

## Acoustic performance of double panels in closure systems with point connections

Paulo Henrique Silva Magalhães<sup>1</sup>, Rovadavia Aline de Jesus Ribas<sup>2</sup>, Daniel José Rocha Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto - MG, 35400-000  
paulomagalhaes.cec@gmail.com*

<sup>2</sup>*Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto - MG, 35400-000  
rovadavia@ufop.edu.br*

<sup>3</sup>*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto - MG, 35400-000  
drocha044@gmail.com*

**Abstract.** The transmission loss (TL) that occurs through closure system panels used in construction buildings is a parameter used to evaluate its acoustic performance. TL depends on the frequency of the incident sound, the type of fixation of the panels to the structure as well as other factors and its curve can be obtained through tests or graphic methods based on empirical formulation, which can be converted into computational models. In this work, TL is evaluated in compositions of double closing systems and the highest TL correlated with the Line-Line (LL) connection is verified, which is when the panel is directly fixed to the metal profile of the closing system on both sides. Double panels composed of expanded polystyrene (EPS), plasterboard (GEA) and cementitious board (PLC), with glass wool (LVI) in the air cavity between the panels, are analyzed. Simulations are performed in a computational model, based on a graphic method, developed to estimate TL in single and double panels. The frequencies of 500, 1000 and 2000 Hz are considered. It is verified that the EPS panel provides higher TL values of 68dB, 74 dB and 80 dB for the respective frequencies. The GEA panel presented values of TL of 47 dB, 52 dB and 43 dB, respectively. Furthermore, the PLC panels presented TLs of 57 dB, 63 dB and 69 dB. Therefore, the EPS double panel is the one that provides the best acoustic performance in terms of sound transmission losses at the frequencies considered. The computational model could help in the determination of this parameter in double panels, interspersed with glass wool and Line-Line connection, allowing a quick analysis of the acoustic performance of the panels.

**Keywords:** Closure systems, acoustic performance, double panels.

## Desempenho acústico de painéis duplos com ligações linha-linha em sistemas de fechamento utilizados em edificações

Paulo Henrique Silva Magalhães<sup>1</sup>, Rovadavia Aline de Jesus Ribas<sup>2</sup>, Daniel José Rocha Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto - MG, 35400-000  
paulomagalhaes.cec@gmail.com

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto - MG, 35400-000  
roviadavia@ufop.edu.br

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto - MG, 35400-000  
drocha044@gmail.com

**Resumo.** A Perda na Transmissão Sonora (PT) que ocorre através de painéis de sistemas de fechamento utilizado em edificações é um parâmetro que permite avaliar seu desempenho acústico. A PT depende da frequência do som incidente, do tipo de fixação dos painéis à estrutura bem como de outros fatores e sua curva pode ser obtida por meio de ensaios ou de métodos gráficos baseados em formulação empírica, que podem ser convertidos em modelos computacionais. Neste trabalho, avalia-se a PT em composições de sistemas de fechamento duplos e verifica-se a maior PT correlacionada à ligação Linha-Linha (LL), que é quando o painel é diretamente fixado no perfil metálico do sistema de fechamento. São analisados painéis duplos compostos por poliestireno expandido (EPS), gesso acartonado (GEA) e placa cimentícia (PLC), com lã de vidro (LVI) na cavidade de ar entre os painéis. São realizadas simulações em um modelo computacional, baseado em um método gráfico, desenvolvido para estimar a PT em painéis simples e duplos. Consideram-se as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz. Verifica-se que o painel EPS proporciona maiores valores de PT com 68 dB, 74 dB e 80 dB, para as respectivas frequências. O painel GEA com PT de 47 dB, 52 dB e 43 dB. E o painel PLC, com PT de 57 dB, 63 dB e 69 dB. Portanto, o painel duplo EPS é o que proporciona o melhor desempenho acústico em termos de perda na transmissão sonora nas frequências consideradas. O modelo computacional pôde auxiliar na determinação desse parâmetro em painéis duplos, intermeados com lã de vidro e ligação Linha-Linha, permitindo uma rápida análise do desempenho acústico dos painéis.

