

DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE PISO: ISOLAMENTO DE LAJES NERVURADAS AO RUÍDO DE IMPACTO

COELHO, Fabiana Curado¹, MOURA, Nayara Farias de², CROCE, Bruna Del Priore³.
(1) Síntese Acústica Arquitetônica; (2) Síntese Acústica Arquitetônica; (3) Universidade de Brasília - UnB.

RESUMO

A evolução considerável da construção civil nos últimos anos resultou na busca de novas técnicas e materiais a fim de alcançar melhoras no desempenho das estruturas e custos cada vez menores. Nesse contexto, a laje nervurada vem sendo muito utilizada, pois o seu desempenho permite, comparada à laje maciça, a construção de maiores vãos, sem aumento do consumo de materiais, e consequente redução do peso próprio da estrutura. Em 2013, com a publicação da ABNT NBR 15575, foram exigidos novos parâmetros de desempenho de sistemas de pisos, dentre eles o isolamento ao ruído de impacto. Este estudo tem por objetivo analisar o desempenho acústico de diferentes tipologias de laje nervurada quanto ao requisito de isolamento de ruído de impacto em sistemas de piso. São analisados resultados obtidos em ensaios de campo realizados entre os anos de 2012 a 2016. Para isto, optou-se por utilizar os procedimentos das normas ISO 140-7, ISO 3382-2 e ISO 717-2 para aferição dos valores de Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado (L_{nTw}), em decibels. Os resultados obtidos foram comparados aos parâmetros estabelecidos pela norma de desempenho, verificando-se que todos os ambientes atendem ao critério mínimo de isolamento de ruído de impacto, incluindo os ambientes de menor volume ou pequenas dimensões da capa de laje.

Palavras-chave: Ruído de impacto. Laje nervurada. Desempenho acústico. Norma de desempenho. L_{nTw} .

ABSTRACT

The considerable evolution of construction sector in recent years has resulted in the search for new techniques and materials to achieve improvements in the performance of increasingly smaller structures and costs. In this context, the ribbed slab has been widely used because its performance allows, compared to massive concrete slab, larger spans without increasing material consumption, and consequent reduction of the structure's weight. In 2013, the publication of NBR 15575 required new parameters of performance for floor systems, including impact sound insulation. This study aims to analyze the acoustic performance of different types of ribbed slab regarding the requirement for impact sound insulation of floor systems. Results obtained in field measurements conducted between the years 2012 to 2016 are analyzed through the procedures of ISO 140-7, ISO 3382-2 and ISO 717-2 to measure the values of Weighted Standardized Impact Sound Pressure Level (L_{nTw}), in decibels. The results were compared to the parameters established by the performance standard, verifying that all settings meet the minimum criteria of impact sound insulation, including lower volume environments or such with small table.

Keywords: Impact sound. Ribbed slab. Performance of structures. Performance standard. L_{nTw} .

1. INTRODUÇÃO

A inovação tem papel fundamental para a concorrência em diversos setores da economia e interfere diretamente na variação do valor final de bens e serviços. Portanto, a aplicação da inovação passa a ser âncora para as atividades estratégicas competitivas utilizadas pelas empresas, exigindo destas aplicações mais agilidade para execução e resultados satisfatórios.

O setor da construção civil está sempre exposto às exigências dos seus consumidores e é constantemente avaliado quanto aos termos de custo e prazo de seus produtos. As exigências dos consumidores, segundo Silva (2010), tornam necessários estudos comparativos entre diferentes tipos de estruturas e métodos construtivos para possibilitar a escolha adequada da estrutura que apresenta melhor comportamento e menor consumo de materiais, o que diminuiria os custos.

Segundo Araújo (2005), comumente se utiliza a laje maciça nas estruturas de piso das edificações multipavimentos, todavia, o tamanho do vão a ser vencido pode inviabilizar economicamente essa solução; já que esta tipologia necessitaria de uma elevada espessura, de tal forma que o carregamento da laje seria constituído principalmente pelo seu peso próprio. Araújo (2005) ainda apresenta a laje nervura como a alternativa tecnológica mais adequada para os casos em que é necessário vencer grandes vãos. De acordo com Franca e Fusco Jr (1997), as lajes nervuradas possuem resistência à tração concentrada apenas nas nervuras, entre as quais eventualmente podem ser colocados materiais não estruturais, de modo a tornar plana a superfície inferior. Assim, as lajes nervuradas podem apresentar maiores alturas úteis e, portanto, resistirem melhor à flexão, com menor consumo de materiais e consequente diminuição de peso próprio, visto que o concreto que seria tracionado na parte inferior é substituído por material inerte ou simplesmente é deixado um espaço vazio. A utilização de lajes nervuradas é um exemplo de inovação na tecnologia que vem sendo amplamente utilizada na construção dos edifícios habitacionais.

