



# AVALIAÇÃO E CONTROLO DE RUÍDO E VIBRAÇÕES PRODUZIDO POR ESTAÇÃO ELEVATÓRIA - ESTUDO DE CASO

Diogo Mateus<sup>1</sup>, Andreia Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ISISE, Department of Civil Engineering, University of Coimbra, Coimbra, Portugal  
{diogo@dec.uc.pt; apereira@dec.uc.pt}

## Resumo

O aumento generalizado das emissões de ruído e de vibrações ambientais na proximidade de locais de ocupação sensível, tem vindo a contribuir para a degradação das condições de saúde e bem-estar das populações e para o conseqüente crescimento do número de reclamações na área da acústica ambiental. No caso específico de equipamentos de baixa rotação, muitas vezes, rigidamente ligados aos edifícios onde ficam inseridos, a transmissão de vibrações é geralmente muito relevante para o aumento dos níveis de ruído, em particular com componente espectral de baixa frequência. A resolução de problemas a este nível passa, muitas vezes, não só pelas vertentes da correção acústica interior e do reforço de isolamento a sons aéreos, mas também pelo condicionamento vibrátil. No presente artigo é apresentado um caso de estudo, onde, apesar da elevada distância entre a fonte de ruído e os recetores sensíveis, a atuação sobre esta via de transmissão estrutural foi determinante. Trata-se de uma estação elevatória de grande envergadura, onde, para além das emissões de ruído e vibrações das bombas, as próprias condutas de circulação de água no exterior conduziam a uma forte emissão de vibrações e ruído.

**Palavras-chave:** estação elevatória, ligações rígidas, ruído, vibrações.

## Abstract

The general increase of environmental noise sources in the vicinity of sensible places has been increasing, contributing to a reduction in health conditions and wellbeing of populations and providing a consequent growth in the complains about noise exposure. In the specific case of equipments providing low rotation, where the connection to the buildings is very often performed in a rigid way, the transmission of vibrations is usually significant, providing an increase in noise levels, in particular in the low frequency range. In order to solve these problems it is necessary to provide solutions that require absorption treatment inside spaces, airborne sound insulation and vibration attenuation. In this paper a case study is discussed, where, although a large distance between the source and sensible receivers is found, the vibration attenuation was fundamental to reduce noise. The noise is provided by a lift station of great dimension, where the emissions of noise and vibration from pumps and water transport ducts situated outside were generating strong noise and vibration levels.

**Keywords:** lift station, rigid connections, noise, vibrations.

**PACS no. 43.50.Jh**

## 1 Introdução

O presente estudo resulta de um trabalho de consultadoria realizado numa estação elevatória do sistema de abastecimento municipal de água, situada no interior de um centro urbano, na zona centro de Portugal, na qual já tinham sido implementadas sucessivas medidas de melhoria nos últimos cinco anos, mas com resultados insuficientes, na minimização do impacte sonoro sobre os vizinhos mais próximos (habitações). Esta estação elevatória abastece dois reservatórios distintos e é constituída por quatro bombas semelhantes, com duas bombas em funcionamento alternado por circuito. Estas bombas encontram-se no interior de um edifício, rigidamente ligadas à laje de pavimento, e as condutas de abastecimento dos reservatórios apresentam um troço inicial a jusante das bombas com cerca de 25 m de comprimento no exterior, a “céu aberto”, sendo o restante traçado enterrado (ver Figura 1).

