XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Desempenho acústico de sistemas de piso com laje em *Cross Laminated Timber* - CLT

Acoustic performance of floor systems with cross laminated timber slab - CLT

Felipe Hideyoshi Icimoto
Urbem | São Paulo | Brasil | felipe.icimoto@urbembr.com
Ana Carolina Belizario
Urbem | São Paulo | Brasil | ana.belizario@urbembr.com
Maurizio Vairo
Urbem | São Paulo | Brasil | m.vairobr@gmail.com
Maria Fernanda de Oliveira
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | mariaon@unisinos.br
Fernanda Catarina Rossatto
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | frossatto@unisinos.br
Fabrício Gonçalves da Cunha
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | fgcunha@unisinos.br

Resumo

O uso de sistemas construtivos com painéis CLT requer a caracterização de seu desempenho acústico para o uso adequado em edificações. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o desempenho acústico de quatro composições de sistemas de pisos com painéis CLT quando aos sons aéreos e de impacto. Os ensaios foram realizados em laboratório, conforme o conjunto de normas ISO 10140. Os resultados indicam que a adição de revestimentos qualifica significativamente a capacidade de isolamento acústico desses sistemas de piso, passando de Rw 36 dB e $L_{nT,w}$ 86, para Rw 45 e $L_{nT,w}$ 51.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Laje CLT. Sistemas de pisos. Ensaios em laboratório.

Abstract

The use of construction systems with CLT panels requires the characterization of their acoustic performance for proper use in buildings. The objective of this work was to characterize the acoustic performance of four compositions of flooring systems with CLT panels regarding air and impact sounds. The tests were carried out in the laboratory, according to the ISO 10140 set of standards. The results indicate that the addition of coatings significantly improves the acoustic insulation capacity of these flooring systems, going from Rw 36 dB and $L_{nT,w}$ 86, to Rw 45 and $L_{nT,w}$ 51 dB.

Keywords: Acoustic performance. CLT slab. Flooring systems. Laboratory tests.

Como citar:
ICINOMOTO, F. H.; BELIZARIO, A.; VAIRO, M.; OLIVEIRA, M. F.; ROSSATTO, F. C.; CUNHA, F. Desempenho acústico de sistemas de piso com laje em Cross Laminated Timber - CLT. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

As edificações construídas com sistemas leves estão presentes em diversos países e sua tendência de mercado é crescente. Impulsionada pelo protocolo de Kyoto, os sistemas construtivos em madeira permitem o armazenamento de dióxido de carbono (CO2), uma vez que a madeira é amplamente utilizada por ser matéria-prima renovável. Geralmente, esses sistemas construtivos são produzidos a partir de processos industrializados com controle na produção de resíduos e no consumo de energia. Além disso, a pré-fabricação pode significar maior qualidade quando usada mão-de-obra qualificada e são exigidas certificações de procedência dos produtos (1, 2).

No que se refere ao processo de construção, uma edificação em *Cross Laminated Timber* (CLT) se inicia fora do canteiro de obras e termina no local previsto para sua implantação, indicando a rapidez e a alta precisão de montagem típica de edifícios pré-moldados de madeira. Como consequência, essas características atraem diversos profissionais como designers, arquitetos, engenheiros e construtores.

Apesar dos aspectos positivos citados, a diversidade técnica das construções com CLT dificulta a homogeneização dos métodos de cálculo para previsões de desempenho acústico (2) em comparação aos edifícios tradicionais, que aplicam os princípios da lei da massa para estimativas de perda de transmissão sonora em sistemas de concreto maciço e alvenarias pesadas.

As estimativas para a transmissão da vibração em edifícios podem fornecer informações relevantes para análises de irradiação para diferentes componentes construtivos de edifícios multipavimentos. Vários aspectos são estudados para analisar o comportamento acústico de diferentes tipos de pavimentos a fim de se propor soluções de projeto eficientes, sendo o tipo de estrutura do edifício um dos primeiros aspectos a ser analisado, pois a propagação da onda difere para componentes pesados e leves.

