de uma solução construtiva adequada e, inclusive, da correta instalação de esquadrias, como portas e janelas (MAK; WANG, 2015).

O tema conforto acústico em salas de aula e ambientes de estudo de escolas primárias, secundárias, bem como em espaços de ensino superior têm sido foco de vários estudos em todo o mundo (ASTOLFI; PELLEREY, 2008; MELO; TENENBAUM; MUSAFIR, 2012; KEMERICH, et al. 2022). É importante destacar que em ambientes de ensino e aprendizagem a qualidade acústica é de extrema importância, pois irá refletir diretamente no desenvolvimento produtivo de professores e alunos. Logo, as condições acústicas de um recinto podem ocasionar grandes efeitos, positivos ou negativos, no desempenho de estudantes e trabalhadores (LUBMAN; SUTHERLAND, 2001; WHO, 1999). Segundo Seep et al. (2002) a melhor forma de resolver problemas acústicos é evitá-los ainda na fase de projeto.

Nesse contexto, se denota que no cenário nacional ainda há poucos dados e informações dos aspectos relacionados ao desempenho acústico aéreo de edificações com a função de salas de aula e ambientes de estudo, principalmente em instituições de ensino superior.

2. OBJETIVO

Avaliar o isolamento acústico para ruído aéreo de elementos construtivos da sala de estudos de um laboratório universitário, por meio de medições acústicas de isolamento a ruído aéreo *in situ*. Os ensaios pretendem obter o ruído residual, o tempo de reverberação do ambiente de estudo e a diferença padronizada de nível de sistemas de vedações verticais e horizontais internos.

3. MÉTODO

A metodologia utilizada nesta pesquisa, é descrita pelas normas NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2021), para avaliação de isolamento sonoro ao ruído aéreo em sistemas de vedações verticais e horizontais internos; e pela NBR ISO 717-1 (ABNT, 2021), para classificação do isolamento acústico e tratamento dos dados medidos.

As medições referentes aos níveis de pressão sonora são realizadas em bandas de terço de oitava, nas frequências centrais de 100 Hz a 3150 Hz. Para obtenção do tempo de reverberação (TR) utiliza-se o método de ruído interrompido (ruído rosa), com três decaimentos por posição (total de seis posições), conforme recomendações da NBR ISO 3382-2 (ABNT, 2017).

3.1 Instrumentação

Nas medições são utilizados dois sonômetros da Hottinger Brüel & Kjaer modelo 2270, além de um calibrador para ajuste dos microfones, microfones, fonte sonora omnidirecional, amplificador de potência, todos do mesmo fabricante e de um termo-higrômetro da Instruterm. Cumpre informar que todos os equipamentos utilizados nesta pesquisa possuem certificados de calibração atualizados. A Tabela 1 apresenta as especificações dos equipamentos utilizados na metodologia dos testes da pesquisa. Já a Figura 1 ilustra a cadeia de medição adotada.



Figura 1 – Cadeia de medição adotada nas medições *in situ*.

Tabela 1 – Equipamentos utilizados nos ensaios *in situ*.

Descrição de equipamentos	Fabricante	Modelo	N° de série	Certificado de calibração
Medidor de NPS	Hottinger Brüel & Kjaer	2270	2679330	CBR2200379 (data: 12/05/2022)
Medidor de NPS		2270	2679332	CBR2200391 (data: 13/05/2022)
Fonte Omnidirecional		4292	28023	
Amplificador de potência		2716		
Microfone capacitivo		4189	2679369	CBR2200379 (data: 12/05/2022)
Pré-amplificador de microfone		ZC-0032	25279	CBR2200379 (data: 12/05/2022)
Microfone capacitivo		4189	2695315	CBR2200391 (data: 13/05/2022)
Pré-amplificador de microfone		ZC-0032	12383	CBR2200391 (data: 13/05/2022)
Calibrador de nível sonoro		4231	2699080	CBR2200369 (data: 10/05/2022)
Termo-higrômetro	Instruterm	THB 100	150807030	
Cabos, tripés, trenas etc.				

3.2. Caracterização da sala receptora

A fim de atingir o objetivo proposto nesta pesquisa, foi avaliado o isolamento ao ruído aéreo de uma sala de estudos situada no prédio do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), por meio de ensaios de TR, ruído residual e nível sonoro.