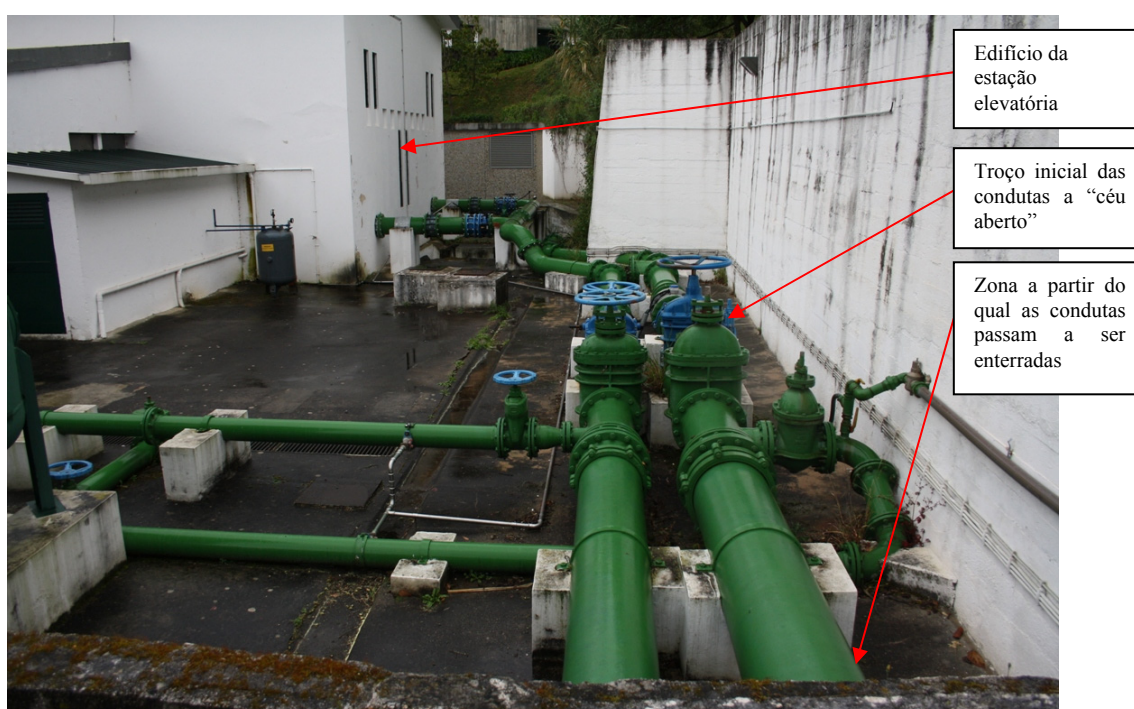


Figura 1 – Imagem ilustrativa da estação elevatória em estudo (zono exterior de saída das condutas de abastecimento, no exterior, a jusante das bombas).

Na envolvente desta estação elevatória, num raio de 50 m, existem diversos edifícios habitacionais multifamiliares, de onde resultaram nos últimos anos várias reclamações de incomodidade sonora [1]. Antes da intervenção aqui em estudo foram implementadas algumas melhorias, nomeadamente o aumento de absorção sonora no interior do edifício, junto às bombas, e a aplicação de atenuadores sonoros em todas as aberturas de ventilação do edifício. Estas medidas permitiram reduzir substancialmente o número de reclamações, mas, ainda continuaram a existir algumas reclamações, em particular, durante o período noturno, num dos edifícios mais próximos da estação elevatória. Através de uma avaliação prévia realizada no local, verificou-se que para baixas frequências os níveis de ruído no exterior, na zona de arranque das condutas de abastecimento, chegavam a ser superiores aos existentes no interior da estação elevatória, junto das bombas. Também foi possível constatar que a vibração nos maciços de amarração das condutas era bastante significativa, estendendo-se também ao piso exterior em betão, em particular na zona mais próxima da estação. Ou seja, para baixas frequências, em particular na banda de 1/3 de oitava de 160 Hz, o ruído no exterior tinha origem

sobretudo no próprio traçado da rede de condutas, que funcionavam como fonte emissora, e não no interior da estação elevatória. Com base nesta avaliação prévia, foi efetuada uma caracterização mais detalhada, quer dos níveis de ruído, quer das velocidades de vibração dos elementos construtivos da estação elevatória e das próprias condutas de abastecimento. Esta caracterização serviu como base ao estudo de soluções construtivas para minimização dos níveis de ruído transmitidos para o exterior. Nas próximas secções deste trabalho é apresentada uma síntese do estudo realizado nesta estação elevatória, desde a caracterização inicial, passando pelo estudo de soluções construtivas para controlo de ruído e de vibrações e finalizando com um resumo dos resultados obtidos após implementação destas soluções.

## 2 Caracterização da Situação Inicial

Tal como referido anteriormente, antes da intervenção objeto de estudo neste trabalho, foram implementadas algumas medidas de melhoria no interior e aberturas de ventilação da estação elevatória, o que permitiu minimizar a emissão de ruído para o exterior, mas que não foi suficiente para cessar completamente as reclamações de incomodidade sonora [1]. Verificou-se que a emissão de ruído, sobretudo em baixa frequência, tinha um forte contributo do próprio traçado da rede de condutas de abastecimento, a jusante das bombas, no exterior. Deste modo, considerou-se fundamental a caracterização detalhada das condições de isolamento da estação elevatória e da emissão de ruído e vibrações decorrentes da circulação de água nas condutas, que permitisse estudar possíveis soluções de minimização de ruído. Para o efeito, foram efetuadas medições acústicas de três tipos: avaliação de isolamento a sons aéreos entre o interior e o exterior do edifício da estação elevatória; avaliação dos níveis de ruído no interior, no exterior e na vizinhança do traçado das condutas de abastecimento em espaço aberto; e avaliação das velocidades de vibração junto das bombas, no edifício e ao longo do traçado de condutas em espaço aberto.