As propriedades ortotrópicas da madeira são normalmente medidas em três direções ortogonais, que são relativas aos anéis da madeira e podem ser incorporadas em modelos teóricos. Em estruturas de madeira, são utilizadas ondas sonoras ao longo do comprimento das vigas e o módulo de Young axial (3, 4). No entanto, em um sistema de placa/viga, a transmissão pode variar de acordo com o tipo de conexão, e as ondas podem se dissipar ao longo do comprimento das vigas ou ao longo de sua profundidade. Esta variação das propriedades do material é complexa de se modelar, razão pela qual as simplificações são normalmente introduzidas em modelos para estimativas da resposta vibracional desse tipo de sistema construtivo (4, 5).

A resposta vibracional do sistema construtivo em madeira depende da própria estrutura e não varia significativamente se não forem aplicadas mudanças como, por exemplo, camadas de alta densidade ou forros suspensos (6). Um forte comportamento modal dominante está presente abaixo de 200 Hz (7) e, de

acordo com o relatório da Cost Action (8), as estruturas de madeira apresentam melhor isolamento na faixa de média e alta frequência, quando comparadas aos sistemas pesados.

Johansson (9) realizou vários testes em uma série de composições de pisos de madeira para entender a influência de diferentes camadas e inserção de vigas e conclui que, na maioria dos casos, quando uma melhora é observada na faixa de baixa frequência, as estruturas apresentam pior comportamento em altas frequências.

Nesse contexto, este trabalho apresenta resultados de desempenho acústico aos sons aéreo e de impacto de sistemas de pisos compostos por painéis CLT.

MÉTODO

ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Os ensaios para determinação do desempenho acústico dos sistemas de pisos foram realizados conforme procedimentos das normas ISO 10140-2:2010 (10), ISO 10140-3:2010 (11), ISO 10140-4:2010 (12) e ISO 3382-2:2017 (13).

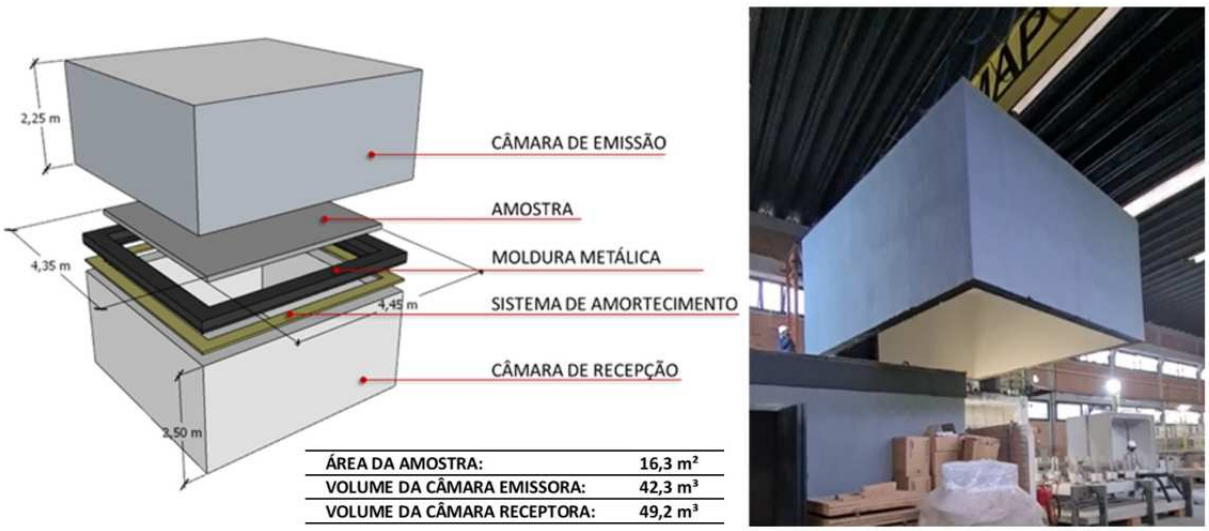
Para os ensaios de índice de redução sonora aos sons aéreos foram realizadas medições na câmara de emissão (L1), na câmara de recepção (L2), medições do tempo de reverberação da câmara de recepção (T) e ruído de fundo também na câmara de recepção (B2).

