

TRANSMISSÃO DE RUÍDO ESTRUTURAL E VIBRAÇÕES – CASO DE ESTUDO: PISCINA EM COBERTURA DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM LISBOA

PACS: 43.40.Nn, 43.50.Nn, 45.58.Nn

Arana, Iñigo
CDM Stravitec SL, Av. Diagonal 131, 08018 Barcelona, Spain, +34 93 626 40 60,
i.arana@cdm-stravitec.com

Pinto, Paulo
CDM Stravitec, Unipessoal, Lda, Azinhaga da Torre do Fato, 33 B – Esc. A, 1600-774 Lisboa,
Portugal, +351 217 110 430, p.pinto@cdm-stravitec.com

Rodrigues, Marina
CDM Stravitec nv, Reutenbeek 9-11, Overijse 3090, Belgium, +32 2 687 79 07,
m.rodrigues@cdm-stravitec.com

Palavras Chave: piscinas, ruído estrutural, vibrações, conforto.

RESUMO

Devido à escassez de espaço é cada vez mais comum a existência de piscinas em edifícios multiusos e residenciais. A conceção de piscinas localizadas em coberturas apresenta uma série de desafios e os riscos de erros de instalação são consideravelmente maiores. Um desses riscos em particular é a transmissão de ruído estrutural associado à movimentação da água, bem como das instalações mecânicas.

No presente artigo, apresenta-se um caso real de uma piscina instalada na cobertura de um edifício de habitação em Lisboa, inicialmente concebida sem sistema de isolamento. Devido às reclamações dos habitantes deste edifício, foram realizadas medições para caracterizar os níveis de vibrações e ruído gerados pela piscina e identificar os principais caminhos de transmissão. Uma vez que a fonte de ruído não seria facilmente comparável com a excitação gerada por uma máquina de impactos, as medições de vibração e ruído foram efectuadas para uma excitação da água da piscina exercida por pés a “chapinhar” e, extrapolados para níveis de vibração e ruído obtidos com uma utilização intensa da piscina.

Para além de apresentar o método utilizado nas medições, este artigo descreve a solução mitigadora adoptada para obter níveis de vibração e ruído compatíveis com os requisitos de conforto regulamentares.

1. INTRODUÇÃO

Tendo um edifício em Lisboa, uma piscina na cobertura que constituía uma fonte particular de vibração e ruído, causadores de evidente desconforto nas fracções autónomas de habitação do piso inferior, o grupo imobiliário responsável pelo imóvel investiu na realização de um estudo de

vibrações e ruído para avaliação do problema e possível identificação de uma solução. No presente paper, apresenta-se a metodologia adoptada para caracterização dos níveis de vibração e ruído gerados pela utilização da piscina, identificam-se os principais caminhos de transmissão de ruído e vibração, descrevem-se as possíveis medidas mitigadoras visando a obtenção de níveis de vibração e ruído compatíveis com os requisitos de conforto regulamentares e normativos e a solução adoptada e instalada.

2. CAMPANHA DE MEDIÇÕES

Apesar da piscina ser utilizada apenas no período diurno, as medições foram efectuadas nos apartamentos situados no piso imediatamente abaixo da piscina, no período nocturno de forma a caracterizar com maior fiabilidade a vibração e ruído decorrentes da sua utilização. A realização das medições de vibração e ruído durante a noite permitiu reduzir o ruído de fundo presente, incluindo o funcionamento das bombas de recirculação da água da piscina. Para simular saltos para a água, optou-se por “chapinhar” a água da piscina com os pés mas, observando-se uma variação significativa dos níveis de vibração e ruído com a intensidade do movimento dos pés, foi necessário extrapolar os níveis de vibração e ruído obtidos com uma utilização intensa da piscina, considerando, por exemplo, saltos simultâneos para água.

As medições de vibração (aceleração) foram efectuadas nos pontos identificados na figura 1 com a letra V e as medições de ruído (pressão sonora) foram efectuadas nos pontos identificados na mesma figura 1 com a letra R, sempre a cerca de 50 cm de altura e a uma distância de cerca de 50 cm das paredes.

Os pontos de medição foram escolhidos de forma a maximizar a resposta, tendo em conta o comportamento modal de elementos de construção e campos sonoros em baixas frequências. As medições de vibração e ruído foram efectuadas até aos 800 Hz, em banda estreita e em bandas de terços de oitava, tendo sido extraídos valores RMS (Root-Mean-Square) e valores de pico.