Na Figura 2 são apresentados, de forma esquemática os principais pontos de medição utilizados. Os pontos com a inicial “V” correspondem a pontos de medição de vibrações, sendo os com a indicação “Vo...” correspondentes às bombas e traçado do abastecimento do reservatório aparentemente mais desfavorável (localizado a uma cota substancialmente mais elevada), os “Vc...” correspondentes às bombas e traçado do abastecimento do segundo reservatório. No traçado exterior de condutas, para cada ponto indicado na Figura 2, foram considerados dois locais de medição: no maciço de amarração em betão e na própria conduta de abastecimento (conduta metálica). Os pontos com a inicial “R” correspondem a pontos de medição de ruído, resultante de três fontes específicas de ruído (colocadas a funcionar individualmente): uma das bombas de abastecimento do reservatório aparentemente mais desfavorável; uma das bombas de abastecimento do segundo reservatório; e uma fonte de ruído de teste (abreviada por “DO12”), que corresponde a uma fonte omnidirecional dodecaédrica.

O equipamento utilizado foi o seguinte: analisador portátil, modelo “Symphonie - 01dB-Stell”, ligado a um PC portátil (incluindo acessórios e software); um microfone de 1/2" com Préamplificador (modelos 40AF e 26AK, da marca GRAS); e dois acelerómetros da marca PCB Piezotronics, modelo 352B (Sensibilidade: 973 mV/g e 1035 mV/g; 2 - 10000 Hz; 11.2 V e 11.3); e um sonómetro, modelo “Solo Premium – 01dB-Stell”, com um microfone de 1/2" e um Préamplificador (modelos MCE212 e PRE21S, da marca 01dB-Stell).

Nas Figuras seguintes são apresentados de forma gráfica alguns dos resultados mais relevantes das medições de ruído e vibrações. Para além destes resultados foram obtidos e analisados muitos outros, mas dado o elevado número, optou-se por apresentar apenas os considerados mais relevantes. Na Figura 3 são apresentados os níveis de ruído (em dB(A)) registados no interior e no exterior (neste caso em apenas 2 pontos), originados pelo funcionamento, separado, da bomba da conduta mais desfavorável (designada a seguir de “Conduta Principal”) e da segunda conduta (designada a seguir de “Conduta Secundária”).

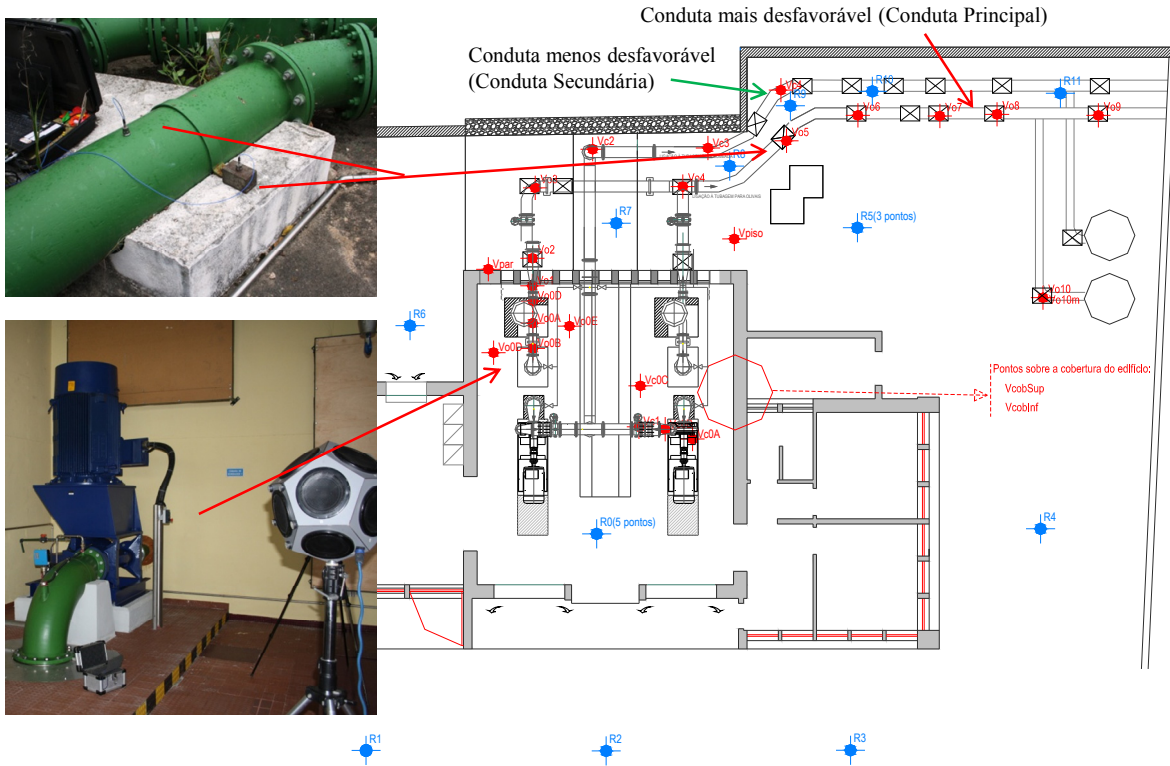


Figura 2 – Localização dos pontos de medição de ruído e de vibrações no interior e no exterior do edifício da Estação Elevatória.