**Palavras-chave:** Desempenho acústico, sistema de fechamento, painéis duplos.

## 1 Introdução

Ruídos internos ou externos podem se tornar incômodos e causar desconforto. Nos centros das cidades e em horários de alto movimento, as avenidas com grande circulação possuem ruídos oriundos de carros (barulho do motor, frenagem, arrancada, buzinas e até colisões), de obras em construções, do apito de guardas de trânsito e demais. Em indústrias, são oriundos do processo produtivo e podem causar transtornos irreversíveis aos trabalhadores, como a perda parcial ou completa da audição.

Para serem quantificadas e avaliadas as consequências do ruído na vida da população, no Brasil, têm-se as normas NBR 15575 [1] para critérios de desempenho em edificações, NBR 10151 [2] para métodos de medições de ruídos e NBR 10152 [3] para fixação de níveis de ruídos, apontando regras para o uso de equipamentos de proteção individual, que aumentam a incolumidade das pessoas e melhoram o isolamento acústico nas edificações.

Em edificações, o som se propaga por meio do ar ou por meio de suas estruturas. Quando ele atinge algum material, como madeiras (pisos, portas, forro, janelas), alvenaria (laje e paredes), vidros (portas, janelas, divisórias) e demais, ocorre reflexão e absorção sonora. No caso de uma parede divisória, a parcela do som que é absorvida pelo material tem uma parte que se dissipa em seu interior e outra parcela que é transmitida para o outro lado [4], [5], [8]. Na Figura 1 exemplifica-se o trajeto da transmissão sonora pelas paredes, porta e janela na representação do corte de dois ambientes. Observam-se a fonte sonora (1), parcelas de som refletidas (2), parcelas absorvidas e dissipadas dentro dos elementos (3) e parcelas que são transmitidas para o outro meio (4).

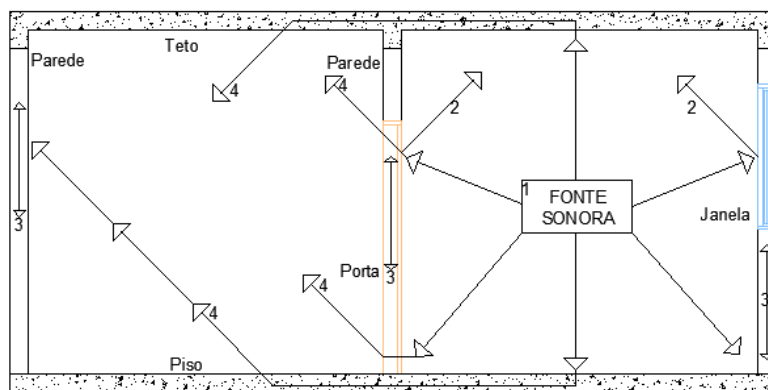


Figura 1. Trajeto da transmissão sonora (Adaptado de [6])

A intensidade de som absorvido ou transmitido depende das propriedades de reflexão, absorção e transmissão do material, além das características do espaço onde está inserida a fonte sonora. Uma forma de se analisar o som a partir da interação entre as ondas sonoras e os materiais da edificação é estimando-se perda na transmissão sonora, que indica o quanto é minimizado o som que chega ao outro lado de uma parede, podendo ser aplicada para analisar seu desempenho acústico (PT) [7]. Portanto, a escolha de material dos sistemas de fechamento de uma edificação pode ser baseada na avaliação da PT.

A frequência do som incidente, o tipo de material do painel, a forma de utilização e fixação na estrutura que o sustenta afetam a PT. É possível obter a curva da PT em função da frequência por meio de ensaios ou de métodos gráficos baseados em formulação empírica, que podem ser convertidos em modelos computacionais.

Quanto à fixação dos painéis à estrutura, denomina-se fixação em linha quando os painéis são fixados diretamente nos perfis metálicos que compõem o sistema de fechamento, e tem-se a ligação pontual quando os painéis são fixados aos perfis metálicos por meio de barras resilientes nos dois lados. Tratando-se de painéis duplos, esses tipos de fixações geram as ligações Linha-Linha (L.L.), quando os painéis são fixados diretamente no perfil metálico nos dois lados; Ponto-Ponto (P.P.), quando os painéis são fixados no perfil metálico por meio de barras resilientes nos dois lados; e Linha-Ponto (L.P), quando os painéis são fixados diretamente no perfil metálico de um lado e do outro lado usam-se barras resilientes [8]. Os materiais de

fechamento devem ser mecânica e acusticamente isolados, com a inserção de componente absorvedor sonoro na cavidade de ar entre os painéis, como, por exemplo, lã de vidro ou poliestireno [8]. Na Figura 2, representa-se um painel duplo de gesso acartonado, com variação (aumento) da distância entre suas placas e colocação de material absorvedor entre os painéis, havendo, conseqüentemente, o aumento da PT.