Nos ensaios do nível de pressão sonora de impacto padrão foram realizadas medições na câmara de recepção (L2), tempo de reverberação da câmara de recepção (TR) e ruído de fundo também na câmara de recepção (B2).

O tempo de reverberação da câmara de recepção (TR) e ruído de fundo (B2) são os mesmos para o som aéreo e para o som de impacto. Para o nível de pressão sonora aos sons de impacto não é realizada a medição L1, e L2 é realizado com a utilização da *tapping machine* (máquina de impactos). **Erro! Fonte de referência não encontrada.**Os ensaios acústicos foram realizados em câmaras reverberantes móveis e sobrepostas, localizadas no itt Performance - Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil da Unisinos. As câmaras seguem as premissas normativas da ISO 10140-5:2010 [10], que determina as dimensões e os processos de validação de resultados.

As características gerais das câmaras e o deslocamento da câmara superior estão na Figura 1.

Figura 1: Câmaras utilizadas nos ensaios, com esquema das características gerais (à esquerda); e movimentação da câmara superior (à direita)



Fonte: os autores.

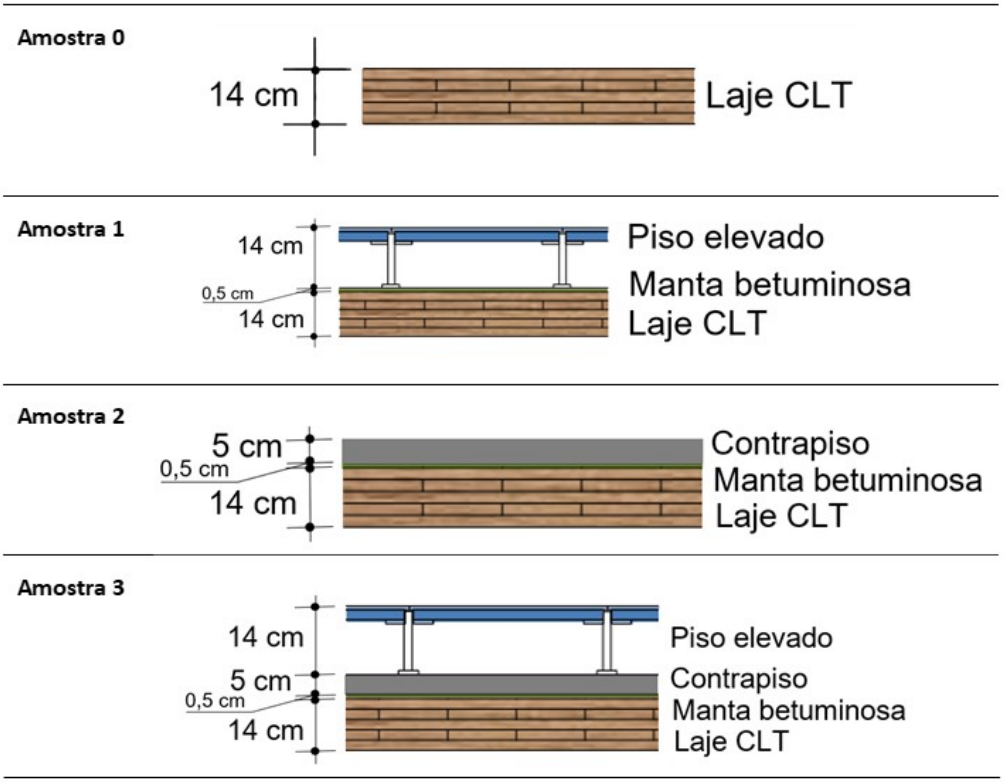
Os equipamentos utilizados nos ensaios acústicos foram: analisador sonoro, modelo FUSION, da Acoem 01 dB; microfone GRAS com pré-amplificador integrado FUSION, da Acoem 01 dB; calibrador sonoro Cal21; e fonte sonora dodecaédrica Type 4292-L B&K, com amplificador de potência Type 2734-A B&K.