Na Figura 4 é apresentado o mesmo tipo de informação, mas para os pontos R7 a R11, ao longo do traçado da Conduta Principal. Na Figura 5 são apresentadas as reduções entre os níveis de ruído registados no interior e no exterior, no ponto R5, para os três tipos de fontes sonoras avaliadas (“Bomba da Conduta Principal”; “Bomba da Conduta Secundária”; e fonte de ruído aérea “DO12”).

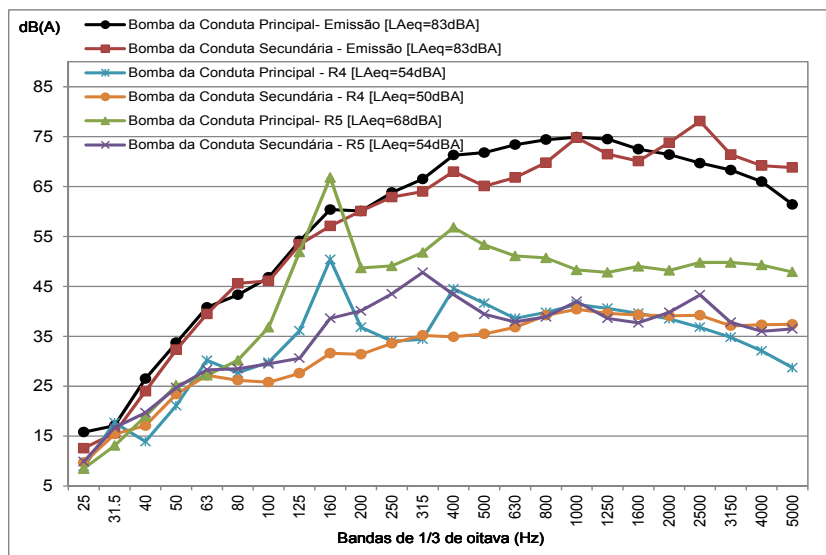


Figura 3 – Níveis de ruído [em dB(A)] registados no interior e no exterior (pontos R4 e R5), devido ao funcionamento, separadamente, das bombas da Conduta Principal e da Conduta Secundária.

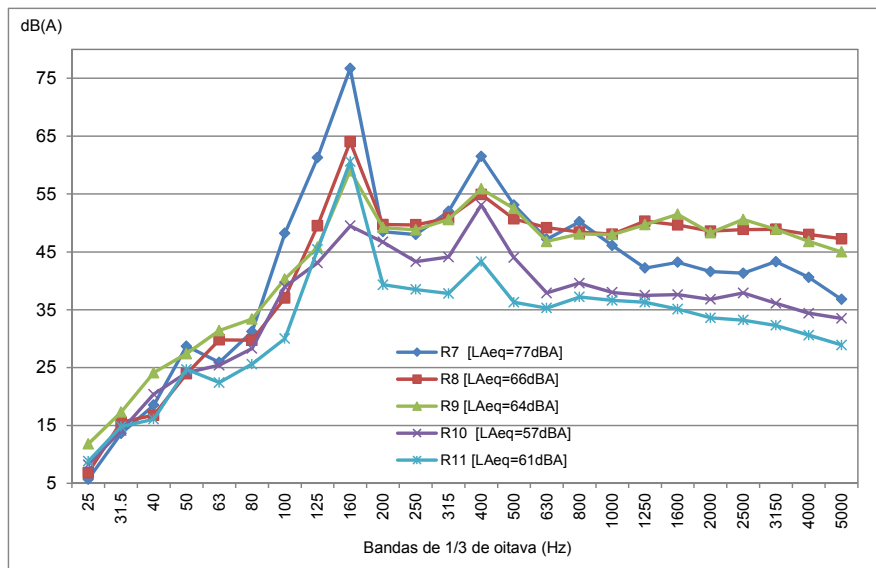


Figura 4 – Níveis de ruído [em dB(A)] registados no exterior (pontos R7 a R11), devido ao funcionamento da bomba da Conduta Principal.