A sala analisada é considerada uma sala de estudos, para estudantes de cursos de graduação e pós-graduação, do Laboratório de Sustentabilidade do Ambiente Construído (LASAC) da UFSM. A edificação na qual está inserido o LASAC possui cerca de 6 salas de aulas, 5 ateliês, 2 laboratórios e diversos ambientes como auditório, maquetaria etc.

A sala objeto do estudo (receptora) está localizada no pavimento térreo, em posição de esquina, ao lado de um corredor de acesso e abaixo de uma sala de aula (atelier), conforme ilustra a Figura 2. Possui dimensões internas de 7,10 m por 8,12 m, com total de 63,40 m², pé direito de 2,50 m, resultando em um ambiente com um volume de 158,5 m³ (Figura 3). Os elementos construtivos analisados estão descritos na

Tabela 2. A Figura 4 ilustra a sala emissora (sala de aula – atelier), localizada no pavimento superior da edificação.

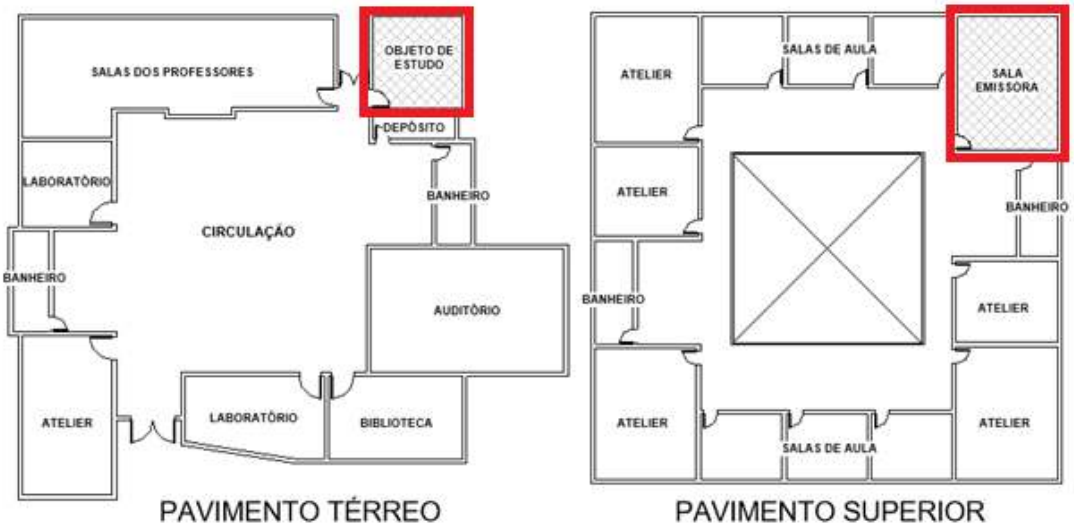

Figura 2 – Planta-baixa do edifício do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSM, com indicação das salas emissora e receptora.



Figura 3 – Sala receptora. Laboratório de Sustentabilidade do Ambiente Construído (LASAC), localizada no térreo.



Figura 4 – Sala emissora. Sala de aula (ateliêr) localizada no pavimento superior do edifício.

Tabela 2 – Descrição dos sistemas construtivos analisados na sala.

Sistema Construtivo	Características	Local de Uso
Sistema de vedação horizontal	Laje nervurada	Sala de aula (Emissora)
Sistema de vedação vertical	Parede – Alvenaria Porta – Madeira maciça	Sala de aula (Receptora)

3.3. Medições do tempo de reverberação e do ruído residual

Inicialmente, na sala de estudos vazia, foi avaliado o nível de ruído residual, a fim de verificar as condições acústicas das salas de aula para o desenvolvimento das demais medições. Todas as medições foram realizadas em um sábado, para não atrapalhar as atividades de docência ministradas na edificação. A medição de ruído residual foi realizada em um único ponto, posicionado próximo à porta e à parede cujo isolamento foi ensaiado,

definido como P2 na sala receptora (Figura 5). A duração da medição foi de 30 s e foram obtidos os valores de $L_{Zeq,\ 30s}$ nas frequências de 12,5 Hz a 20 kHz.