Após a determinação do índice de redução sonora em bandas de 1/3 de oitava, foi possível determinar o índice de redução sonora ponderado (Rw), com cálculos conforme a norma ISO 717-1:2013 [11], e o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L_{n,w}$) conforme a norma ISO 717-2:2013 [12].

SISTEMAS DE PISOS

As composições de pisos utilizadas neste estudo estão especificadas na Figura 2. Para as quatro situações foi utilizada a laje de painéis CLT com espessura de 14cm, produzido com madeira de Spruce (*Picea abies*), espécie conífera, plantada na Áustria com densidade de 400 kg/m³, e variações na instalação de piso elevado e piso flutuante (Figura 2). A Amostra 0 é composta por painéis 3 CLT conectados encaixe tipo “meia madeira” e as juntas entre os painéis foram preenchidas com vedante de poliuretano.

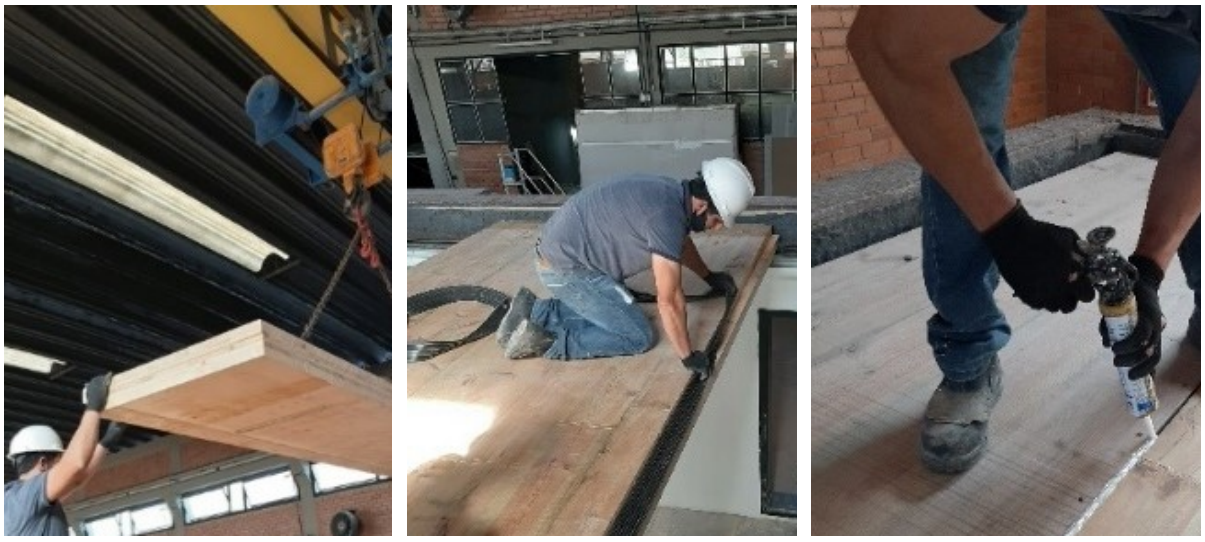
Figura 2: Características das amostras



Fonte: os autores.

Na Figura 3 está apresentada a instalação da laje, bem como a colocação do material elastomérico e aplicação do selante.