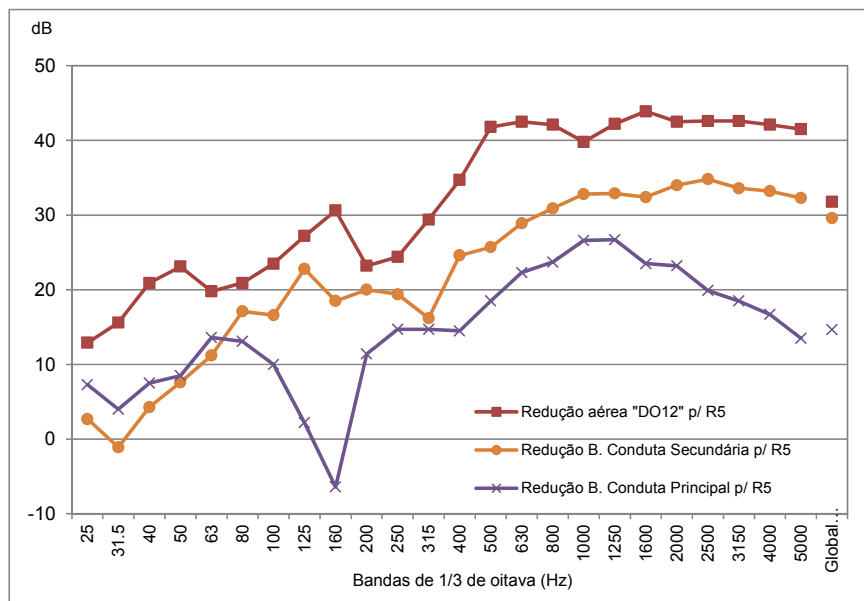


Figura 5 – Diferença entre os níveis de ruído no interior da estação e no exterior, no ponto R5, devido ao funcionamento separado das bombas da Conduta Principal e da Conduta Secundária e da fonte de ruído aérea “DO12”.

Na Figuras 6 são apresentadas as velocidades de vibração (em mm/s) nas Bombas da Conduta Principal e da Conduta Secundária e no arranque das respetivas condutas (a jusante). Na Figura 7 é apresentado o mesmo tipo de resultado, mas agora para um ponto no piso exterior (ponto Vpiso) e sensivelmente a meio do traçado em espaço aberto de cada uma das condutas, devido ao funcionamento separado das respetivas bombas de abastecimento.

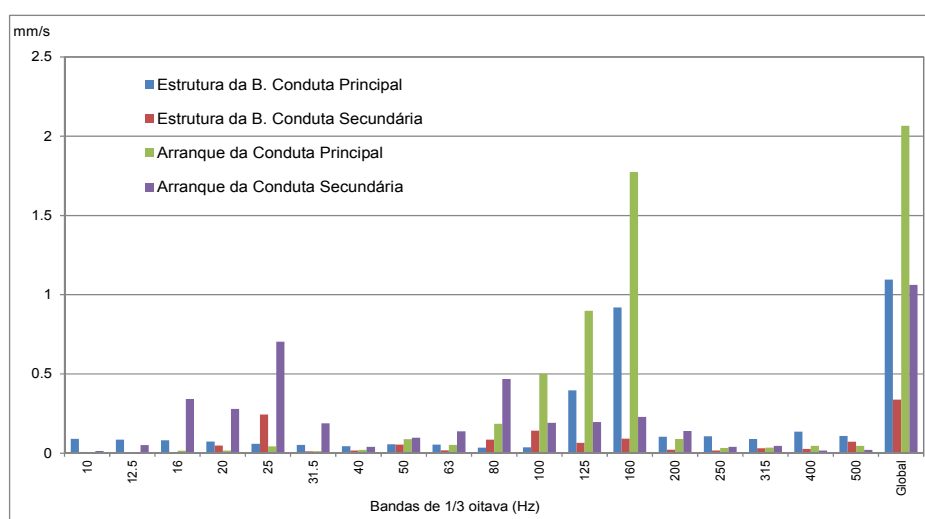


Figura 6 – Velocidades de vibração (em mm/s) nas Bombas da Conduta Principal e da Conduta Secundária e no arranque das respetivas condutas (a jusante).

