

EDIFÍCIOS MODULARES PRÉ-FABRICADOS EM BETÃO

A OPTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE BETÃO ARMADO PARA CONSTRUÇÃO MODULAR

Albano Neves e Sousa, Reza Mohammadi-Firouz, Maria da Glória Gomes
CERIS, DECivil, Instituto Superior Técnico

Um edifício modular é uma estrutura pré-concebida suficientemente flexível para satisfazer os requisitos de fácil montagem e desmontagem, ampliação e reutilização. Os edifícios modulares apresentam partes significativas constituídas por componentes pré-fabricadas que requerem uma extensa uniformização e sistemas construtivos industrializados, permitindo assim: a aplicação de métodos modernos de projecto e fabrico, envolvendo tecnologias de informação tais como o Desenho Assistido por Computador (CAD) e a Fabricação Assistida por Computador (CAM); a redução da mão-de-obra durante a construção (fora da fábrica); a minimização dos materiais aplicados no estaleiro e o respectivo desperdício; a promoção de um ambiente mais limpo e de um estaleiro mais seguro; e uma construção mais barata e rápida com controlo de qualidade sistemático. Em geral, podem ser considerados três tipos principais de sistemas construtivos industrializados [1]: sistemas lineares (1D), com elementos estruturais reticulados do tipo pilar e viga; sistemas planos (2D), com painéis estruturais de parede e laje; e sistemas celulares tridimensionais (3D), incluindo volumes com um ou mais compartimentos.

Nos sistemas planos, os painéis podem ser leves ou aligeirados, incluindo normalmente

estruturas internas de madeira ou metal e materiais de enchimento compósitos, mas os painéis pesados, em betão armado aplicado em lajes alveolares e em painéis maciços para paredes interiores e exteriores, são ainda os de utilização mais comum em edifícios de maior dimensão, principalmente na Europa. A concepção destes painéis envolve múltiplos aspectos essenciais para o conforto ocupacional e funcionalidade do edifício, incluindo a resistência estrutural e o comportamento dinâmico, a insonorização e o isolamento térmico, a disponibilidade de espaço para instalações técnicas e a sustentabilidade no âmbito da construção contemporânea.

Com a crescente procura por métodos de construção modular, torna-se necessário melhorar o desempenho dos painéis pré-fabricados de betão armado. Assim, no âmbito do projecto “R2UTechnologies – Modular Systems”, pretende-se melhorar as propriedades acústicas de painéis de parede pré-fabricados em betão armado e garantir o cumprimento das normas e regulamentos acústicos aplicáveis. A investigação visa compreender os mecanismos de transmissão sonora e avaliar os métodos de isolamento actuais para propor soluções inovadoras suportadas por análises experimentais e numéricas.

A TRANSMISSÃO SONORA EM PAINÉIS DE BETÃO PRÉ-FABRICADOS

As pessoas são expostas ao ruído nos edifícios em múltiplas situações, podendo identificar-se fontes sonoras em ambientes interiores e exteriores [2]. Idealmente, a melhoria do isolamento acústico deveria ser conseguida através do recurso a elementos de separação e divisória sustentáveis, capazes de cumprir os requisitos estruturais e de conforto [3]. Estão actualmente em desenvolvimento normas para sistemas de construção modulares e industrializados visando promover tais soluções sustentáveis [4], mas são necessários mais estudos sobre as questões de desempenho.

A absorção sonora de superfícies de betão é baixa, contribuindo assim para ambientes mais ruidosos, o que é, por vezes, corrigido através do recurso a sistemas de revestimento do painel. A utilização de betões mais absorventes reduziria esta necessidade, mas a resistência estrutural não deverá ser comprometida [5]. De um modo geral, os painéis pré-fabricados de betão apresentam um isolamento acústico adequado, mas a necessidade de reduzir a espessura e o peso do painel conduz a uma diminuição do nível de desempenho acústico [5]. Além disso, a transmissão da vibração

estrutural através das uniões entre os painéis das paredes pavimentos pode comprometer significativamente o isolamento acústico [6-8]. Para reduzir a transmissão de vibrações entre painéis, devem ser utilizados sistemas de ligação resiliente adequadamente testados [9]. O ruído transmitido por canalizações também pode afectar negativamente o ambiente acústico dos edifícios [10].