Os resultados das medições são aqui comparados com os limites de vibração e ruído em serviço, tendo em conta, não apenas a regulamentação e documentação normativa em vigor, mas também os níveis de vibração e ruído de fundo.

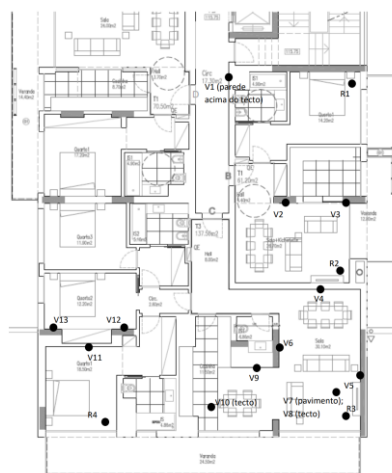


Figura 1 – Localização dos pontos de medição de vibração e ruído.

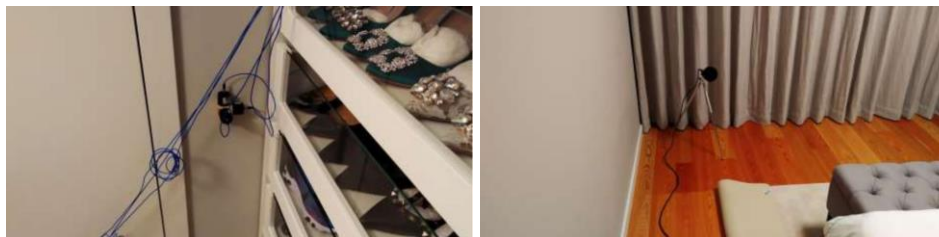


Figura 2 – Exemplo de localização dos acelerómetros (V13) e microfone (R4).

2.1. Análise de Resultados de Medição – Vibrações

Nas figuras 3 a 8 apresentam-se os espectros de aceleração RMS obtidos nas direcções principais (perpendiculares ao plano de medição, i.e., na direcção horizontal em paredes e na direcção vertical em pavimentos e tectos), em bandas de 1/3 de oitava, os quais são comparados com limites definidos, para valores RMS, de acordo com as normas ISO 2631 e BS 6472. Em geral, as magnitudes de vibração registadas em paredes são inferiores ao limite correspondente à ocorrência de queixas, situando-se em torno de 1×10^{-3} a 4×10^{-3} m/s², sendo o ponto V9 o mais crítico. As magnitudes de vibração registadas em tectos e pavimentos são também, em geral, inferiores ao limite correspondente à ocorrência de queixas, situando-se em torno de 2×10^{-3} a 5×10^{-3} m/s², sendo o ponto V8, no tecto da sala, o mais crítico.

Foram efectuadas medições adicionais com uma maior intensidade da agitação provocada na água da piscina, tendo-se obtido magnitudes de vibração RMS em torno de 2×10^{-2} a 3×10^{-2} m/s² (figura 5 -direita), excedendo-se o limite definido para a ausência de queixas devido a vibração.

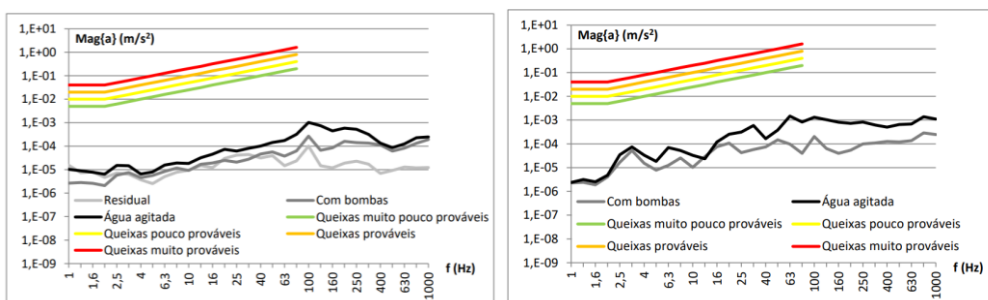


Figura 3 – Espectros de magnitude de aceleração RMS e limites normativos de conforto (segundo x no ponto V1 e segundo y no ponto V4) .