Para medir o TR foi utilizado um sonômetro Hottinger Brüel & Kjaer modelo 2270, como analisador de som modular em tempo real, que emitiu um sinal de ruído rosa para um amplificador de potência (Hottinger Brüel & Kjaer modelo 2716) conectado a uma fonte sonora omnidirecional (Hottinger Brüel & Kjaer modelo 4292). O som gerado foi captado por um microfone de campo difuso (Hottinger Brüel & Kjaer modelo 4942-A-021) conectado ao analisador, que automaticamente calculou o tempo de reverberação, T_{20}, para cada frequência do espectro de interesse. As medições foram realizadas pelo método de engenharia, seguindo as especificações padrão da NBR ISO 3382-2 (ABNT, 2017). Nas medições foram determinadas duas posições de fonte sonora para seis posições de microfone de sala receptora. Para análises dos dados extraídos, os cálculos foram realizados em uma planilha eletrônica, a fim de determinar o tempo médio de reverberação em cada faixa de espectro.

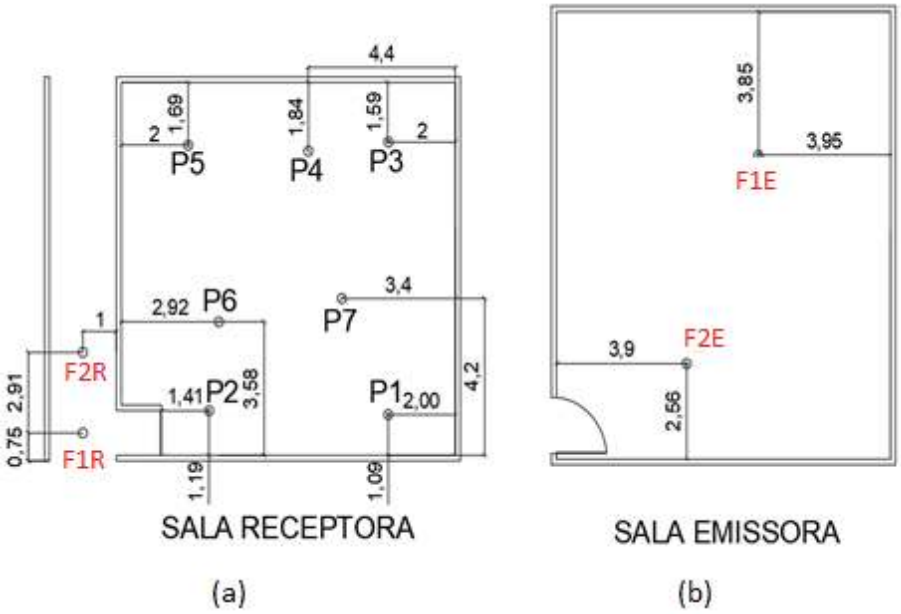

Figura 5 – Distribuição dos pontos de medição – Sala Receptora (a) e Sala Emissora (b) (medidas em metros).

3.4. Medição de isolamento acústico

A norma NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2021) determina os procedimentos para ensaios de isolamento a ruído aéreo entre dois ambientes de uma edificação por meio da obtenção de medidas de níveis de pressão sonora gerados por uma fonte omnidirecional, para salas com volume entre 10 m³ e 250 m³, nas bandas de frequências entre 50 Hz e 5000 Hz. A norma também determina o número de posições de microfone na sala de recepção, e o número de posições de fonte na sala de emissão. Este parâmetro é determinado de acordo com o volume da sala de recepção.

Um ruído rosa foi gerado pelo analisador de som durante os ensaios, realizando as medições dos coeficientes de isolamento acústico dos sistemas de vedações verticais e horizontais constituintes da sala em estudo. Sendo esse ruído amplificado a partir de um amplificador de potência e depois pressurizado no ambiente avaliado usando uma fonte dodecaédrica omnidirecional. Dois microfones, um fora da sala de estudos e outro na sala, captaram o som simultaneamente.