A avaliação do desempenho acústico de painéis pré-fabricados de betão armado em edifícios envolve os seguintes passos:

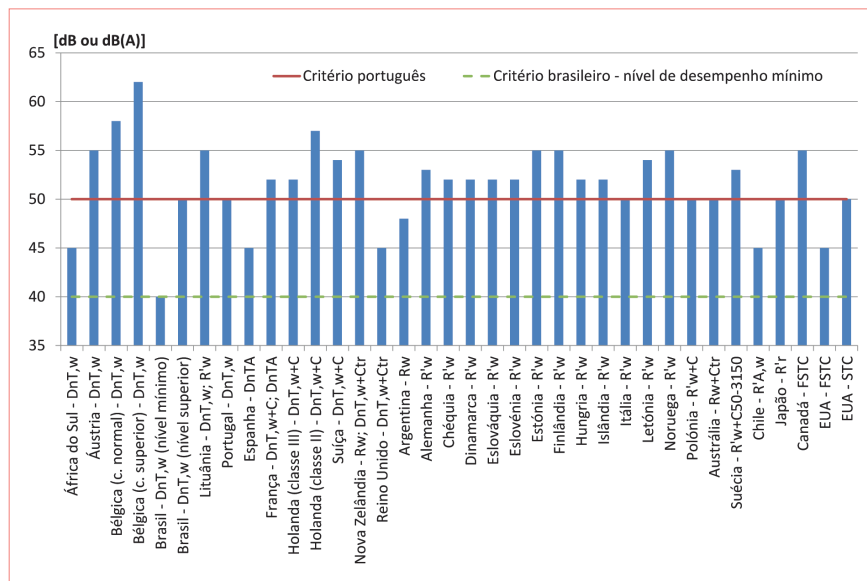
1. Quantificação do isolamento acústico exigido em função da geografia, tipo de edifício e tipo e localização do elemento de construção, de forma a reduzir o número de soluções de painéis a desenvolver no âmbito de um sistema construtivo modular industrializado. Na Figura 1 apresentam-se os diferentes critérios de isolamento a sons aéreos aplicáveis internacionalmente a paredes de separação entre fogos distintos em edifícios de habitação, destacando-se, num nível inferior de exigência, o critério brasileiro aplicável a edifícios de qualidade mínima e, num nível médio, o critério nacional português, o qual é menos exigente do que o critério adoptado na maioria dos países europeus.

2. Descrever e quantificar as vibrações transmitidas através das ligações estruturais do painel pré-fabricado de forma a minimizar as transmissões marginais de vibração e ruído, principalmente em baixas frequências.

3. Estudar e controlar a radiação sonora das tubagens de instalações técnicas dos edifícios que poderão estar inseridas nos painéis.

DESENVOLVIMENTO E TRABALHOS FUTUROS

Com o objectivo de desenvolver um estudo paramétrico com variação da espessura dos painéis, do tipo de betão, dos sistemas de juntas entre painéis e do modo de inserção de

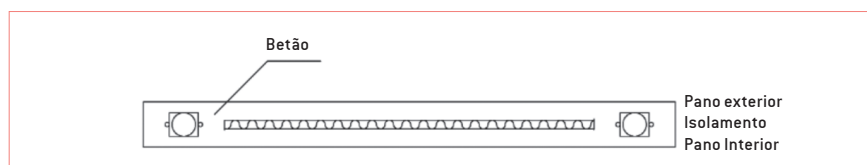


1>

condutas e alvéolos, recorre-se a programas de cálculo analítico e numérico (elementos finitos) para a modelação da transmissão de vibração e ruído em painéis de betão pré-fabricados. A precisão dos modelos será verificada através da comparação dos resultados das simulações com resultados experimentais disponíveis na literatura e também com resultados de testes laboratoriais a realizar no âmbito deste estudo. Na Figura 2 apresenta-se o corte tipo de um dos painéis actualmente em estudo, na sua forma mais convencional, com uma espessura total de 16 a 20 cm incluindo uma camada interior de isolamento térmico e um sistema rígido de ligação formando nervuras maciças. Na Figura 3 apresentam-se, a título ilustrativo, o modelo estrutural desenvolvido e os dois primeiros modos naturais de vibração, (1,1) e

