

## AVALIAÇÃO E CONTROLO DE RUÍDO E VIBRAÇÕES PRODUZIDO POR UMA UNIDADE INDUSTRIAL – CASO DE ESTUDO

PACS: 43.50.Jh

Diogo M. R. Mateus; Andreia S. C. Pereira; Paulo F. A. Santos  
CICC, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade  
de Coimbra  
Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal  
Tel. +351-239 797 196  
Fax +351-239 797 123  
E-mail: diogo@dec.uc.pt; apereira@dec.uc.pt; pfsantos@dec.uc.pt

### ABSTRACT

The increasing urban growth of small urban settlements, with factories on their surroundings, has provided an approximation of the population to the noise sources. As a consequence, the number of complaints in the field of environmental acoustics has been growing dramatically. The problems to be solved at this level are often dependent not only on room acoustics solutions and reinforcement of airborne sound insulation, but also by controlling vibration transmission. In the present paper a case study is analyzed where, despite the high distance between the noise source and sensitive receivers, action on the structural transmission path was decisive.

### RESUMO

Com o crescimento urbano de pequenos aglomerados populacionais, com indústrias inseridas na proximidade, e a conseqüente aproximação dos locais de ocupação sensível às fontes de ruído, o número de reclamações na área da acústica ambiental têm vindo a crescer de forma muito acentuada. A resolução de problemas a este nível passa, muitas vezes, não só pelas vertentes da correcção acústica interior e do reforço de isolamento a sons aéreos, mas também pela minimização da transmissão de vibrações. No presente artigo é apresentado um caso de estudo, onde, apesar da elevada distância entre a fonte de ruído e os receptores sensíveis, a actuação sobre esta via de transmissão estrutural foi determinante.

### 1. INTRODUÇÃO

A presente comunicação resulta de um trabalho de consultadoria solicitado pelos responsáveis de uma indústria têxtil, localizada no distrito do Porto (Portugal), na qual já tinham sido implementadas sucessivas medidas de melhoria nos últimos cinco anos, mas com resultados pouco significativos, em particular na minimização do impacte sonoro originado por esta indústria, sobre os vizinhos mais próximos (habitações). Apesar da elevada distância entre a fonte de ruído e os receptores sensíveis mais próximos (nas duas situações mais desfavoráveis, cerca de 30 e 40 m, respectivamente), o principal meio de transmissão sonora ocorria por via estrutural, através da estrutura da fábrica e do solo de fundação, supostamente com estratos em granito, apesar de superficialmente este não ser visível. As principais fontes de ruído correspondiam aos teares desta indústria, que para além da forte componente

vibratória originavam níveis sonoros no interior da fábrica bastante elevados. Entre as duas habitações vizinhas mais próximas, têm vindo a ser apresentadas sucessivas queixas de incomodidade, desde 2005, sempre pelos moradores da segunda habitação mais próxima (ver Figura 1). A habitação mais próxima, apesar de aparentemente se encontrar em situação mais desfavorável, eventualmente por existirem fracas condições de conforto em diversas áreas e por existir aparente menor sensibilidade ao ruído, não apresentou nenhuma reclamação oficial. Os resultados apresentados no presente estudo, dada a dificuldade em aceder à habitação do reclamante (que se encontrava em litígio com os proprietários da fábrica), foram obtidos no interior da habitação mais próxima, bem como no exterior e interior da fábrica.