Segundo a NBR 6118, as lajes nervuradas podem ser de diferentes tipos, moldadas no local ou ter nervuras pré-moldada, ser unidirecionais ou bidirecionais. Neste trabalho nos restringiremos apenas às lajes nervuradas bidirecionais, moldadas *in loco* com formas tipo cubeta, que substitui a inserção do material inerte entre as nervuras gerando um vão livres entre elas e consequentemente uma face irregular, conforme imagem ilustrativa abaixo. Quando é utilizada essa tipologia de laje nervurada em habitações, comumente se instala um forro para regularização do teto.



Figura 1: Laje Nervurada. Disponível em:
< <https://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/07/11/lajes-nervuradas/> >.
Acesso em: 20 jan. 2017.

Com a publicação da ABNT NBR 15.575, novos parâmetros de desempenho em sistemas de piso foram exigidos, entre eles o de isolamento a ruído. O desempenho acústico em sistema de pisos é avaliado considerando-se os tipos mais comuns de transmissão sonora nas edificações, transmissão de ruído aéreo e de ruído de impacto. Estes ocorrem de forma diferente e, segundo Nunes, Zini e Pagnussat (2014), as soluções construtivas nem sempre atendem aos dois quesitos.

O ruído de impacto é causado pelo contato intermitente entre sólidos, os exemplos mais comuns em edifícios residenciais incluem queda de objetos, caminhar de pessoas, arrastar de cadeiras, etc. As vibrações são criadas nos pisos e tendem a espalhar-se nos outros elementos conectados, como paredes, vigas e pilares, através da transmissão estrutural. Já o ruído aéreo é gerado e emitido no campo reverberante do ambiente, ou seja, as ondas mecânicas não são produzidas diretamente em nenhum dos elementos construtivos.

Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo analisar o desempenho acústico de diferentes dimensões de laje nervurada quanto ao requisito de isolamento de ruído de impacto em sistemas de piso, através ensaios acústicos realizados em campo. Na seção de desenvolvimento serão abordadas as características dos sistemas ensaiados e a metodologia utilizada para ensaio. A seção de resultados discussão apresentará, com a utilização de gráficos e tabelas, os valores obtidos nas medições e sua relação com os valores de referência determinados na NBR 15.575-3

2. DESENVOLVIMENTO

Foram analisados seis sistemas diferentes de piso com laje de nervurada de espessuras totais variando entre 20 e 31 cm do tipo cubeta, com os espaços vazios entre as nervuras. Dos seis sistemas analisados, cinco possuíam revestimento de piso sobre concreto. Outros elementos variantes nos sistemas analisados são os volumes dos ambientes receptores de ruído e os materiais que constituem os flancos emissores e receptores. A Tabela 1 agrupa cada um dos sistemas citados anteriormente.

Tabela 1: Agrupamento dos sistemas de piso

Sigla	Tipo de laje	Contrapiso	Revestimento	Flancos emissores	Volume do ambiente receptor (m ³)
SP 1	Nervurada. Mesa: 5 cm. Nervura: 15 cm. Espessura total: 20 cm.	Argamassa comum com espessura de 3 cm	Piso cerâmico 4 mm e forro em gesso placa	Alvenaria em blocos de concreto de 14 cm e 12 cm	30,60
SP 2	Nervurada. Mesa: 5 cm. Nervura: 26 cm. Espessura total: 31 cm.	Argamassa comum com espessura de 3 cm	Porcelanato retificado 7 mm e forro de gesso acartonado	Parede em Drywall e alvenaria em bloco cerâmico de 12 cm	35,60
SP 3	Nervurada. Mesa: 5 cm. Nervura: 26 cm. Espessura total: 31 cm.	Argamassa comum com espessura de 3 cm	Porcelanato retificado 7 mm e forro de gesso acartonado com lâ de rocha	Parede em Drywall e alvenaria em bloco cerâmico de 12 cm	35,60
SP 4	Nervurada. Mesa: 6 cm. Nervura: 18 cm. Espessura total: 24 cm.	Argamassa comum com espessura de 3 cm	Sem instalação de revestimento sobre piso e forro de gesso acartonado	Alvenaria em blocos de cerâmico de 19 cm, 14 cm e 12 cm	29,10
SP 5	Nervurada. Mesa: 5 cm. Nervura: 21 cm. Espessura total: 26 cm.	Argamassa com vermiculita e espessura de 6 cm	Sem instalação de revestimento e forro.	Alvenaria em blocos de cerâmico de 9 cm e 14 cm	28,70
SP 6	Nervurada. Mesa: 5 cm. Nervura: 15 cm. Espessura total: 20 cm.	Argamassa comum com espessura de 3 cm	Porcelanato retificado 7 mm forro de gesso acartonado	Alvenaria em blocos de concreto de 14 cm e 12 cm	28,70
SP 7	Nervurada. Mesa: 7 cm. Nervura: 20 cm. Espessura total: 27 cm.	Argamassa comum com espessura de 2,5 cm	Piso cerâmico 4 mm e forro em gesso placa	Alvenaria em blocos de concreto de 9 cm e 14 cm	19,20