(2,1), os quais ocorrem nas frequências de 115 e 192 Hz, respectivamente, para o painel com espessura total de 20 cm. Observa-se que o painel exibe o comportamento típico esperado de um painel homogéneo de elevada rigidez de flexão simplesmente apoiado em todo o bordo. Na Figura 4 apresenta-se o modelo numérico da câmara de transmissão sonora, desenvolvido com o software ANSYS, e os espectros do índice de redução sonora obtidos para os painéis P16 e P20, com espessura total de 16 e 20 cm, respectivamente.

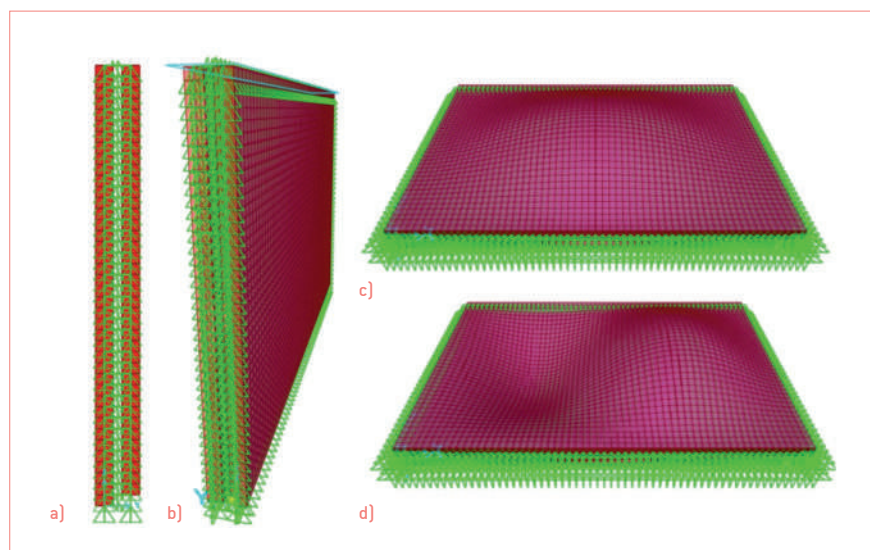
O estudo paramétrico suportará o desenvolvimento de diretrizes melhoradas para o projecto e isolamento sonoro de painéis pré-fabricados de betão em sistemas modulares, permitindo ainda o desenvolvimento de um método de cálculo simplificado, a utilizar por



2>

> Figura 1: Critérios de isolamento a sons aéreos aplicáveis internacionalmente a paredes de separação entre fogos distintos em edifícios de habitação [11].

> Figura 2: Corte tipo de painel incluindo camada interior de isolamento térmico e nervuras maciças de ligação entre painéis.



3>

arquitetos e engenheiros, para a previsão do seu desempenho acústico, o qual deverá considerar parâmetros-chave como as propriedades do betão e de outros materiais, as dimensões do painel, as ligações estruturais e o modo de inserção de condutas. Esta ferramenta será validada através da comparação dos resultados com dados experimentais resultantes de ensaios de caracterização modal e acústica em protótipos de painéis à escala real. Espera-se que os estudos a desenvolver contribuam para a melhoria da qualidade e nível de desempenho acústico de edifícios modulares pesados, cumprindo as normas e regulamen-