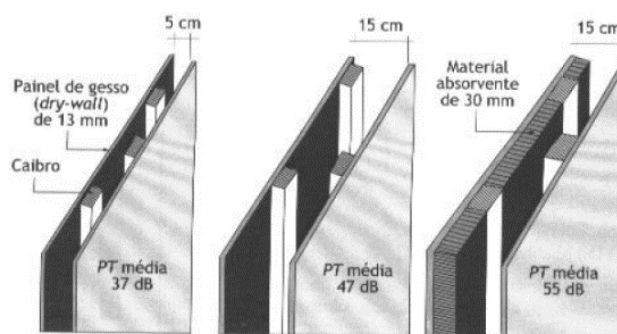


Figura 2. Representação esquemática do painel duplo com distâncias variando e material absorvedor [4]

Como opções mais avançadas para análise da PT, Gomes [9] determinou experimentalmente propriedades acústicas da espuma de poliuretano, espuma de polietileno, cortiça e fibra de coco. Foram realizados 64 ensaios experimentais em tubo de impedância para medição das propriedades acústicas. A espuma de polietileno apresentou coeficientes globais baixos com picos aleatórios de maior absorção sonora. A fibra de coco demonstrou resultados relevantes em dupla camada e a cortiça o pior desempenho como material absorvedor.

Roozen *et al.* [10] analisaram experimentalmente a influência da fixação de painel através de medições do índice de redução de som padronizado, utilizando um vibrômetro a *laser*. O número de parafusos e a força fixação foram variados em sete configurações de painéis de madeira leve. A diminuição da força de fixação e do número de parafusos aumentaram significativamente a taxa de redução do som.

Zenerato *et al.* [11] analisaram as diferenças no isolamento de sons aéreos baseando-se na norma NBR 15575 [1]. Eles avaliaram, em função da frequência, dois modelos de placas (placa plana magnesiana e placa plana de fibrocimento). Mostraram que placas planas cimentícias a base de magnésio obtiveram um ganho de 4 dB no isolamento quando comparadas às placas convencionais de fibrocimento.

## 2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar a perda na transmissão sonora (PT) de sistemas de fechamento constituídos por painéis duplos, compostos por: poliestireno expandido com argamassa projetada (EPS), gesso acartonado (GEA) e placa cimentícia (PLC), com lã de vidro (LVI) e ar entre os painéis.

## 3 Metodologia

A estimativa da PT em função da frequência é obtida por meio de simulação computacional aplicando-se um modelo implementado por Fortes [12]. Esse modelo é baseado em um método gráfico para determinação da PT, conforme estudos de Sharp [5] e cuja formulação é apresentada por Bies e Hansen [7] e Bistafa [4], podendo ser aplicado em painéis duplos, contendo ou não material absorvedor de som entre eles, e que considera o tipo de ligação entre os painéis.

Na Figura 3, mostra-se uma curva característica da PT em função da frequência (linha contínua) e o método gráfico consiste na determinação das coordenadas dos pontos A, B e C, e da abscissa do ponto D, aplicando-se a formulação apresentada na Tabela 1, e na estimativa das coordenadas do ponto A' e da ordenada do ponto D. Nessa formulação o índice 1 é associado ao painel de menor frequência crítica ( $f_c$ ).

O modelo computacional, denominado de PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA, foi elaborado em linguagem Java, utilizando a plataforma NetBeans e o banco de dados SQLite. A linguagem Java baseia-se na programação orientada a objetos (OOP), o que facilita o desenvolvimento do modelo e a sua utilização em vários tipos de sistemas operacionais. O *software* possui uma interface gráfica intuitiva para melhor

interação com o usuário e permite uma rápida avaliação do desempenho acústico de painéis de fechamento utilizados na construção civil. Fortes [12] desenvolveu ainda as equações para determinar as coordenadas do ponto A', ou  $f_{A'}$  e  $PT_{A'}$ , bem como a ordenada do ponto D, ou  $PT_D$  (Tabela 1).