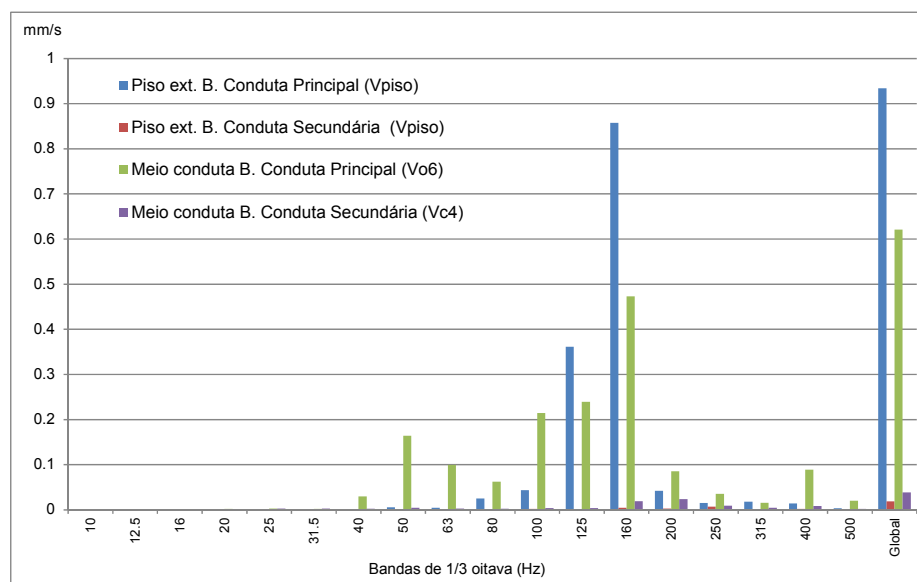


Figura 7 – Velocidades de vibração (em mm/s) no exterior, no piso (ponto Vpiso) e sensivelmente a meio do traçado da conduta em espaço aberto, devido ao funcionamento separado das Bombas da Conduta Principal e da Conduta Secundária.

Da análise das Figuras 3 a 5 verifica-se que a transmissão de ruído para o exterior ocorre sobretudo por via estrutural. Por exemplo, no ponto R5, tal como se verificava também noutros pontos da zona posterior da estação elevatória, o isolamento global correspondente ao funcionamento da Bomba da Conduta Principal é substancialmente inferior ao da Bomba da Conduta Secundária e, em particular, ao da fonte “DO12”, que tem apenas componente de transmissão por via aérea (neste caso para uma emissão de espectro rico em baixas frequências). Neste ponto R5 o isolamento global (bruto) foi próximo de 26, 24 e 15 dB, respetivamente para as fontes “DO12”, Bomba da Conduta Secundária e Bomba da Conduta Principal. Com a Bomba da Conduta Principal em funcionamento, verifica-se mesmo um nível de ruído no exterior, na banda de 160 Hz, superior ao verificado no interior do edifício, junto às bombas, o que indicia que uma parte desta componente é mesmo gerada no exterior,

por vibração das condutas e elementos construtivos adjacentes e possivelmente também por efeito de ressonância entre o edifício da estação elevatória e o muro de suporte de terras existente.

Da análise das Figuras 6 e 7 é possível verificar que a vibração é também muito mais acentuada com o funcionamento da bomba da Conduto Principal, o que revela que esta vibração tem origem sobretudo na componente de transmissão estrutural (os níveis de ruído na emissão são idênticos para as duas bombas e no exterior substancialmente diferentes). Quando se considera como recetor o piso no exterior do edifício, na zona da saída das condutas, as diferenças de vibração originadas pelas duas bombas, são ainda mais evidentes. Situação análoga ocorre quando se compara a vibração sensivelmente a meio do traçado das duas condutas em espaço aberto.

### 3 Soluções propostas

Face aos resultados da avaliação apresentada no ponto anterior, a minimização da transmissão de ruído e vibrações poderia passar genericamente pelas seguintes medidas: redução das velocidades de circulação de água nas condutas, eventualmente através de uma redução de caudal ou de um aumento de diâmetro das condutas na zona descoberta (a partir das bombas); diminuição das descontinuidades, eventualmente através da criação de novos traçados com curvas menos acentuadas; recolocação das bombas sobre maciços de inércia flutuantes (antivibratórios); e aplicação de mangas antivibratórias na ligação das bombas às condutas, quer do lado jusante, quer a montante.

Uma vez que algumas destas medidas/soluções eram muito difíceis de concretizar, em particular a recolocação das bombas sobre maciços de inércia flutuantes e a aplicação de mangas na ligação às condutas, com flexibilidade elevada, e como se pretendia uma solução que interferisse o menos possível com o normal funcionamento da estação elevatória, a solução escolhida passou pela proteção acústica dos elementos e superfícies de maior radiação sonora, como são as condutas em espaço exterior aberto e o piso e suportes das condutas (maciços de betão). A solução proposta passou genericamente pela “capotagem” de todo o traçado exterior de condutas, em espaço aberto, através de duplos painéis sanduíche com elevado isolamento sonoro e com uma elevada absorção sonora pelo lado interior (ver Figuras 8 e 9). Para além da elevada exigência de desempenho acústico dos painéis a aplicar, toda a estrutura de suporte destes painéis foi rigidamente desligada do piso de suporte, do edifício e do muro adjacente, de forma a que a transmissão de vibrações para esta “capotagem” fosse desprezável [2,3,4].



Figura 8 – Vista exterior e interior da “capotagem” aplicada nas condutas de abastecimento (a jusante das bombas e anteriormente no exterior).