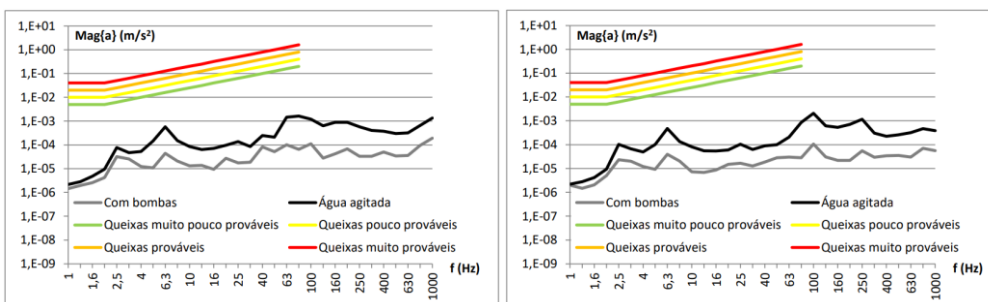


Figura 4 – Espectros de magnitude de aceleração RMS e limites normativos de conforto (segundo x no ponto V5 e segundo x no ponto V6).

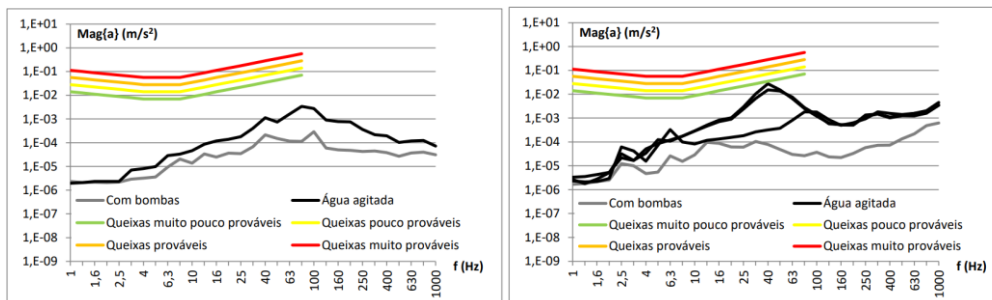


Figura 5 – Espectros de magnitude de aceleração RMS e limites normativos de conforto (segundo z no ponto V7 e segundo z no ponto V8).

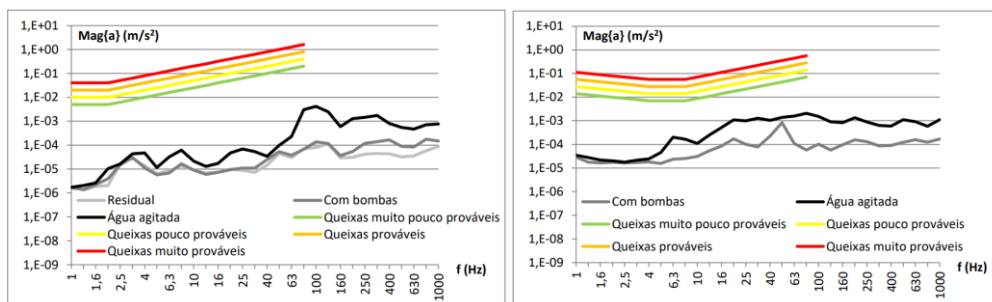


Figura 6 – Espectros de magnitude de aceleração RMS e limites normativos de conforto (segundo y no ponto V9 e segundo z no ponto V10).

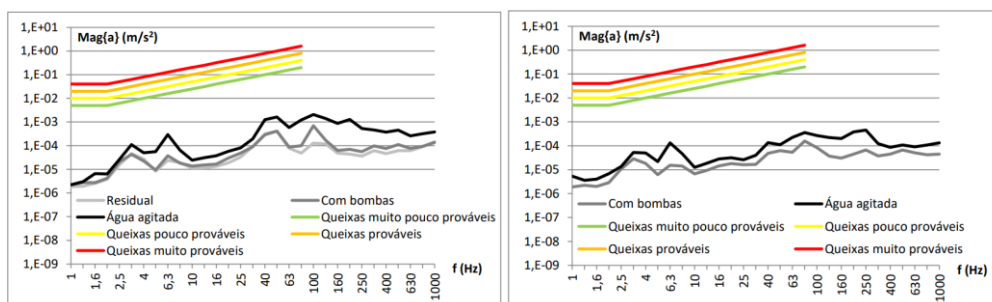


Figura 7 – Espectros de magnitude de aceleração RMS e limites normativos de conforto (segundo y no ponto V11 e segundo y no ponto V12).