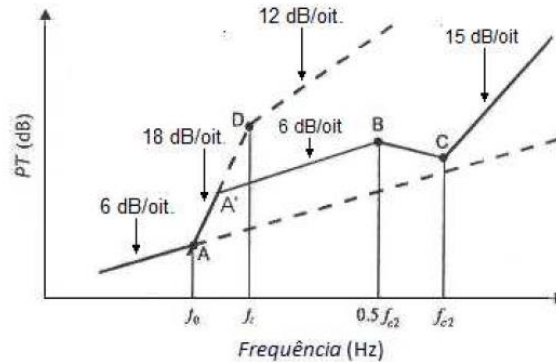


Figura 3. Curva para estimativa da  $PT$  em paredes duplas

Tabela 1: Perda na transmissão sonora segundo Sharp [5]

Ponto e coordenadas	Equações
A ( $f_0$ ; $PT_A$ )	$f_0 = 80 \left( \frac{M_1 + M_2}{d M_1 M_2} \right)^{\frac{1}{2}}$ (1)
	$PT_A = 20 \log(M_1 M_2) + 20 \log f_0 - 48$ (2)
B ( $0,5 f_{c2}$ ; $PT_B$ )	a) Quando não há material absorvedor de som na cavidade de ar entre os painéis, $PT_B$ é igual a $PT_{B1}$ dada por: $PT_{B1} = PT_A + 20 \log \left( \frac{f_{c1}}{f_0} \right) - 6$ (3)
	$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{M}{B_s}}$ ; $B_s = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ (4)
	b) Quando há material absorvedor de som na cavidade, $PT_B$ é dada pelo maior valor entre $PT_{B1}$ e $PT_{B2}$ , acrescido de 4, sendo $PT_{B2}$ dada por:
	i) fixação linha-linha: $PT_{B2} = 20 \log M_1 + 10 \log b_c + 30 \log f_{c2} + 20 \log \left[ 1 + \frac{M_2 f_{c1}^{1/2}}{M_1 f_{c2}^{1/2}} \right] - 78$ (5)
	ii) fixação linha-pontual: $PT_{B2} = 20 \log M_1 e + 40 \log f_{c2} - 99$ (6)
	iii) fixação pontual-pontual: $PT_{B2} = 20 \log M_1 e + 40 \log f_{c2} - 97$ ou $PT_{B2} = 20 \log M_1 e + 40 \log f_{c2} + 20 \log \left[ 1 + \frac{M_2 f_{c1}}{M_1 f_{c2}} \right] - 105$ (8)
C ( $f_{c2}$ ; $PT_C$ )	a) Para $f_{c2} \neq f_{c1}$ : $PT_C = PT_B + 10 \log \eta_2 + 6$ (9)
	b) Para $f_{c2} = f_{c1}$ : $PT_C = PT_B + 10 \log \eta_2 + 5 \log \eta_1 + 6$ (10)
D ( $f_l$ ; $PT_D$ )	$f_l = \frac{55}{d}$ (11)
	$PT_D$ é determinado graficamente ou $PT_D = 59,794 * \log \left( \frac{f_l}{f_0} \right) + PT_A$ (12)
A' ( $f_{A'}$ ; $PT_{A'}$ )	$f_{A'}$ e $PT_{A'}$ são determinados graficamente ou $f_{A'} = 10 \left( \frac{59,794 * \log(f_0) - 19,931 * \log \left( \frac{f_{c2}}{2} \right) - PT_A + PT_B}{39,863} \right)$ (13)
	$PT_{A'} = 59,794 * \log \left( \frac{f_{A'}}{f_0} \right) + PT_A$ (14)

Sendo:  $f_0$  = menor frequência de ressonância do conjunto massa-ar-massa (Hz);  $M$  = massa específica superficial do material do painel ( $\text{kg/m}^2$ ), obtida pelo produto da massa específica  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) com a espessura do painel  $h$  (m);  $d$  = espaçamento entre painéis ou largura da cavidade (m);  $f_c$  = menor frequência de coincidência ou frequência crítica do painel (Hz);  $c$  = velocidade da onda sonora no ar (m/s);  $B_S$  = rigidez à flexão do painel (Nm);  $E$  = módulo de elasticidade ( $\text{N/m}^2$ );  $\nu$  = coeficiente de Poisson (adimensional);  $b_c$  = espaçamento entre caibros na fixação em linha;  $e$  = espaçamento entre parafusos na fixação pontual (m);  $\eta$  = fator de amortecimento interno do material do painel (adimensional);  $f_l$  = frequência limite associada ao ponto D (Hz).