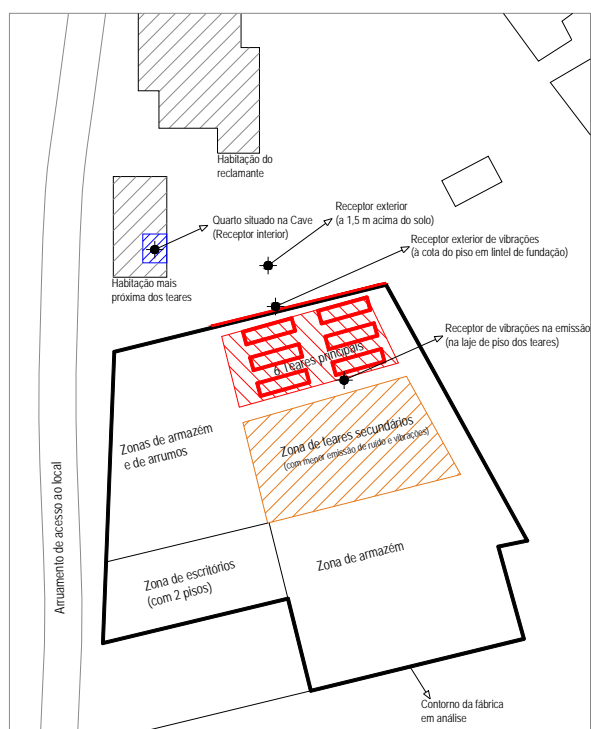


Figura 1 – Planta de localização esquemática, com indicação das zonas principais de emissão de ruído e vibrações e dos receptores de ruído e de vibrações considerados.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO INICIAL

Na sequência das várias reclamações apresentadas, relativamente à incomodidade sonora, têm vindo a ser implementadas, nos últimos 5 anos, várias medidas de minimização de ruído (estudadas por outras entidades), nomeadamente de reforço de isolamento da cobertura da fábrica, de aumento da absorção sonora no interior da fábrica e de atenuação nas saídas de ventilação para o exterior, mas que, apesar de introduzirem algumas melhorias no interior e no exterior da fábrica, aparentemente não conduziram a uma diminuição substancial de ruído no interior das habitações mais próximas. Como se irá tentar demonstrar, através dos resultados das medições acústicas efectuadas, no âmbito do presente artigo, a via principal de transmissão para o interior dos edifícios vizinhos é estrutural, sendo essencial a implementação de soluções que permitam uma redução substancial da transmissão de vibrações.

Das várias medições de ruído ambiente realizadas nos últimos 3 anos, depois de implementadas as principais intervenções, com excepção das propostas no presente trabalho, e não considerando as situações extremas (aparentemente demasiado favoráveis ou demasiado desfavoráveis), os valores médios obtidos de LAeq, na habitação do reclamante, com e sem actividade na fábrica, foram os seguintes:

- Período diurno: LAeq (com fábrica)  $\approx$  32 dB(A); LAeq (sem fábrica)  $\approx$  23 dB(A);
- Período entardecer: LAeq (com fábrica)  $\approx$  31 dB(A); LAeq (sem fábrica)  $\approx$  23 dB(A);
- Período nocturno: LAeq (com fábrica)  $\approx$  31 dB(A); LAeq (sem fábrica)  $\approx$  22 dB(A).

Com se pode verificar da análise dos resultados, para além do claro incumprimento do critério de incomodidade [1], trata-se de um local com níveis sonoros, relativamente ao ruído residual, muito baixos, aparentemente com grande isolamento sonoro relativamente ao exterior (segundo informação obtida, também foram efectuadas obras de reforço de isolamento sonoro na fachada da habitação, mas que originaram uma diminuição da componente de ruído residual e um conseqüente aumento do acréscimo entre os níveis sonoros, com e sem actividade na fábrica). Nas referidas medições de ruído ambiente, não foram detectadas componentes tonais nem impulsivas. Refira-se que, segundo o Regulamento Geral do Ruído [1], ponto 1b do artigo 13º, considera-se que uma actividade provoca incomodidade quando a diferença entre o valor do indicador LAeq do ruído ambiente, determinado durante a ocorrência do ruído particular da(s) actividade(s) em avaliação, corrigido com as eventuais características tonais e/ou impulsivas desse ruído, e o valor do indicador LAeq do ruído residual, excedem 5 + D dB(A) no período diurno, 4 + D dB(A) no período do entardecer e 3 + D dB(A) no período nocturno, sendo D, função da duração acumulada da(s) actividade(s) em avaliação (determinado separadamente para cada período de referência).