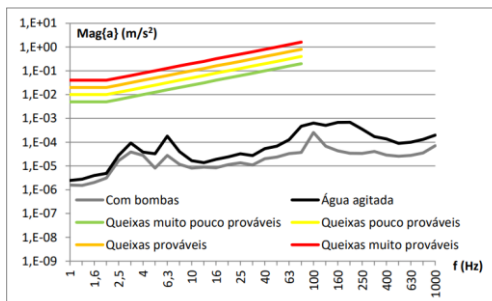


Figura 8 – Espectros de magnitude de aceleração RMS e limites normativos de conforto segundo y no ponto V13.

Tendo em conta que, numa utilização normal, é possível ocorrerem saltos para a água em simultâneo, considera-se que as magnitudes apresentadas na figura 5 (esquerda) poderão ser ainda superiores em cerca de 3 vezes.

Na figura 9 apresenta-se uma estimativa dos espectros máximos de aceleração RMS obtidos, com base na hipótese de saltos simultâneos para a água:

- na direcção vertical nos pontos V7, V8 e V10. Observa-se que os níveis atingidos conduzem a uma elevada probabilidade de queixas por vibração excessiva, em particular nas bandas de frequências entre 20 e 63 Hz, com pico na banda frequências de terços de oitava de 40 Hz. Estima-se que a laje do tecto da sala de estar (V8) apresente 11 modos de vibração abaixo de 70 Hz, dos quais 7 se situam nas bandas de terços de oitava entre 20 e 63 Hz. Para o pavimento da sala de estar (V7), estimam-se apenas 6 modos de vibração abaixo de 70 Hz, dos quais 5 ocorrem nas bandas de terços de oitava de 20 a 63 Hz.
- na direcção horizontal (x e y) nos pontos V4, V5, V9, V12 e V13. Observa-se que os níveis atingidos conduzem a uma probabilidade considerável de queixas por vibração excessiva, em particular nas bandas de frequências entre 31,5 e 50 Hz, com pico na banda de frequências de terços de oitava de 40 Hz. Observa-se também uma elevada transmissibilidade da vibração às paredes de alvenaria de tijolo.

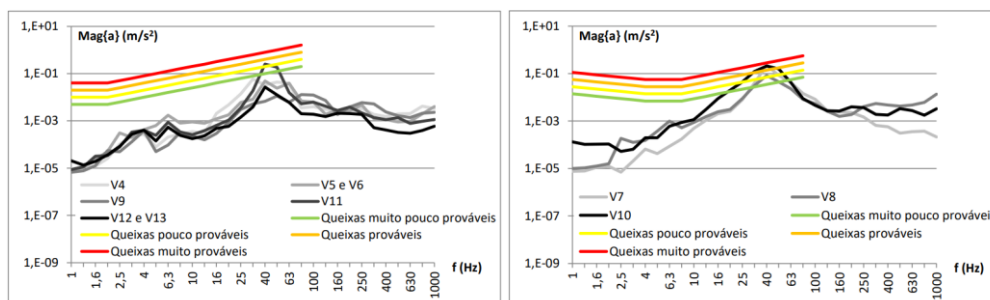


Figura 9 – Espectros de máxima magnitude de aceleração RMS estimada considerando saltos simultâneos para a água, e limites normativos de conforto (segundo z nos pontos V7, V8 e V10, e segundo x e y nos pontos V4, V9 e V11 -paredes de alvenaria e V5, V6, V12 e V13 -paredes e pilares de betão armado).

Na figura 10 (esquerda) são apresentados os níveis resultantes (integração das 3 direcções consideradas), de velocidade de vibração eficaz, $L_v = 20 \log(v_{RMS}/2,54 \times 10^{-8})$ dB. Observa-se que os níveis de velocidade nunca excedem o limite de 65 dB, o qual corresponde ao limiar de percepção de vibração, excepto nas situações correspondentes às medições adicionais no tecto da sala de estar (V8) com a água agitada com maior intensidade, o que confirma as conclusões acima relativas à probabilidade de desconforto. Mais uma vez, considerando o efeito da simultaneidade de saltos para a água, os níveis de vibração agravam-se, tal como se mostra na figura 10 (direita), ultrapassando o limiar de percepção e passando a situar-se entre o limiar de percepção (65 dB) e o nível de 75 dB, onde a vibração é claramente perceptível.