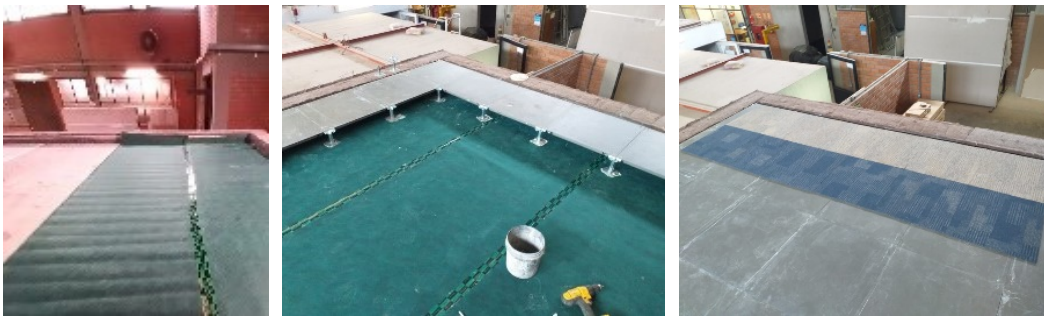
Figura 3: Instalação da laje CLT na câmara de ensaios com içamento dos painéis (à esquerda), colocação do elastômero nos encaixes (ao centro) e aplicação de selante nas juntas (à direita)



Fonte: os autores.

Para a Amostra 1 foi instalado um piso elevado revestido com carpete, sobre uma manta betuminosa. A Amostra 2 foi composta por um piso flutuante, com a manta betuminosa com espessura de 5 mm sob o contrapiso, com espessura de 5 cm. Para a Amostra 3 foi testada a combinação das duas anteriores, com o piso elevado instalado sobre o piso flutuante. A Figura 4 apresenta as camadas utilizadas nos testes.

Figura 4: Camadas utilizadas nos testes: manta betuminosa (à esquerda), piso elevado (ao centro) e placas de carpete (à direita)



Fonte: os autores.

RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir permitem concluir sobre o desempenho acústico dos sistemas de pisos citados, tanto para a perda de transmissão sonora ao som aéreo, quanto para o nível sonoro de impacto padrão. Atualmente, a referência normativa nacional para desempenho acústico de sistemas de pisos apresenta critérios somente para ensaios em campo, sendo os resultados em laboratório utilizados para as estimativas que consideram as transmissões por flancos.

ISOLAMENTO AO SOM AÉREO

Os resultados, por bandas de terço de oitava, são apresentados na Figura 5. O isolamento ao som aéreo da amostra com a laje em painéis CLT (Amostra 0) foi menor que as demais a partir da banda de 400 Hz. Nas composições de pisos com os revestimentos é possível notar o aumento da perda de transmissão sonora entre 400 e 2.000 Hz.

Mesmo na Amostra 1, que não teve adição de massa, foi notado um efeito de aumento gradativo no isolamento. Nessa amostra, a presença da câmara de ar poderia provocar um efeito de ressonância interna, o que causaria redução no isolamento. No entanto, a utilização de material de amortecimento anulou esse efeito.