Para verificação do desempenho de sistemas de vedações horizontais o ruído rosa foi emitido pela fonte na sala emissora em apenas uma posição e no ambiente receptor foram posicionadas seis posições de microfone, conforme descrito pela norma NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2021). Assim, as correlações dos sistemas de vedações foram aferidas. O número de pontos avaliados foi determinado de acordo com as dimensões dos espaços, observando uma distância mínima de 1 m entre a parede e o microfone e de 1,5 m entre o microfone e o chão. Após os ensaios, os dados foram processados, conforme descrito na NBR ISO 717 - 1 (ABNT, 2021), para se obter uma classificação de valor único para caracterizar o desempenho acústico, o índice ponderado ($D'_{nt,w}$) para cada um dos sistemas construtivos.

Para a análise dos resultados deste artigo na identificação quanto aos padrões ideais de condições acústicas para a aprendizagem em salas de estudo (salas de aula), foram utilizados além dos critérios de

desempenho acústico previstos em normas brasileiras, requisitos de design e diretrizes para escolas indicados na norma americana ASA/ANSI S12.60-1 (ANSI/ASA, 2010). A Tabela 3 ilustra os requisitos mínimos para diferentes situações em espaços de aprendizado presentes na norma americana.

Tabela 3 – Valores regulamentadores de desempenho acústico de referência internacional americana ASA/ANSI S12.60-1 – Escolas Permanentes (adaptado de ASA/ANSI S12.60-2010 / Part 1).

Indicador	**Valores de referência ANSI S12.60-1 (dB)**
Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre salas de aula	50
Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre salas de aula e corredores	45
Tempo máximo de reverberação para espaço de aprendizagem central com volume fechado ≤ 283 m³	0,6 s

4. RESULTADOS

A Tabela 4 indica as condições de temperatura, umidade e pressão atmosférica no interior da sala receptora, durante a realização dos ensaios *in situ*, realizados no dia 07/01/2023.

Tabela 4 – Valores de temperatura, umidade e pressão atmosférica.

Sala receptora	**Temperatura ambiente (°C)**	**Umidade relativa (%)**	**Pressão atmosférica (hPa)**
Sala de estudos do LASAC	28	46	1011,2

A fim de detectar possíveis sons provenientes do entorno e que pudessem afetar os resultados das medições que seriam realizadas em sequência, foi medido o ruído residual da sala vazia. Foi definido, de acordo com a NBR 10152 (2017), o nível de pressão sonora contínuo equivalente, ponderado em A (L_{Aeq}), para o tempo de medição de 30 s, no valor de 36,34 dB. Além disso, obteve-se os valores de nível de pressão sonora por frequência, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ruído residual dentro da sala de estudos, em dB.

L_{Zeq} **100 Hz**	L_{Zeq} **125 Hz**	L_{Zeq} **160 Hz**	L_{Zeq} **200 Hz**	L_{Zeq} **250 Hz**	L_{Zeq} **315 Hz**	L_{Zeq} **400 Hz**	L_{Zeq} **500 Hz**
30,09	36,37	24,84	23,81	26,85	26,09	23,19	21,97
L_{Zeq} **630 Hz**	L_{Zeq} **800 Hz**	L_{Zeq} **1 kHz**	L_{Zeq} **1.25 kHz**	L_{Zeq} **1.6 kHz**	L_{Zeq} **2 kHz**	L_{Zeq} **2.5 kHz**	L_{Zeq} **3.15 kHz**
23,84	23,62	20,14	30,05	30,13	20,86	19,26	18,83

O nível de ruído residual não afetou significativamente as outras medições realizadas, e estava dentro dos limites estabelecidos pela NBR 10152 (ABNT, 2017) para salas de aula (40 dB). Porém, em condições normais de uso durante o período letivo poderia atingir valores mais altos.

O TR é considerado um importante parâmetro objetivo de salas no conforto acústico em ambientes de estudo e aulas, principalmente para o entendimento do discurso humano sendo, também, é um parâmetro necessário para o cálculo do isolamento aéreo dos elementos construtivos. A medição ocorreu em uma sala mobiliada e de volume igual a 158,5 m³ e foram obtidos valores por frequência (de 100 Hz a 3,15 kHz). Além disso, é apresentada a diferença de nível por frequência para cada elemento ensaiado, conforme mostra a Tabela 6. Nesse caso, quanto maior for o valor da diferença de nível, melhor o isolamento ao ruído aéreo.