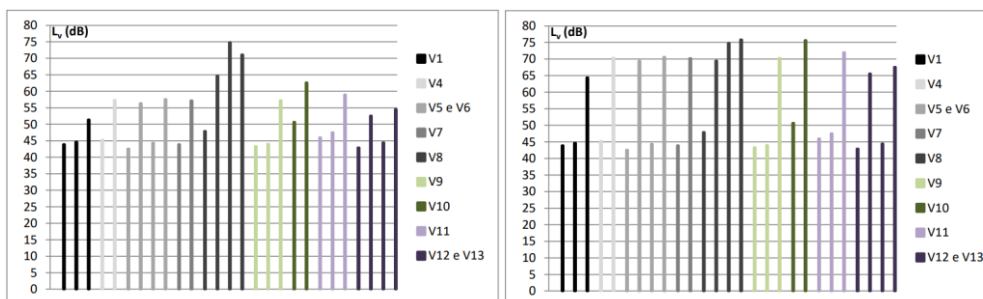


Figura 10 – Níveis resultantes de velocidade de vibração eficaz medidos ($v_{ref} = 2,54 \times 10^{-8}$ m/s). e estimados considerando saltos simultâneos para a água.

Na figura 11 (direita) são apresentadas os valores de pico das velocidades de vibração resultantes da integração das 3 direcções consideradas. Observa-se que as velocidades de pico nunca excedem o limite de 0,15 mm/s, o qual corresponde à ausência de sensação de vibração pelos ocupantes, excepto nas situações correspondentes às medições adicionais no tecto da sala de estar (V8) com a água agitada a maior intensidade, o que, mais uma vez, confirma as conclusões acima relativas à probabilidade de desconforto. Nestas situações, a velocidade de pico excede 0,40 mm/s, o que corresponde a vibrações nítidas e incómodas. A consideração de saltos simultâneos para a água (figura 11-esquerda) agrava a situação, conduzindo a valores de velocidade de pico entre 0,15 e 0,40 mm/s (vibração perceptível mas suportável para pequenas durações), nos pontos V4 a V6 e V11 a V13 (pilares e paredes) e a valores entre 0,40 e 0,80 mm/s (vibração nítida e incómoda) nos pontos V7, V8, V9 e V10 (tectos, pavimentos e parede sala de jantar).

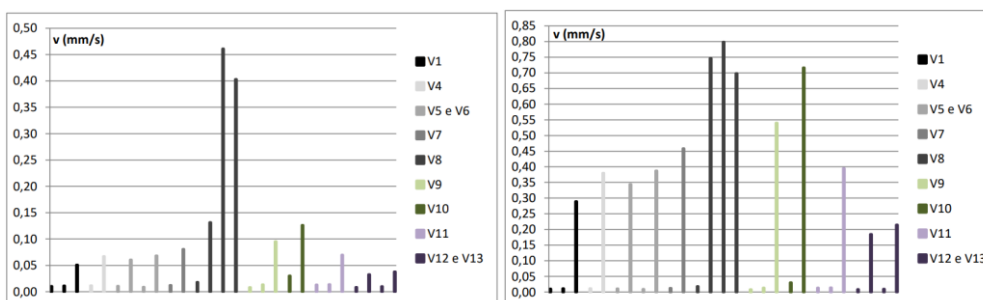


Figura 11 – Velocidades resultantes de vibração de pico medidas. e estimados considerando saltos simultâneos para a água.

2.2. Análise de Resultados de Medição – Ruído

Dada a ausência de curvas normalizadas que definam o conceito de conforto em baixas frequências, os espectros dos níveis sonoros obtidos na campanha de medições foram comparados com limites de conforto propostos por Broner (curvas LFRC-25 e LFRC-30) e Inukai e também com as curvas isofónicas correspondentes ao limiar de audibilidade (0 fone) e a 10, 20 e 30 fone, bem como a curva NR-30.