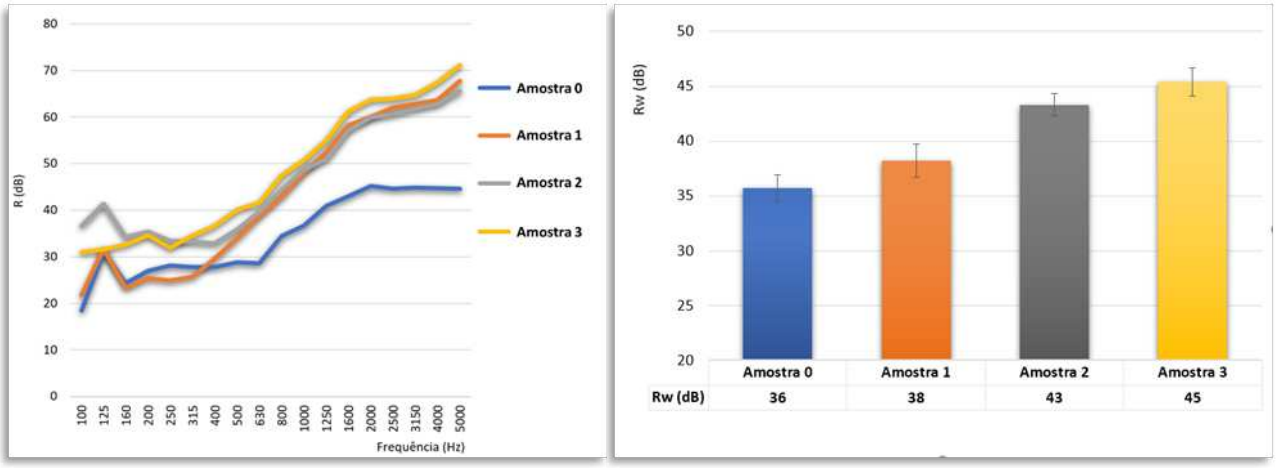
Comparativamente, o uso do piso flutuante (Amostra 2) apresentou maior isolamento nas bandas de frequências até 400 Hz. O uso do piso flutuante foi mais eficiente que o uso do piso elevado, com Rw de 43 dB e 38 dB respectivamente.

A adição dos termos de adaptação C e C_{tr} (Tabela 1) indicam a capacidade de isolamento aos sons de conversas e de ruído de tráfego veicular, respectivamente. Para as amostras testadas, esses valores foram todos negativos, sendo maiores para o C_{tr}. Ou seja, esses sistemas construtivos avaliados têm isolamento acústico menor para o ruído de tráfego veicular urbano, caso sejam utilizados em coberturas, que para os sons originados de conversas e outros que tenham maior componente espectral nas médias frequências.

Tabela 1: Índices de redução sonora ponderados, termos de adaptação e incerteza de medição

Amostras	Rw (C; C_{tr})	U (dB)	Rw + C (dB)	Rw + C_{tr} (dB)
Amostra 0	36 (-2; -5)	1,2	34	31
Amostra 1	38 (-2; -6)	1,5	36	32
Amostra 2	43 (-1; -4)	1,0	42	39
Amostra 3	45 (-2; -5)	1,3	43	40

Figura 5: Resultados de isolamento ao som aéreo por bandas de terço de oitava (à direita) e ponderados (à esquerda)



Fonte: os autores.

RUÍDO DE IMPACTO

Quando submetidas à excitação mecânica nos ensaios de ruído de impacto, as amostras também apresentaram características diferentes, com maior isolamento ao som de impacto nas composições com maior quantidade de camadas.

Os resultados dos níveis de ruído de impacto padrão por bandas de terço de oitava podem ser analisados nos gráficos da Figura 6. A amostra 0, somente com os painéis CLT, apresentou elevado nível sonoro nas médias frequências e o valor ponderado foi de $L_{nT,w}$ 86 dB. Estudos anteriores (17) com laje de concreto maciço com 12 cm de

espessura, e tipo vigota/lajota com 13 cm de espessura, apresentaram valores de $L_{nT,w}$ de 80 e 93, respectivamente. Dessa forma, pode-se observar que a baixa densidade dos painéis CLT faz com que o sistema possua menor isolamento ao som de impacto.