Segundo a ABNT NBR 15.575, para avaliação de desempenho acústico de um sistema de piso de edificação multipavimentos, é necessária a realização da determinação do Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado, $L'_{nT,w}$. Este nível de pressão sonora representa o ruído de impacto percebido entre unidades de pavimentos sequenciais.

O $L'_{nT,w}$ é determinado a partir do nível de pressão sonora aferida no ambiente receptor. Este nível de pressão resulta das transmissões diretas decorrentes da vibração da própria laje de piso/teto e das transmissões marginais, decorrentes da vibração das vedações verticais que estão em contato com a laje.

Os procedimentos seguidos para a execução dos ensaios de determinação do $L'_{nT,w}$ foram os prescritos pelas ISO 140-7, ISO 3382-2 e ISO 717-2. Os equipamentos foram posicionados considerando-se como emissor de ruído o ambiente de cima e receptor de ruído o ambiente diretamente abaixo. As medições foram realizadas em dormitórios sobrepostos, onde o piso do dormitório de uma unidade residencial trata-se do teto do dormitório de outra unidade.

Conforme solicitação da norma ISO 140-7, o som residual e o tempo de reverberação do ambiente receptor também foram aferidos. O som residual é definido como nível de pressão sonora presente no ambiente na ausência do ruído de impacto. Sua aferição é necessária para verificar se há contribuição deste nos valores nível sonoro de impacto aferidos, indicando se há necessidade de aplicar a correção dos valores conforme procedimento normativo.

O tempo de reverberação é o tempo necessário para que o nível de pressão sonora, após ter sido interrompida a emissão de energia sonora, decresça em 60 dB. A aferição deste parâmetro foram realizadas conforme os procedimentos da ISO 3382-2, através de fonte impulsiva.

A partir dos valores do nível sonoros e do tempo de reverberação, foram obtidos os valores do Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado, L'_{nT} , que em sequência são ponderados em um valor único através da curva de referência e metodologias descritas da ISO 717-2.

Em todas as obras, as aferições foram realizadas com a máquina em diferentes posições no ambiente emissor, e para cada posição da foram determinadas as posições do microfone no ambiente receptor. As quantidades de posicionamento da máquina e do microfone utilizadas em cada ensaio podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2: Posição da máquina e dos microfones

Sigla	Posições diferentes Tapping Machine (Und.)	Posições diferentes microfone (Und.)
SP 1	4	4
SP 2	5	4
SP 3	5	4
SP 4	5	4
SP 5	4	5
SP 6	4	5
SP 7	4	5

Para realização dos ensaios foi utilizado medidor integrador de nível sonoro, calibrador de nível sonoro e máquina de impacto padronizado. O medidor utilizado foi do modelo Blue Solo, classe 01 e número de série 61538 fabricado pela 01 dB. O calibrador também foi do fabricado pela 01 dB, número de série 61538. A máquina de impacto utilizada foi do modelo Tapping Machine, número de série calp 04/01-11-185, fabricante 01 dB.

Os ensaios foram realizados pela equipe de laboratório da Síntese Acústica Arquitetônica em edifícios residenciais localizados nas cidades de Brasília-DF e Goiânia-GO entre os anos de 2012 e 2016. As aferições foram realizadas no espectro de bandas de frequência entre 63 e 4000 Hz de acordo com o estabelecido no Anexo B da ISO 140-7.