A figura 12 mostra os espectros do nível sonoro contínuo equivalente medidos, em bandas de terços de oitava, na sala de estar e no quarto 1 da fracção (microfones R3 e R4) e a sua comparação com os limites de conforto acima identificados. Em geral, a curva LFRC-30, correspondente à curva NR-30 corrigida nas baixas frequências, não é excedida. No entanto, na situação em que foi aumentada a intensidade de agitação da água da piscina, foram registados,

em R3, níveis sonoros que excedem todos os limites de conforto considerados entre as bandas de frequências de terços de oitava de 25 e 200 Hz.

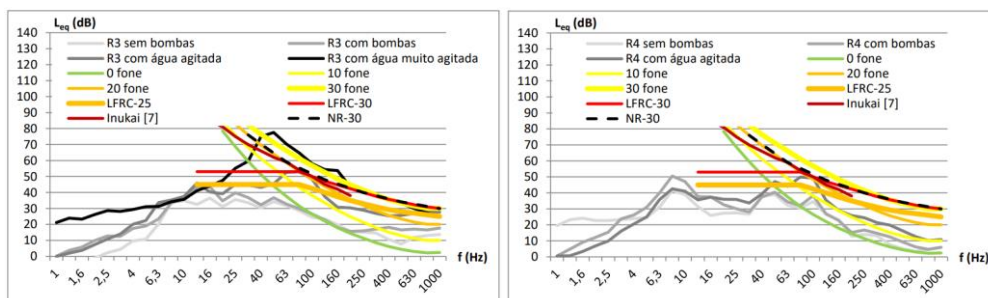


Figura 12 – Níveis sonoros medidos em R3 (sala de estar) e em R4 (quarto 1) e limites de conforto.

A figura 13 mostra os espectros do nível sonoro contínuo equivalente estimado, em bandas de terços de oitava, nos mesmos pontos considerando a ocorrência de saltos simultâneos para a água. A comparação com os limites de conforto acima identificados confirma que os níveis sonoros de conforto são excedidos a partir da banda de frequências de terços de oitava de 25 Hz, atingindo um máximo de 84 dB para 50 Hz.

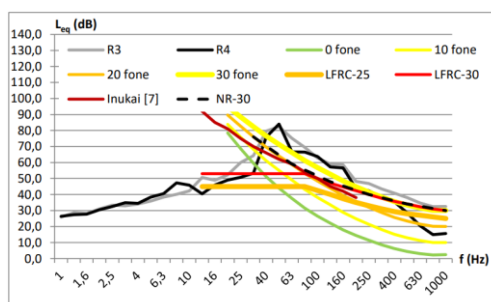


Figura 13 – Níveis sonoros estimados em R3 (sala de estar) e R4 (quarto 1) considerando saltos simultâneos para a água e limites de conforto.

A análise do comportamento modal dos espaços estudados indica que é provável a ocorrência de ampliações sonoras por acoplamento modal entre o campo sonoro dos compartimentos e o campo vibratório dos elementos de construção.

Na figura 14 (esquerda) apresentam-se também os níveis sonoros contínuos equivalentes ponderados A medidos na sala de estar e no quarto 1 (microfones R3 e R4). Em geral, o nível sonoro $L_{A,eq}$ não excede 35 dB(A), o que corresponde a um nível sonoro aceitável e que vem confirmar as conclusões acima. No entanto, tal como salientado acima, na situação em que foi aumentada a intensidade de agitação da água da piscina, foram registados, em R3, níveis sonoros $L_{A,eq}$ de 51 dB(A), o que é claramente incómodo, confirmando também as conclusões acima.

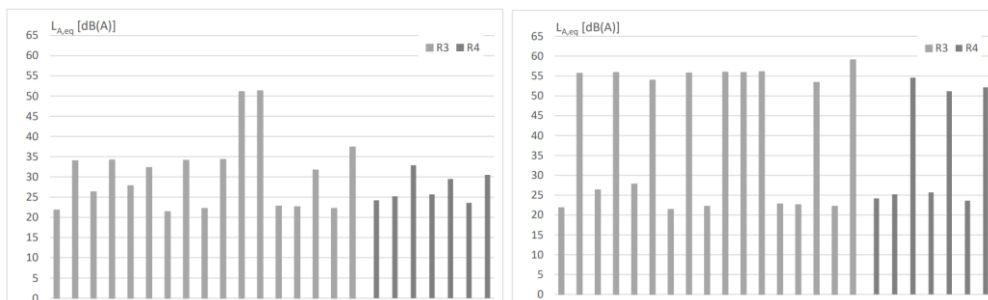


Figura 14 – Níveis sonoros contínuos equivalentes ponderados A em R3 e R4. medidos e estimados (considerando saltos simultâneos para a água), e limites de conforto.