Face aos resultados anteriores, e com vista ao estudo de soluções correctivas que permitissem ultrapassar o problema, foram efectuadas novas medições acústicas, neste caso, de curta duração, aproveitando apenas intervalos de tempo com menor influência das fontes de ruído residual, exteriores à fábrica. Estas medições foram efectuadas no interior da fábrica, na sua envolvente exterior mais próxima (entre a fábrica e a habitação do reclamante) e no interior de uma moradia vizinha, correspondente à habitação mais próxima da fábrica (ver Figura 1), cujos valores médios, mais relevantes, se apresentam na Figura 2. O receptor utilizado no interior da habitação vizinha correspondeu a um quarto da Cave, aparentemente menos influenciado pelo ruído com origem fora da fábrica e com maior influência do ruído produzido no interior da fábrica em análise. Paralelamente às medições de ruído ambiente, foram efectuadas medições de vibrações (velocidades de vibração) no interior da fábrica (na laje de apoio dos teares principais) e no exterior (sobre lintel de fundação exterior, adjacente às paredes exteriores da fábrica), cujos resultados se apresentam na Figura 3. Mesmo antes da realização das medições acústicas, no âmbito do presente trabalho, foi possível identificar duas zonas distintas de emissão de ruído: uma zona claramente mais ruidosa, onde se encontram 6 teares, designados de principais; e uma segunda zona, menos ruidosa, onde se encontram os restantes teares (de menor dimensão, mas em muito maior número), designados de teares secundários.

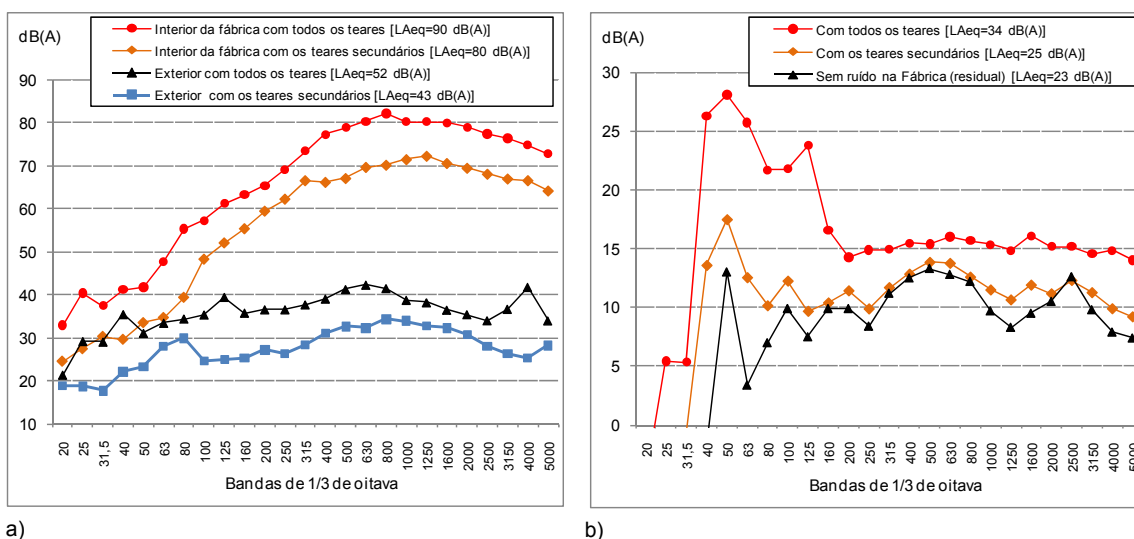


Figura 2 – Níveis sonoros em bandas de 1/3 de oitava [em dB(A)] registados: a) no interior e na envolvente exterior da fábrica; b) no interior do quarto da Cave da moradia mais próxima da fábrica.