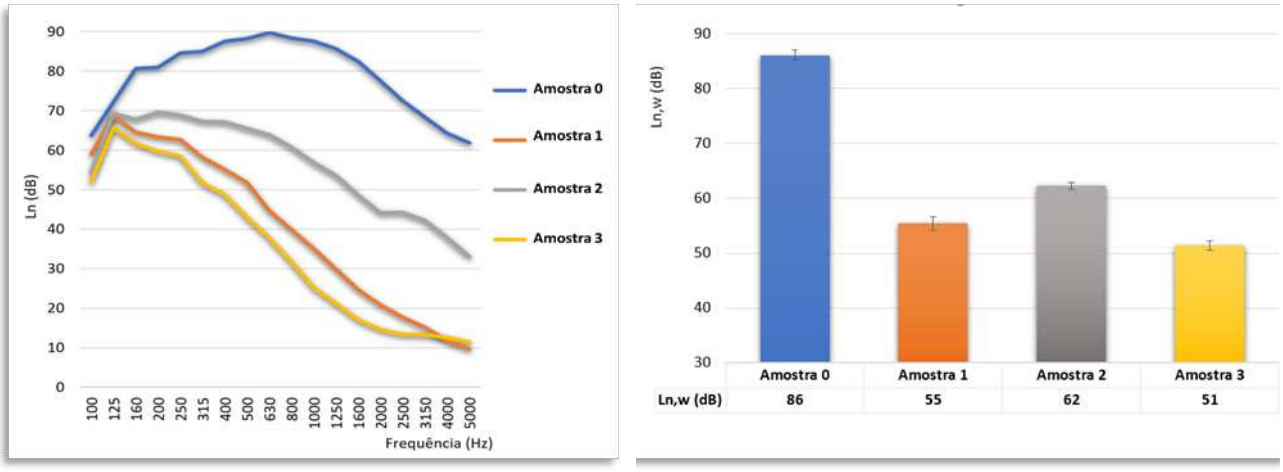
No entanto, a adição de revestimentos altera significativamente a capacidade de isolamento ao ruído de impacto, como pode ser observado nos resultados das Amostras 1, 2 e 3. Tanto o piso elevado quanto o piso flutuante alteraram o padrão da curva por bandas de terço de oitava, com reduções nas componentes de médias e altas frequências. Sendo assim, pode-se indicar que a adição desses revestimentos altera a componente espectral do som percebido no ambiente receptor, com redução dos sons mais agudos.

Os valores de isolamento acústico com o termo de adaptação C_i (Tabela 2) foi positivo para a laje apenas com os painéis CLT, e negativos para as demais composições. Isso significa que a laje que possui apenas os painéis têm isolamento ao ruído de impacto menor para os sons oriundos de passos no pavimento superior. Os valores positivos do termo Ci para as Amostras 1 e 3 indicam eficiência de amortecimento causada pelo revestimento em piso elevado. Além disso, o efeito do amortecimento também pode ser verificado no gráfico com os valores por bandas de terço de oitava, com acentuado decaimento a partir da banda de 315 Hz.

Tabela 2: Índices de redução sonora ponderados, termos de adaptação e incerteza de medição

Amostras	$L_{n,w}$ (Ci)	U (dB)
Amostra 0	86 (-4)	1,2
Amostra 1	55 (2)	1,5
Amostra 2	62 (0)	1,0
Amostra 3	51 (2)	1,3

Figura 6: Resultados do nível de ruído de impacto padrão por bandas de terço de oitava (à esquerda) e ponderados (à direita)



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados resultados de desempenho acústico de quatro sistemas de piso com laje em CLT a partir de ensaios em laboratório. Além da laje somente com os painéis CLT, foram usados dois princípios para a escolha dos revestimentos: aumento da massa com uso de contrapiso e sistema massa-mola-massa com piso elevado instalado com sistema de amortecimento.

Quanto ao isolamento ao som aéreo:

- A adição de camadas com contrapiso melhora o isolamento acústico, comparado aos revestimentos com câmaras de ar.
- Os sistemas têm maior eficiência para a atenuação dos sons de conversas e outros com maior componente nas médias e altas frequências, conforme os resultados de Rw+C, do que para o ruído de tráfego veicular urbano ($Rw+C_{tr}$).