A classificação do desempenho acústico foi feita tendo por base os valores de referência na NBR 15575-3 para ruído de impacto. Estes valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Critério de nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado em $L'_{nT,w}$

Elemento	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	Mínimo
	56 a 65	Intermediário
	≤ 55	Superior

Fonte: - ABNT, 2013

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estão representados na Figura 1 os valores, referentes aos sete sistemas ensaiados, do Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado por bandas de oitavas de 63 Hz a 4000 Hz.

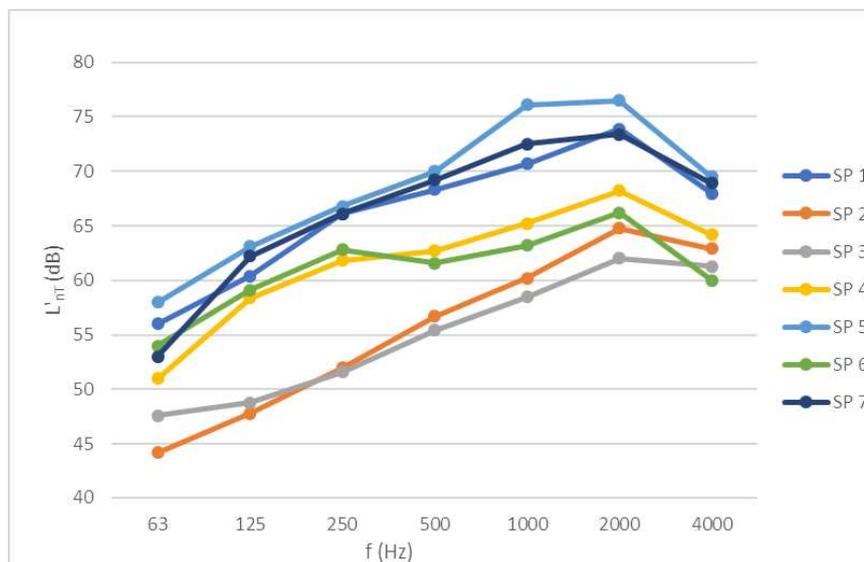


Figura 2: Resultado de L'_{nT} em bandas de oitava.

Observa-se, na Figura 1, que todos os sistemas apresentam maior transmissão entre as bandas de frequência de 1.000 e 2.000 Hz, apresentando uma ligeira melhora na banda de 4.000 Hz. Nunes, Zini e Pagnussat (2014) observou essa mesma “tendência ascendente na curva de L'_{nT} , contrário ao perfil gráfico da curva de referência da ISO 717-2” (NUNES, ZINI e PAGNUSSAT, 2014) em sistemas de piso com laje maciça e treliçada com revestimento cerâmico.

Todos os sistemas ensaiados neste trabalho possuíam superfícies rígidas no contato com a tapping machine, inclusive o SP4, que não possuía acabamento de piso, e teve seu ensaio realizado sobre o contrapiso. Portanto, esse comportamento da curva L'_{nT} , pode não ser uma característica da laje nervurada, mas sim uma influência do tipo de acabamento utilizado.

Os sistemas SP2 e SP3, que possuem laje com a maior altura útil de 31 cm, também apresentaram o melhor isolamento nas frequências abaixo de 2.000 Hz. O comportamento destes dois sistemas se diferencia de tal forma dos demais que as suas curvas de L'_{nT} se destacam do grupo de curvas dos outros sistemas, principalmente nas baixas frequências. Vale ressaltar que além da altura útil maior, em média 32%, o volume dos ambientes receptores é maior que os demais, nesses dois casos, cerca de 30%, o que também contribuiu para melhoria do resultado.

Entre os sistemas SP2 e SP3, que pertencem à mesma edificação, existe apenas uma diferença, a inserção de uma manta de lã rocha no entreferro. Esse material foi inserido com o intuito de melhorar o isolamento a ruído aéreo do sistema, mas observa-se uma pequena influência no resultados L'_{nT} . Nas frequências maiores 250 Hz, há uma pequena redução da transmissão, sendo que a maior redução observada foi de 2,8 dB na banda de 2.000 Hz.

Observa-se também que sistema SP5 que apresenta o pior isolamento em todas as frequências, não apresenta o menor ambiente receptor ou a menor altura útil. Verifica-se também que esse sistema possui uma perda considerável de isolamento entre as bandas de

frequência 1000Hz e 2000Hz, quando comparado aos comportamento dos outros sistemas. Entretanto, esse é o único sistema não possuía forro instalado quando o ensaio foi realizado.