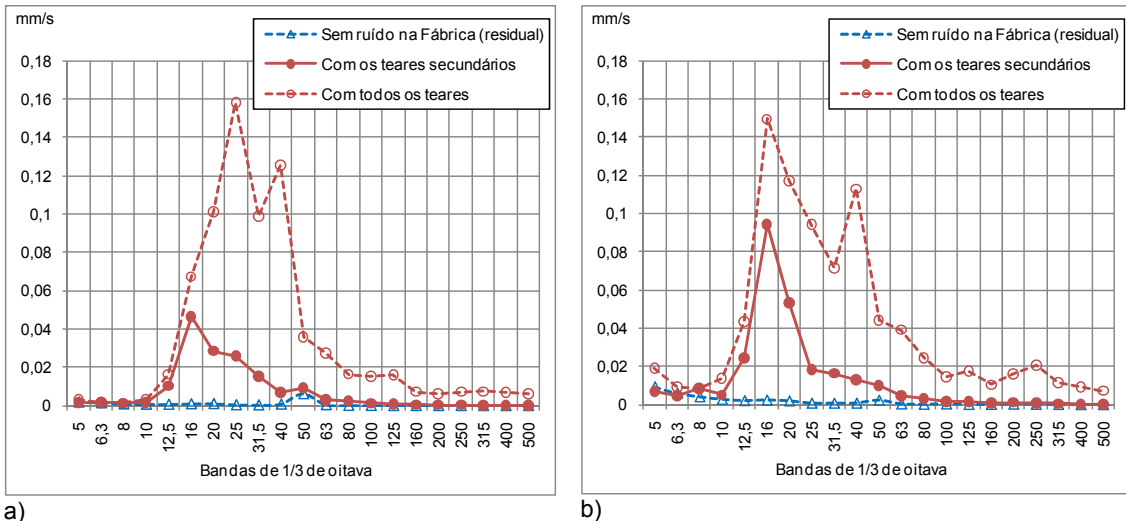


Figura 3 – Velocidades de vibração registadas no lintel de fundação exterior, adjacente às paredes exteriores da fábrica: a) segundo o eixo vertical; b) segundo o eixo horizontal, da direcção do centro dos 6 teares principais.

O equipamento utilizado (pertencente ao laboratório de ensaios CONTRAruido – Acústica e Controlo de Ruído) 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). Ambos os equipamentos possuem calibradores associados e encontram-se com a verificação metrológica e calibração (anual) válida.

Da análise desta figura foi possível verificar que a contribuição dos 6 teares considerados “principais” era efectivamente muito mais relevante que a dos restantes teares. Apesar de, em termos globais, se verificar uma redução no interior da fábrica da mesma ordem de grandeza da ocorrida nas imediações exteriores, do lado Norte, em condições ideais (se o ruído residual pudesse ser desprezado), era espectável uma maior redução no exterior, em grande parte devida à forte contribuição da componente de transmissão estrutural (vibrações) que os seis teares principais introduzem no edifício da fábrica, em particular para baixas frequências. Refira-se que, com os seis teares principais em funcionamento, era perceptível a forte vibração de alguns elementos leves situados no exterior do edifício da fábrica, que já não se verificava quando estes seis teares se encontram desligados, e os restantes em funcionamento.

Face aos resultados obtidos, da avaliação no próprio local, tudo indicava que a componente vibratória constituía a principal via de transmissão de ruído para o exterior. Deste modo, foi proposta a aplicação, de imediato, de apoios antivibratórios nos referidos seis teares principais, conforme se detalha no ponto seguinte, e a posterior avaliação experimental, no local, de modo a verificar a efectiva melhoria na minimização da transmissão de ruído para exterior, e estudar a eventual necessidade de implementação de novas medidas de melhoria complementares.

### 3. SOLUÇÕES PROPOSTAS E RESULTADOS PREVISTOS

Face aos resultados da avaliação, sintetizados no ponto anterior, justificou-se a implementação de imediato de apoios antivibratórios nos referidos seis teares principais. Inicialmente foram previstos três tipos de apoios: um para os dois apoios principais mais carregados de cada tear, situados nas extremidades, do lado do motor (cuja carga se admitiu próxima de 1500 kg/apoio); um segundo tipo idêntico para os outros dois apoios principais extremos, do lado oposto do motor (cuja carga se admitiu próxima de 1000 kg/apoio); e um terceiro tipo para os dois apoios interiores, de menor carga (cuja carga se admitiu próxima de 450 kg/apoio). Para evitar a

subida exagerada da posição inicial de trabalho nos teares, propôs-se a execução de peças metálicas de encaixe dos apoios antivibráteis, conforme fotografia do protótipo indicado na Figura 4a). Face à solicitação de cada tipo de apoio e à atenuação de vibrações pretendida, propôs-se a utilização de placas (tacos) antivibráteis do tipo “CDM-HR-80”, ou equivalente, para os quatro apoios de extremidade (mas com áreas diferenciadas, em função da carga) e do tipo “CDM-HR-79”, ou equivalente, para os dois apoios interiores de cada tear, com uma espessura total não inferior a 40 mm [2, 3, 4]. Com a aplicação destes apoios antivibratórios, estimou-se uma redução bastante significativa da transmissão por via estrutural, acima de 10 Hz, conforme se indica na Figura 5a).