As normas brasileiras não apresentam definição de limite ou valor ótimo para TR em salas de aula, para tanto foi considerada a norma americana ANSI S12.60 (ASA/ANSI, 2010), que define como 0.6 s o TR limite para espaços de aprendizagem de volume menor que 282 m³. Portanto, o desempenho da sala está abaixo do desejável nos parâmetros americanos.

Um bom desempenho de isolamento é altamente necessário em ambientes acadêmicos, pois existem inúmeras fontes sonoras externas que podem afetar o conforto dentro das salas, como o alto fluxo de pessoas, ruído em ambientes adjacentes e até mesmo sons proveniente do tráfego de veículos. Assim, foi medido o isolamento a ruído aéreo do conjunto parede e porta adjacentes a um corredor de circulação de pessoas, e da laje que separa as duas salas entre dois pavimentos. A partir dos valores medidos de forma experimental, pôde ser calculada a diferença padronizada de nível e executada a ponderação a partir da curva de referência existente na NBR ISO 717-1. Os resultados ponderados podem ser visualizados nas Figuras 6 e 7.

Tabela 6 – Tempo de reverberação e diferença padronizada de nível.

Frequência (Hz)	**Tempo de reverberação (s)**	**D'_{nT} – SVVI (dB)**	**D'_{nT} – SVHI (dB)**
100	2,16	18	33
125	2,08	21	36
160	2,35	24	39
200	2,06	27	42
250	1,78	30	45
315	1,88	33	48
400	1,69	36	51
500	1,58	37	52
630	1,62	38	53
800	1,71	39	54
1000	1,67	40	55
1250	1,69	41	56
1600	1,71	41	56
2000	1,67	41	56
2500	1,62	41	56
3150	1,50	41	56

O primeiro conjunto construtivo (Figura 5) medido foi o sistema vertical que continha a porta e a parede, que juntas obtiveram um valor inferior de $D'_{nT,w}$. O valor equivalente, na frequência de 500 Hz, foi de 37 dB, conforme apresentado pela Figura 6. Não existem valores de referência nas normas brasileiras para ambientes de estudo, porém a ANSI S12.60-1 (ANSI, 2010) define como o valor mínimo de isolamento entre salas de aula e corredores como 45 dB (Tabela 3). Portanto, o isolamento da esquadria se encontra consideravelmente abaixo do determinado por esta norma. De qualquer forma, já era esperado que o menor desempenho acústico encontrado, estima-se que a porta, por conta das suas características físicas e de haver um vão significativo entre ela e o chão, sem elementos de vedação, pode ter contribuído na perda do isolamento da sala.