As curvas L'_{nT} de SP1 e SP 7 são muito próximas em valores e comportamento, mas as característica dos dois sistemas é bem distinta, altura útil de SP7 é cerca de 13% maior, enquanto o volume do SP1 é 60% maior, destacando a importância que o volume do ambiente tem no resultado de isolamento de ruído de impacto.

3.1 Classificação de desempenho

A tabela 4 apresenta os valores dos resultados de $L'_{nT,w}$ obtidos nos ensaios de cada sistema e o nível de desempenho alcançado conforme determinação da NBR 15.575-3.

Tabela 4: Resultados de $L'_{nT,w}$ e desempenho acústico por sistema ensaiado

Sigla	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
SP1	75	Mínimo
SP2	66	Mínimo
SP3	63	Intermediário
SP4	70	Mínimo
SP5	78	Mínimo
SP6	67	Mínimo
SP7	75	Mínimo

Os sistemas atenderam ao requisito mínimo obrigatório da Norma de Desempenho, sendo que o pior resultado foi o do sistema SP5, que ainda apresentou um valor dois decibels abaixo do máximo permitido, sendo que a composição do sistema não estava completa. O sistema SP3 foi classificado com Nível Intermediário de desempenho, que também quase foi alcançado pelo sistema SP2, que possui características muito a esse. As classificações distintas dos dois sistemas é explicada pelas pequenas diferenças observadas nos valores L'_{nT} nas bandas acima de 1000 Hz. O acumulado destas diferenças elevaram em três decibels o resultado de $L'_{nT,w}$ do sistema SP3 em relação ao do SP2, culminando em níveis de desempenho diferentes.

O sistema SP6 aproximou-se bastante do resultado do SP2, apesar de possuir um isolamento muito menor nas bandas de frequência abaixo de 500 Hz, com diferença de até 10,8 dB na banda de frequência de 250 Hz. Entretanto, a curva de ponderação da ISO 717-2 é mais restritiva nas altas frequências, onde os valores das duas curvas (SP2 e SP6) se aproximam, explicando assim a aproximação do resultado de $L'_{nT,w}$.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das lajes nervuradas é crescente nas edificações habitacionais multipavimentos, principalmente quando se faz necessário vencer grandes vão estruturais. Isto se deve ao aumento da altura útil da peça, que confere maior rigidez sem o ganho de peso próprio e o conseqüente sobrecarga estrutural.

Apesar da laje nervurada possuir uma espessura total bem maior do que as lajes macias em concreto armado, que variam geralmente entre 10 e 15 cm, os nível de desempenho alcançado, conforme a NBR 15.575-3, manteve-se geralmente no mínimo.

Observou-se que na amostra estudada que as maiores transmissões estão nas altas frequências, que são as mais penalizadas pela curva de ponderação da ISO 717-2, restringindo assim a

obtenção de valores mais baixos de $L'_{nT,w}$ e conseqüentemente níveis de desempenho melhores. Mas tal resultado comportamento pode ser uma influência dos revestimentos rígidos de piso, como observou Nunes, Zini e Pagnussat (2014) em seus estudos. Entretanto, a análise do sistema de piso SP3 demonstra a relevância das reduções das altas frequências para que lajes nervurada alcancem de melhores níveis de desempenho.

Assim, a utilização combinada do sistema de lajes nervuradas bidirecional tipo cubeta com materiais de revestimento resilientes ou mantas de desconexões, que reduzam principalmente as transmissões das altas frequências, tendem a apresentar menores valores de $L'_{nT,w}$. Todavia, faz-se importante a realização de mais estudos com finalidade de compreender melhor a relação entre a altura útil das laje nervuradas, bem como sua rigidez estrutural, e as transmissões sonoras a ruído de impacto nos sistemas de pisos.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, J. M. Considerações sobre a rigidez à torção das lajes nervuradas de concreto armado. In: **Teoria e Prática na Engenharia Civil**. Rio Grande, n. 7, p. 1-8, Setembro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3 Edifícios Habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-7 Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 4: Field measurements of impact sound insulation of floors**. Genebra, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382-2 Acoustics – Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms**. Geneva, 2008.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1 Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation**. Geneva, 2013.
- NUNES, M. F. O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D. T. Desempenho Acústico de Sistemas de Piso: Estudos de Caso Para Isolamento ao Ruído Aéreo e de Impacto. In: **Acústica E Vibrações**. n° 46, p. 13-19, Dezembro 2014.
- SILVA, L. P.; Estudo **Comparativo entre Lajes Nervuradas e Maciças em Função dos Vãos entre Apoios**. In: **Acústica E Vibrações**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010.