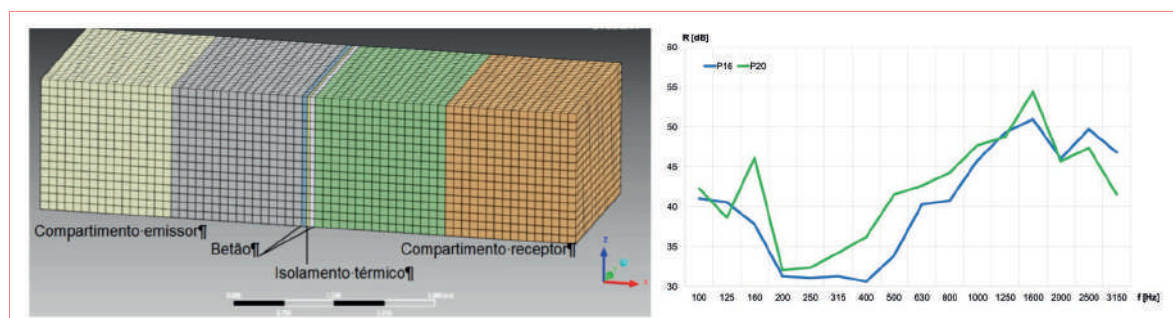
tos em vigor e aumentando o conforto dos ocupantes. ■

Os autores escrevem de acordo com a antiga ortografia.

REFERÊNCIAS

- [1] Richard, Roger-Bruno [2012]: *Industrialised building systems: the "palette" of options*. *Proceedings of the Association of Collegiate Schools of Architecture Fall Conference*, pp. 315-321.
- [2] Jeon, Jin Yong; Ryu, Jongkwan; Lee, Pyoung [2010]: *A quantification model of overall dissatisfaction with indoor noise environment in residential buildings*. *Applied Acoustics* 71, pp. 914-921. [https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.06.001]

- [3] Matoski, Adalberto; Ribeiro, Rodrigo Scoczynski [2016]: *Evaluation of the acoustic performance of a modular construction system: Case study*. *Applied Acoustics* 106, pp. 105-112 [https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.01.004].
- [4] International Organization for Standardization ISO – Technical Sub-Committee ISO/TC 59/SC 19 – Prefabricated building [https://www.iso.org/committee/8560915.html].
- [5] Kim, H.K.; Lee, H.K. [2010]: *Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete*. *Applied Acoustics* 71(7), pp. 607-615 [https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.02.001].
- [6] Craven, P.G.; Gibbs, B.M. [1981]: *Sound transmission and mode coupling at junctions of thin plates, part I: Representation of the problem*. *Journal of Sound and Vibration* 77(3), pp. 417-427 [https://doi.org/10.1016/S0022-460X(81)80177-0].
- [7] Gibbs, B.M.; Craven, P.G. [1981]: *Sound transmission and mode coupling at junctions of thin plates, part II: Parametric survey*. *Journal of Sound and Vibration* 77(3), pp. 429-435 [https://doi.org/10.1016/S0022-460X(81)80178-2].
- [8] Neves e Sousa, A.; Gibbs, B.M. [2011]: *Low frequency impact sound transmission in dwellings through homogeneous concrete floors and floating floors*. *Applied Acoustics* 72(4), pp. 177-189 [https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.11.006].
- [9] Meier, A.; Schmitz, A. [1999]: *Application of total loss factor measurements for the determination of sound insulation*. *Building Acoustics* 6(2), pp. 71-84 [https://doi.org/10.1260/1351010991501284].
- [10] Späh, M.M.; Gibbs, B.M. [2009]: *Reception plate method for characterisation of structure-borne sound sources in buildings: Assumptions and application*. *Applied Acoustics* 70(2), pp. 361-368 [https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.03.001].
- [11] Brás, L. [2015]: *Análise técnico-económica da reabilitação de edifícios antigos no âmbito das especialidades complementares de Engenharia Civil*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Construção e Reabilitação, IST, Lisboa.



4>

> Figura 3: Modelo estrutural do painel de parede descrito na Figura 2: a) corte vertical; b) vista de topo e face; c) e d) configuração dos modos de vibração natural (1,1) e (2,1), respectivamente.
> Figura 4: Modelo da câmara de transmissão sonora e espectros de redução sonora obtidos para os painéis P16 e P20.