Quanto ao ruído de impacto:

- A adição de revestimento altera a composição espectral dos níveis sonoros no ambiente receptor, com reduções dos sons agudos.
- A instalação de piso elevado, com características apresentadas neste trabalho, é mais eficiente que a colocação de contrapiso com manta resiliente.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à Urbem pela autorização na divulgação dos resultados.

REFERÊNCIAS

1. CANIATO, Marco, BETTARELLO, Federica, FAUSTI, Patrizio, FERLUGA, Alessio, MARSICH, Lucia and SCHMID, Chiara. Impact sound of timber floors in sustainable buildings. *Building and Environment*. August 2017. Vol. 120, p. 110–122. DOI 10.1016/J.BUILDENV.2017.05.015.
2. CANIATO, Marco, BETTARELLO, Federica, FERLUGA, Alessio, MARSICH, Lucia, SCHMID, Chiara and FAUSTI, Patrizio. Acoustic of lightweight timber buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 80, no. May 2016, p. 585–596. DOI 10.1016/j.rser.2017.05.110.
3. NEGREIRA, J., SJÖSTRÖM, A. and BARD, D. Low frequency vibroacoustic investigation of wooden T-junctions. *Applied Acoustics* [online]. 2016. Vol. 105, p. 1–12. DOI 10.1016/j.apacoust.2015.11.016. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003682X15003400
4. DICKOW, Kristoffer Ahrens, BRUNSKOG, Jonas and OHLRICH, Mogens. Modal density and modal distribution of bending wave vibration fields in ribbed plates. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2013. Vol. 134, no. 4, p. 2719–29. DOI 10.1121/1.4818889.
5. CRAIK, Robert J M and GALBRUN, Laurent. Vibration transmission through a frame typical of timber-framed buildings. *Journal of Sound and Vibration*.

2005. Vol. 281, no. 3–5, p. 763–782. DOI 10.1016/j.jsv.2004.02.015.
6. POBLET-PUIG, J. and GUIGOU-CARTER, C. Using spectral finite elements for parametric analysis of the vibration reduction index of heavy junctions oriented to flanking transmissions and EN-12354 prediction method. *Applied Acoustics*. 2015. Vol. 99, p. 8–23. DOI 10.1016/j.apacoust.2015.03.025.
7. JARNERÖ, K., BRANDT, A. and OLSSON, A. Vibration properties of a timber floor assessed in laboratory and during construction. *Engineering Structures*. 2015. Vol. 82, p. 44–54. DOI 10.1016/j.engstruct.2014.10.019.
8. *COST Action FP0702 - Net-Acoustics for Timber based lightweight buildings and elements*. 2012.
9. JOHANSSON, Carin. Low-Frequency Impact Sound Insulation of a Light Weight Wooden Joist Floor. *Applied Acoustics*. 1995. Vol. 44, p. 133–147.
10. ISO. *ISO 10140-2: Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 2: Measurement of airborne sound insulation*. 2010. Geneva.
11. ISO. *ISO 10140-3: Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 3: Measurement of impact sound insulation*. 2010. Geneva.
12. ISO. *ISO 10140-4: Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 4: Measurement procedures and requirements*. 2010. Geneva.
13. ISO. *ISO 3382: Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*. 2008. Geneva : ISO.
14. ISO. *ISO 10140-5: Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 5: Requirements for test facilities and equipment*. 2010. Geneva.
15. ISO. *ISO 717-1. Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements. Part 1: Airborne sound insulation*. 2013. Geneva.
16. ISO. *ISO 717-2: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation*. 2013. Geneva : ISO.
17. OLIVEIRA, Maria Fernanda, HEISSLER, Rafael Ferreira, LIMA, Felipe Schneider de, PACHECO, Fernanda and TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Desempenho acústico de laje com vigota e lajota: isolamento ao som aéreo e de impacto. *Ambiente Construído*. 2021. Vol. 21, no. 3, p. 243–254. DOI 10.1590/s1678-86212021000300549.