Numa fase inicial, com vista a verificar a viabilidade destes apoios e de quantificar através de medições o seu desempenho, foram executados apoios apenas para um tear. Após a sua aplicação e entrada em funcionamento do tear intervencionado, e apesar das suas quase seis toneladas, verificou-se que, devido à fortíssima carga excêntrica dinâmica que este introduzia, sobretudo na componente horizontal (transversalmente ao tear), este formato de apoio não era viável (criando forte instabilidade do tear). Face a este comportamento, foi estudada a hipótese de redução da espessura das placas antivibráteis, com introdução de um travamento horizontal, fixo à laje de piso. Contudo, o tear continuava a ter um comportamento instável. Posteriormente, foi então estudado e concebido um novo formato de apoio em forma de W (ver Figura 4b), com o mesmo tipo de placa antivibrática, mas com apenas 20 mm de espessura e com área total cerca de 20% acima do inicialmente proposto (solução de compromisso), com muito maior capacidade de impedir deslocamentos horizontais, mas que possibilitasse ainda redução bastante significativa da transmissão por via estrutural. Para esta nova configuração de apoio, a redução da transmissão por via estrutural era inferior à inicialmente prevista, mas ainda assim com possibilidade de vir a considerar-se aceitável, em particular para frequências acima de 25 Hz (ver Figura 5b), que correspondiam às mais relevantes no interior do quarto considerado como referência.

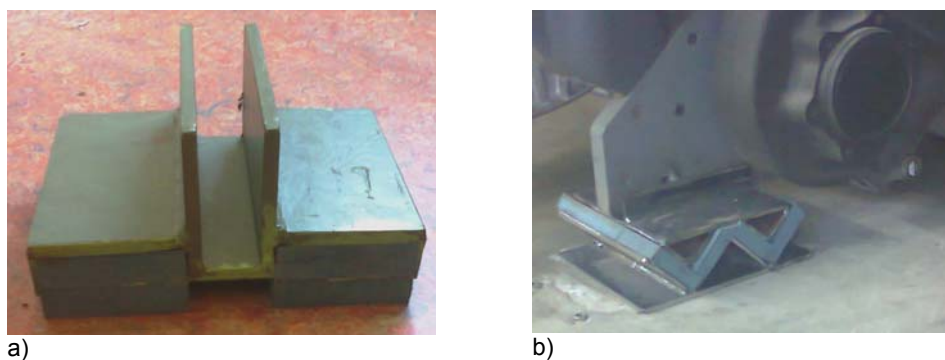


Figura 4 – Fotografia dos apoios antivibratórios: a) para a solução inicialmente proposta; b) para a solução de “compromisso” que foi aplicada.

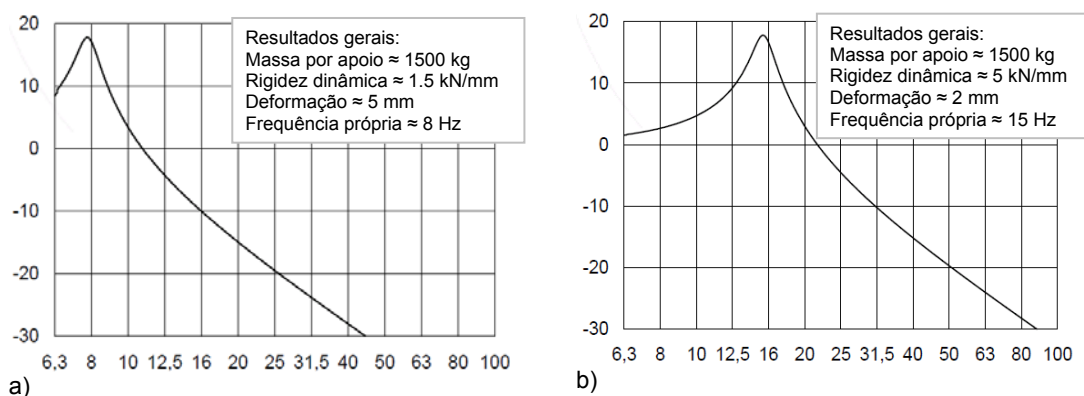


Figura 5 – Redução da transmissão por via estrutural prevista com a aplicação dos apoios antivibratórios: a) para a solução inicialmente proposta; b) para a solução de “compromisso” que foi aplicada.