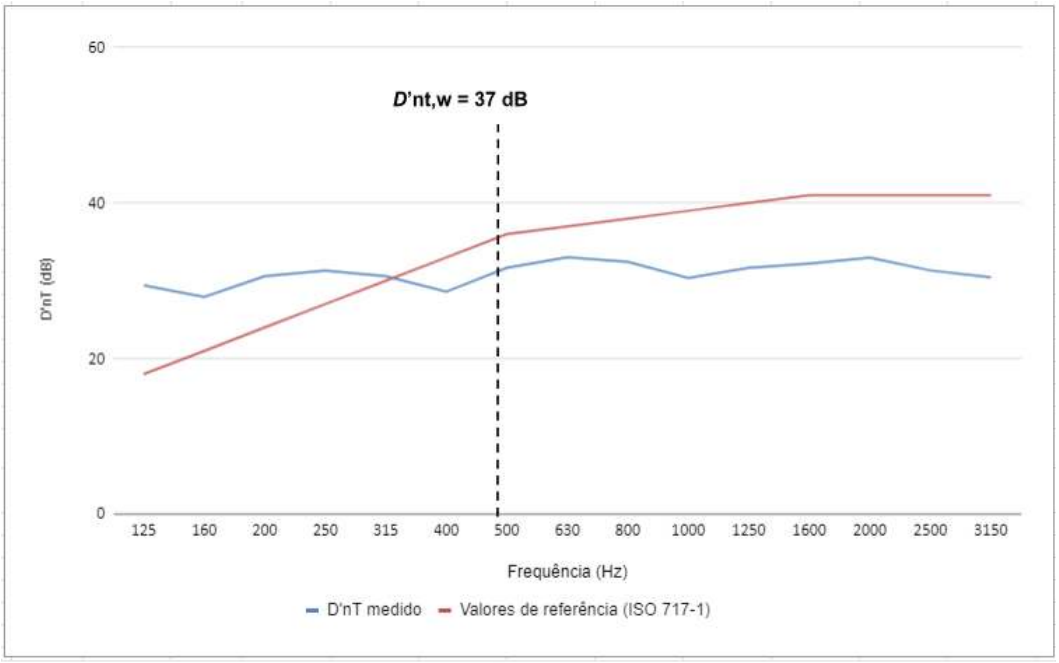

Figura 6 – Diferença padronizada de nível medida e ponderada (sistema de vedação vertical interna).

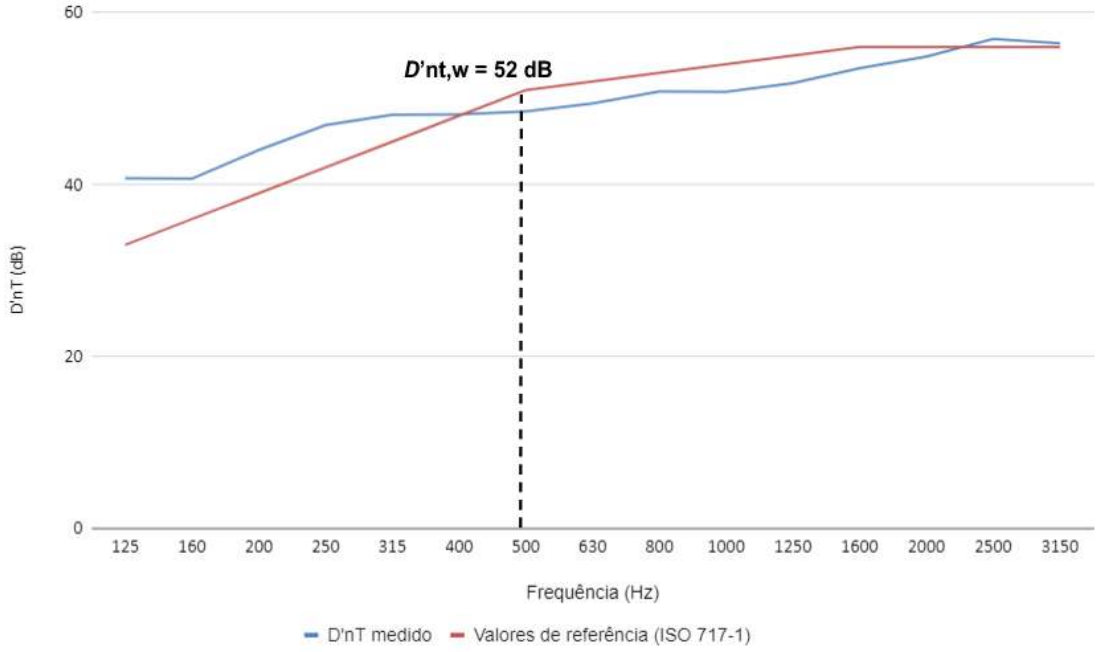

Figura 7 – Diferença padronizada de nível medida e ponderada (sistema de vedação horizontal interno).

O desempenho mais representativo de $D'_{nt,w}$ foi o da laje, que apresentou 52 dB de isolamento (Figura 7). Na norma ANSI S12.60-1 (ANSI, 2010), é definido como valor mínimo de isolamento entre salas de aula o valor de 50 dB, portanto pode-se considerar que o isolamento gerado por este elemento como satisfatório para isolamento aéreo.

5. CONCLUSÕES

A sala avaliada é um local para o desenvolvimento de atividades de aprendizado, porém não demonstrou bom comportamento sonoro para o conforto acústico em suas características construtivas. Por estar posicionada ao lado de um corredor, era esperado um desempenho melhor no isolamento do sistema de vedação vertical interno, que obteve o menor desempenho acústico dentre os elementos analisados. Por outro

lado, o desempenho de isolamento frente ao ruído aéreo do sistema de vedação horizontal interno foi satisfatório, podendo ser resultado das características físicas da peça, do tipo nervurada.