Inicia-se a simulação informando os valores de módulo de elasticidade ( $E$ ), coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), massa específica ( $\rho$ ), fator de amortecimento interno ( $\eta$ ), comprimento ( $a$ ), largura ( $b$ ), espessura ( $h$ ) do material e distância entre painéis ( $d$ ). Em seguida, dá-se continuidade para determinar a PT em painéis pelo método gráfico, obtendo-se como resultado os gráficos ou um relatório onde se encontram os valores da PT em função da frequência [12]. Na Figura 4, mostra-se a interface do modelo computacional com o usuário, onde podem ser inseridos o nome da análise, tipo de painel, método da análise, tipo de ligação, bem como os materiais dos painéis, sua espessura, largura e comprimento.

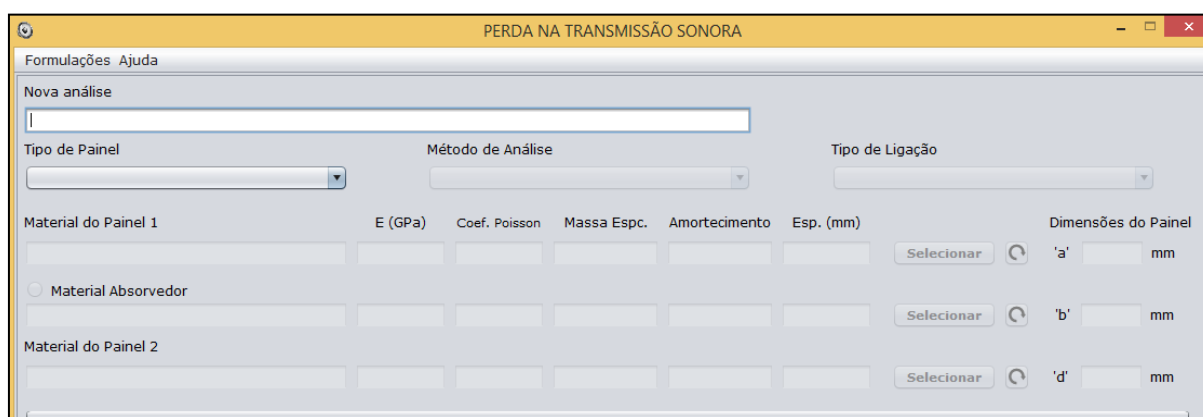


Figura 4. Interface do modelo computacional (Dados da análise)

Para a avaliação do desempenho acústico dos painéis propostos, comparam-se os valores obtidos de PT com os valores mínimos recomendados pela norma NBR 15575 [1] e especificados na Tabela 2, para ensaio em laboratório. Na Tabela 3, apresentam-se as propriedades termofísicas dos materiais dos sistemas de fechamento estudados. As características das composições e respectivas dimensões dos painéis duplos são descritas na Tabela 4, e cada material do painel é referenciado por sua sigla seguido de sua espessura em mm entre parênteses.

Tabela 2. Valores mínimos recomendados de PT dos componentes construtivos para ensaio de laboratório [1]

Elemento	PT (dB)
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), onde não há dormitório; parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual (corredores e escadas); e conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.	45-49
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), onde há pelo menos um dormitório; e parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas.	50-54
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadas.	35-39

Tabela 3. Propriedades termofísicas dos materiais dos sistemas de fechamentos

Material	Espessura (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de amortecimento
EPS	50,00	0,0025	0,08	960	0,005
GEA	20,00	2,0000	0,20	750	0,006
PLC	12,5	0,1200	0,20	1330	0,005

Tabela 4. Composição e dimensões dos painéis

Material	Composição e espessura (mm)
EPS	EPS(50)-LVI(50)-AR(25)-EPS(50)
GEA	GEA(20)-LVI(50)-AR(25)-GEA(20)
PLC	PLC(12,5)-LVI(50)-AR(25)-PLC(12,5)

## 4 Resultados

Neste estudo, considera-se que o contato do painel com a estrutura acontece por meio da ligação Linha-Linha (L.L.) e mostram-se, na Tabela 5, os resultados comparativos da perda na transmissão sonora em função das frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, para cada painel duplo. Esse intervalo de frequências compreende importantes frequências da fala e pode ser indicado para análise de desempenho acústico em edificações residenciais [4].