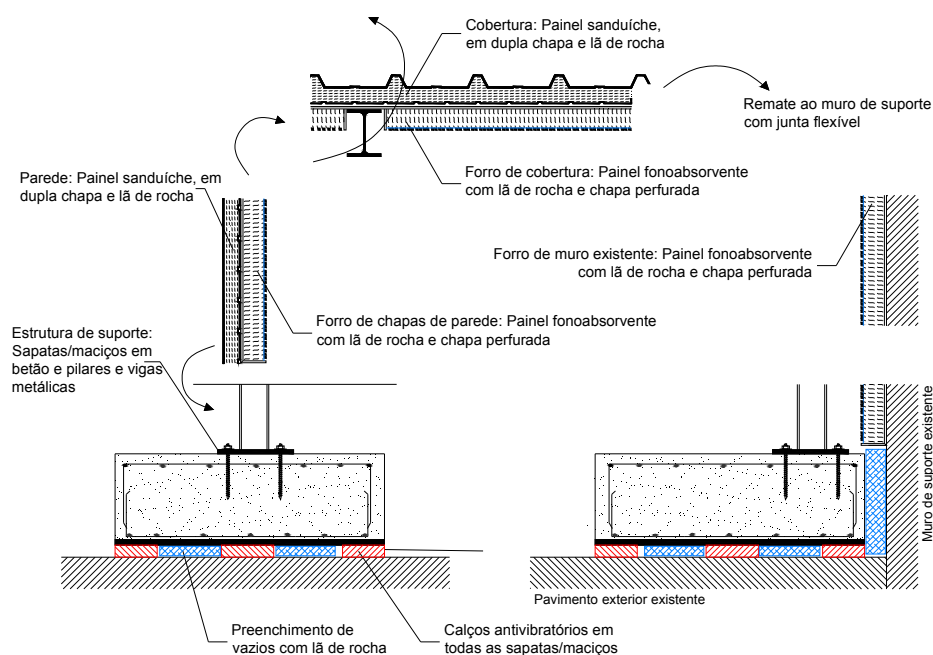


Figura 9 – Corte esquemático com as soluções construtivas propostas para a “capotagem” aplicada.

#### 4 Avaliação acústica final

Após a concretização das soluções propostas foram efetuadas novas medições acústicas, repetindo os pontos principais de medição, quer de ruído, quer de vibrações, com o funcionamento das bombas de abastecimento. Nos parágrafos seguintes são apresentados alguns dos resultados considerados mais relevantes.

Na Figura 10 são apresentadas as reduções nos níveis de vibração vertical, em dB, entre o ponto V<sub>piso</sub> (no pavimento, anteriormente no exterior e agora no interior da “capotagem”) e as duas sapatas mais próximas (sapatas de suporte da “capotagem” 1 e 3, assentes sobre calços antivibratórios), com ambas as bombas em funcionamento simultâneo. Na Figura 11 são apresentados os níveis de ruído [em dB(A)] registados no ponto R5 (no exterior, na zona mais desfavorável), antes e depois das obras, devido ao funcionamento simultâneo das duas bombas de abastecimento, e a respetiva atenuação verificada. No interior da “capotagem”, na zona anteriormente mais ruidosa, foi também medido o tempo de reverberação, tendo-se obtido um tempo de reverberação bastante baixo em toda a gama audível, com um valor médio, entre as bandas de oitava de 250 e 4000 Hz, ligeiramente inferior a 0,3s. Da análise das Figuras 10 e 11 é possível verificar uma redução substancial dos níveis de ruído e de vibrações, transmitidos para o exterior, em particular para frequências acima de 100 Hz (abrangendo a gama de frequências anteriormente mais problemática).

Para além dos pontos próximos da estação elevatória, anteriormente referidos, foram também efetuadas medições de ruído ambiente junto dos limites de propriedade do terreno da estação elevatória, do lado do edifício de habitação aparentemente mais desfavorável, tendo-se verificado um redução no valor global de LA<sub>eq</sub>, após a execução das soluções propostas, bastante significativa. Antes das obras, no período noturno, tinha sido registado um valor de LA<sub>eq</sub> próximo de 50 dB(A), com o funcionamento das bombas, e um valor residual (com as bombas desligadas) próximo de 43 dB(A). Após a execução das soluções propostas o valor de LA<sub>eq</sub> com as bombas em funcionamento



baixou para valores próximos do valor de LAeq residual, sendo desprezável o acréscimo nos níveis de ruído.