Quanto ao tempo de reverberação, mesmo com a presença de mobília, o desempenho foi acima dos valores máximos recomendados. Esta característica prejudica o conforto, podendo prejudicar o entendimento do discurso humano em atividades como aulas e reuniões.

Este estudo apresentou problemas no desempenho acústico de uma sala acadêmica, e demonstra a necessidade de correções, como melhorar a vedação e a capacidade de isolamento, além da utilização de materiais absorventes para reduzir o tempo de reverberação. Considerando que há outras salas com características construtivas similares ao objeto de estudo no mesmo edifício, estas correções podem ser adaptadas em outras salas, além de serem consideradas em projetos futuros. Como trabalhos futuros, serão realizadas propostas de correção do tempo de reverberação a fim de melhorar o conforto dos usuários do laboratório de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16283-3:** Acústica – Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações – Parte 3: Isolamento de fachada a ruído aéreo. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____ **NBR ISO 717-1**: Acústica – Classificação de Isolamento Acústico em Edificações e Elementos de Edificações – Parte 1: Isolamento a Ruído Aéreo. Rio de Janeiro, 2021.

_____ **NBR 10152:** Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.

_____ **NBR ISO 3382-2:** Acústica – Medição de Parâmetros de Acústica de Salas – Parte 2: Tempo de Reverberação em Salas Comuns. Rio de Janeiro, 2017.

ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **ANSI S12.60:** Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, And Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools. Melville, 2010 (R2020).

ASTOLFI A, PELLEREY F. **Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms**. J. Acoust. Soc. Am. 2008; 123(1):163–73.

EVANS, G. W. **Chronic noise exposure and reading deficits. the mediating effects of language acquisition**. Sage Publications, Inc., 2015. doi: 10.1177/0013916597295003.

LUBMAN D, SUTHERLAND LC. **Good classroom acoustics is a good investment**. In: International congress on acoustics ICA, Rome, Italy; 2001. Proceedings.

KEMERICH, B. P.; Melo, V. S. G.; Balbé, M. D.; Melo, D. S.; Vattathara, S. D.; Mahl, A. L. **Avaliação das condições acústicas em salas de aula de escolas públicas em Santa Maria/RS.** In: FIA 2020/22. Anais do 12º Encontro Iberoamericano de Acústica. Florianópolis: FIA 2022.

MAK, C. M.; WANG, Z. R**ecent Advances in Building Acoustics: an overview of prediction methods and their applications**. Building and Environment, v. 91, p. 118–126, 2015.

MATEUS, D. M. R.; PEREIRA, A. S. C. I**nfluência de Pequenos Erros de Execução em Obra no Desempenho Acústico de edifícios: exemplos típicos**. In: TECNIACUSTICA, Cáceres, 2011.

MELO, V. S. G.; TENENBAUM, R. A.; MUSAFIR, R. E. **Avaliação de inteligibilidade em salas de aula do ensino fundamental a partir das respostas impulsivas biauriculares obtidas com cabeça artificial infantil**. ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, v.44, p.51 – 56, 2012.

RONSSE, L. M. **Investigations of the relationships between unoccupied classroom acoustical conditions and elementary student achievement**. Thesis, University of Nebraska, Lincoln, 2011.

SCHIAVONI, S. et al. **Insulation Materials for the Building Sector: a review and comparative analysis**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 62, p. 988-1.011, 2016.

SEEP B, Glosemeyer R, Hulce E, Linn M, Aytar P. **Acústica de salas de aula.** Revista de Acústica e Vibrações, n 29; 2002.

THOMAS, D.; DING, G. **Comparing the Performance of Brick and Timber in Residential Buildings: the case of Australia**. Energy and Buildings, v. 159, p. 136-147, 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for community Noise**. Department of the Protection of the Human Environment, Occupational and Environmental Health Organization, Geneva, 1999.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Laboratório de Sustentabilidade no Ambiente Construído (LASAC) pelo ambiente cedido para a realização dos ensaios. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.