3. Medidas de Mitigação

A utilização da piscina conduz a níveis de vibração dos elementos de construção passíveis de gerar desconforto dos ocupantes das fracções de habitação do piso inferior, obtendo-se, em geral, níveis de vibração mais críticos em lajes do que em paredes. Mesmo assim, a elevada transmissão de vibração às paredes não estruturais, de alvenaria de tijolo, complementada pela maior flexibilidade destes elementos de construção relativamente à dos elementos estruturais, contribui para a criação de campos de vibração significativos em paredes, os quais são sentidos pelos ocupantes.

De modo a conter a vibração dos elementos de construção estruturais e não estruturais abaixo dos limites de percepção, pela utilização da piscina, seria necessário reduzir a vibração gerada, nas bandas de frequências de terços de oitava de 20 a 63 Hz em pelo menos 10 dB.

Por outro lado, verificou-se que a utilização da piscina conduz também a níveis sonoros passíveis de gerar desconforto dos ocupantes das fracções de habitação do piso inferior, obtendo-se, em geral, níveis sonoros que excedem os limites de conforto em cerca de 30 dB, com energia acústica concentrada entre as bandas de frequências de terços de oitava de 25 e 200 Hz, e, em particular, na banda de 50 Hz.

Para conter o nível sonoro no interior dos compartimentos das habitações abaixo dos limites de percepção, seria necessário reduzir os níveis sonoros gerados, nessas bandas de frequências, em 30 dB, o que poderia ser conseguido com sistemas de dissipação de energia de vibração com frequência própria de 5 Hz combinados com sistemas de isolamento acústico (incluindo tectos falsos e paredes falsas, bem como novo pavimento sobre-elevado) Contudo, estas medidas, correspondentes a um sistema de isolamento do tipo box-in-box (figura 15 -esquerda), teriam de ser aplicadas em toda a extensão dos apartamentos sob a piscina, não sendo, portanto, compatível com a necessidade de manter a arquitectura existente (dimensões dos compartimentos e compatibilização com vãos existentes), nem com o facto desses apartamentos se encontrarem já acabados e ocupados.

Assim, a solução de mitigação dos níveis de vibração e ruído tem de ser aplicada na fonte, ou seja, na piscina. A solução passa pela execução de uma nova piscina no interior da existente, totalmente separada, suportada ao nível da base, por blocos elastoméricos de isolamento (figura 15 -direita), dimensionados para uma frequência própria de vibração de 5-7 Hz, e, desligada ao nível das paredes, por sistemas do isolamento contínuo, tipo manta em borracha.

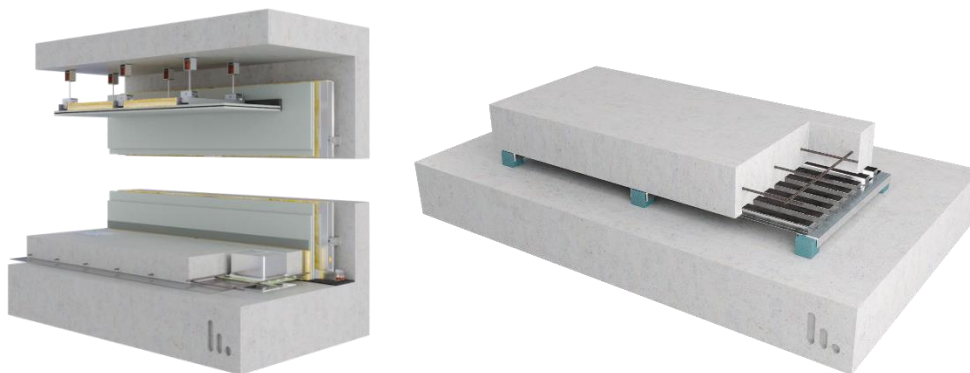


Figura 15 – Sistema de isolamento tipo box-in-boxe de pavimento com suportes discretos em blocos elastoméricos – Stravifloor Deck.