Tabela 5. PT nos painéis duplos para as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz (ligação L.L.)

Frequência (Hz)	PT (dB)		
	EPS	GEA	PLC
500	68,0	47,0	58,5
1000	74,0	52,0	63,5
2000	80,0	43,5	69,0

Para as simulações realizadas, avaliando os painéis duplos, com ligação L.L., o painel que proporciona os maiores valores de PT é o EPS. Em todas as análises, a PT dos painéis duplos supera o limite mínimo de 35 dB. Assim, todos esses painéis, da forma como estão compostos, podem ser utilizados em paredes cegas de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadas (Tabela 2), para as frequências consideradas.

Os painéis compostos por EPS e PLC apresentam os maiores valores de perda na transmissão sonora para as três frequências, podendo ser aplicados em quaisquer das situações explicitadas na Tabela 2, incluindo as mais exigentes, que são os casos de parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), em que há pelo menos um dormitório, e parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas.

O painel composto por GEA deve ser utilizado nessa situação na frequência de 1000 Hz, podendo, também, ser utilizado, na frequência de 500 Hz, em paredes entre unidades habitacionais autônomas, sem dormitório, parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, e parede de unidades distintas separadas pelo hall.

## 5 Conclusões

A perda na transmissão sonora pode ser aplicada para se avaliar o desempenho acústico de painéis duplos com ou sem material absorvedor de som na cavidade entre os painéis em ligações do tipo Linha-Linha, Linha-Ponto e Ponto-Ponto. O modelo computacional apresentado neste trabalho pôde auxiliar na determinação desse parâmetro em painéis duplos, intermeados com lã de vidro e ligação Linha-Linha.

Para as simulações realizadas e avaliadas, o painel constituído por poliestireno expandido (EPS) apresentou os maiores valores de perda na transmissão sonora, proporcionando, portanto, o melhor desempenho acústico, seguido pelo painel constituído por PLC.

Ressalta-se que a análise de desempenho acústico não deve ser o único critério para a escolha do sistema de fechamento de uma edificação, devendo-se avaliar também seu desempenho térmico. Outros itens ainda devem ser considerados, tais como estanqueidade, segurança contra incêndio, durabilidade e manutenibilidade, dentre outros.

**Agradecimentos.** Os autores agradecem à CAPES e à Universidade Federal de Ouro Preto.

**Declaração de autoria.** Os autores confirmam que são os únicos responsáveis pela autoria deste trabalho, e que todo o material que foi incluído neste documento é propriedade (e autoria) dos autores, ou tem a permissão dos proprietários para ser incluído aqui.

## Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, *NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, *NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*, 1º ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, *NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- [4] S. R. BISTAFA, *Acústica Aplicada ao Controle de Ruído.*, 2º ed. São Paulo: Blücher, 2011.
- [5] B. H. Sharp, “A study of techniques to increase the sound installation of building elements”, *Wylie Lab. Rep. WR 73-S, Prep. Dep. Hous. Urban Dev.*, 1973.
- [6] O. A. B. HASSAN, *Building Acoustics and Vibrations: Theory and Practice*. Singapore: World Scientific, 2009.
- [7] D. A. BIES e C. H. HANSEN, *Engineering Noise Control: Theory and Practice.*, 3º ed. London and New York: Spon Press, 2003.
- [8] U. C. SALES, *Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação*. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2001.
- [9] C. V. S. GOMES, *Comportamento acústico de materiais absorvedores em multicamadas*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.
- [10] N. B. Roozen, H. Muellner, L. Labelle, M. Rychtáriková, e C. Glorieux, “Influence of panel fastening on the acoustic performance of light-weight building elements: Study by sound transmission and laser scanning vibrometry”, *J. Sound Vib.*, vol. 346, p. 100–116, jun. 2015, doi: 10.1016/j.jsv.2015.02.027.
- [11] T. S. Zenerato, J. F. A. Martins, S. R. Bertoli, C. E. M. Gomes, e P. S. P. Fontanini, “Análise Acústica de Fachadas de Light Steel Frame e Placas Cimentícias”, *Matéria (Rio Janeiro)*, vol. 24, nº 2, 2019, doi: 10.1590/s1517-707620190002.0685.
- [12] R. C. FORTES, *Modelo computacional com interface gráfica para análise de perda na transmissão sonora em painéis de fechamento simples e duplos*. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia das Construções. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.