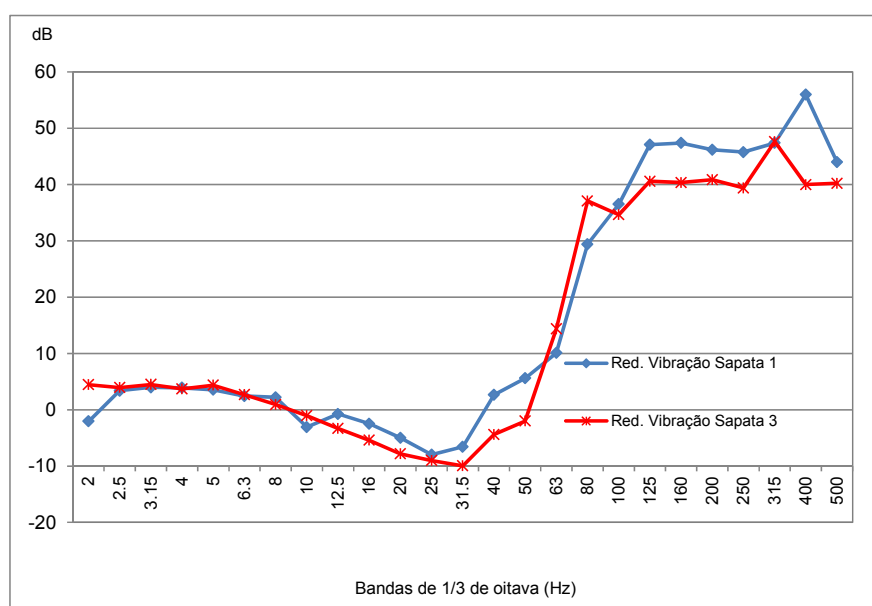


Figura 10 – Reduções nos níveis de vibração vertical, em dB, entre o ponto Vpiso e as duas sapatas mais próximas (sapatas 1 e 3).

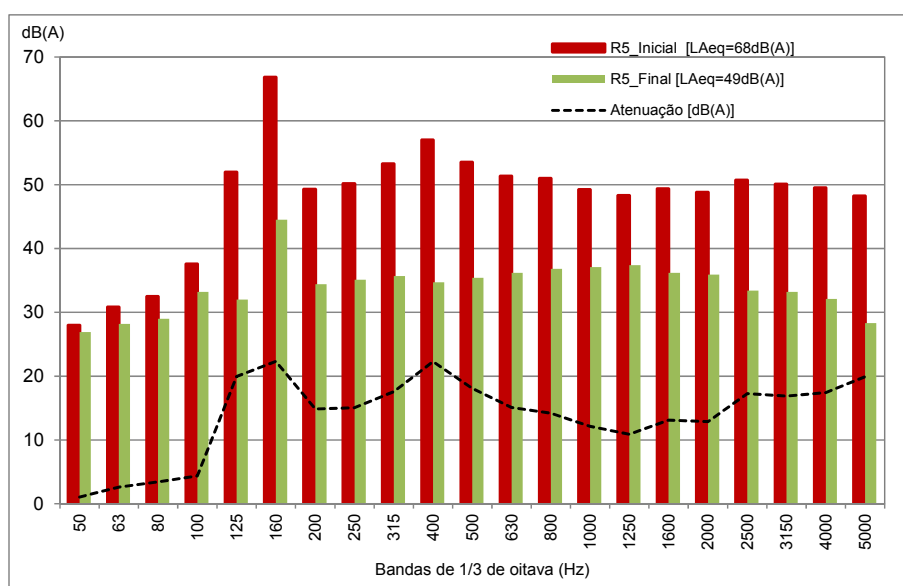


Figura 11 – Níveis de ruído [em dB(A)] registados no ponto R5, antes e depois das obras, devido ao funcionamento simultâneo das duas bombas de abastecimento, e o respetiva diferença (atenuação).



## 5 Conclusões

Neste trabalho foi analisado um caso de estudo referente à incomodidade produzida por uma estação elevatória, sobre as habitações vizinhas. Verificou-se que a principal fonte de ruído correspondia ao funcionamento de uma das bombas (designada neste trabalho por Bomba da Conduta Principal), sendo desprezável a contribuição do segundo sistema de bombagem. A via de transmissão principal de ruído para o exterior era estrutural e as próprias condutas metálicas, amarradas a maciços assentes no pavimento exterior, funcionavam como emissores, em particular para baixas frequências, mais especificamente na banda de 1/3 de oitava de 160 Hz. Face a este cenário, e tendo em consideração as condicionantes existentes, foi proposta a “capotagem” da zona de traçado de condutas, situadas a céu aberto, no exterior, através de elementos envolventes de elevado desempenho no que concerne ao isolamento sonoro e simultaneamente com elevada absorção sonora do lado interior, suportados por estrutura unicamente assente em sapatas/maciços de betão estruturalmente desligados do pavimento e dos restantes elementos construtivos da estação elevatória. Após a execução das soluções propostas procedeu-se a nova avaliação acústica, tendo-se verificado uma redução substancial nos níveis de ruído transmitidos para o exterior, que permitiu passar de uma situação de incumprimento do critério de incomodidade definido no RGR, para uma situação previsivelmente de claro cumprimento.

## Referências

- [1] RGR: *Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17/01*, 2007.
- [2] CEN, European Standard EN 1299: Mechanical vibration and shock – Vibration isolation of machines – Information for the application of source isolation, Belgium, 1997.
- [3] CDM Noise & Vibration Control: Commercial Documentation, Belgium, 2005.
- [4] Getzner's Sylomer®: Commercial Documentation, Bürs, Austria, 2006.