3.1. Solução Adoptada

A solução adoptada para desacoplamento da base da piscina, Stravifloor Deck, é um sistema de laje flutuante que recorre a uma cofragem colaborante metálica com uma geometria específica o que permite (1) reduzir o peso próprio da laje flutuante e (2) aumentar a sua rigidez à flexão.

Este sistema utiliza apoios resilientes à base de borracha natural, resistentes ao bolor e à humidade, bem como cofragem resistente à humidade, leve, sendo fácil de manusear e contribuindo para a rapidez de instalação desejada no caso em questão. A solução adoptada para desacoplamento das paredes da piscina, Stravibase Lateral, é uma solução de isolamento contínuo em manta resiliente de reduzida espessura.

O design da solução adoptada toma em consideração, não só o nível de isolamento necessário – descrito acima – e por conseguinte a frequência natural do sistema, mas também as cargas impostas (cargas verticais, horizontais e variáveis), a fluência máxima admissível para evitar problemas com tubagens e níveis do pavimento e para assegurar um desempenho a longo prazo, a deflexão diferencial máxima admissível (entre piscina vazia e piscina cheia) e a compatibilidade da solução com os outros sistemas, como o de impermeabilização e drenagem visíveis na figura 17.



Figura 17 – (Esquerda) Instalação dos sistemas Stravifloor Deck e Stravibase Lateral. (Centro) Betonagem da laje flutuante. (Direita) Pormenor de isolamento de infraestrutura de apoio ao funcionamento da piscina.

4. CONCLUSÕES

A utilização da piscina não isolada do caso de estudo aqui apresentado, conduz a níveis de vibração e ruído claramente excessivos e causadores de incómodo aos ocupantes das fracções dos pisos inferiores. A redução dos níveis de vibração e ruído para valores compatíveis com o conforto dos ocupantes poderia ser conseguido através da introdução de sistemas de isolamento do tipo box-in-box em toda a extensão dos apartamentos sob a piscina mas tal solução não é normalmente exequível considerando a incompatibilidade com o espaço disponível e a arquitectura existente dos apartamentos. Assim, a solução de mitigação dos níveis de vibração e ruído passou pela execução de uma nova piscina no interior da existente, totalmente isolada da estrutura base, ao nível da laje de fundo e paredes. A intervenção foi levada a cabo em Julho de 2022 sem registo até ao momento de qualquer reclamação por parte dos moradores dos apartamentos sob a piscina. Novas medições serão realizadas a curto prazo para registo dos valores de isolamento alcançados.

REFERENCIAS

British Standards Institution (1992): *BS 6472 – Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*, Londres, Reino Unido

Broner, N. (1994): *Low frequency sound quality and HVAC systems*, Inter-Noise 94, pp. 1101 – 1104, Yokohama, Japão

International Organization for Standardisation (1971): *ISO/R 1996 – Assessment of noise with respect to community response*, Genebra, Suíça

International Organization for Standardisation (1978): *ISO 2631 – Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration*, Genebra, Suíça

International Organization for Standardisation (2003): *ISO 226 – Acoustics: Normal equal-loudness-level contours*, Genebra, Suíça

Inukai, Y.; Nakamura, N.; Taya, H. (2000): *Unpleasantness and acceptable limits of low frequency sound*, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 19 (3), pp. 135 – 140

Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional: *Decreto-Lei n.º 9/2007 – Regulamento Geral do Ruído, Diário da República, 1ª série, n.º 12, 17 de Janeiro de 2007*

Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional: *Decreto-Lei n.º 96/2008 – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Diário da República, 1ª série, n.º 110, 9 de Junho de 2008*

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

Neves e Sousa, A.; Guerreiro, L.; Gomes, R. (2008): *A combined approach for base isolation design*, Acoustics 2008, pp. 2265 - 2670, Paris, França

U.S. Department of Transportation – Federal Railroad Administration (1998): *High-speed ground transportation noise and vibration impact assessment*, Washington, E.U.A.

Neves e Sousa, A; (2019) Relatório FUNDEC (PS n.º 72/2019) e CERIS (EP n.º 69/2019): *Vibração e ruído devido a piscina de cobertura em edifício sito em Lisboa*