#### 4. AVALIAÇÃO ACÚSTICA FINAL, APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES CORRECTIVAS

Para além das medições acústicas iniciais (antes da implementação das soluções correctivas propostas), e antes da campanha final de medições acústicas, foram efectuadas medições intercalares durante a implementação das soluções correctivas, com vista a avaliar a eficácia efectiva das soluções, antes da sua generalização a todos os teares principais, tendo-se verificado que as soluções propostas eram viáveis e conduziam previsivelmente a resultados que permitiriam cumprir as exigências regulamentares aplicáveis [1]. Após a aplicação dos apoios antivibratórios aos seis teares principais, foi efectuada nova campanha de medições de ruído ambiente e de vibrações, nos mesmos pontos da avaliação inicial, cujos resultados mais relevantes se apresentam nas Figuras 6 a 8 (onde para além dos resultados finais se apresentam também alguns dos resultados iniciais, para mais fácil interpretação das melhorias obtidas).

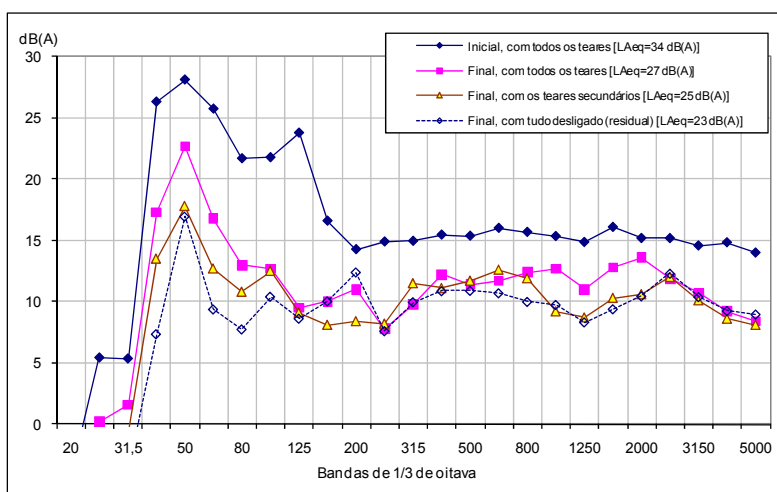
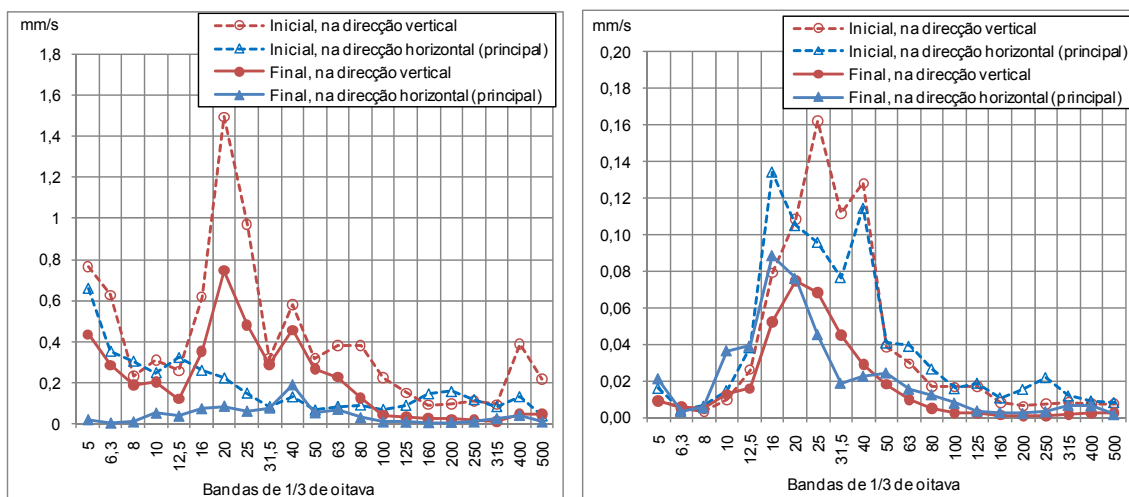


Figura 6 – Níveis sonoros em bandas de 1/3 de oitava [em dB(A)] registados no interior do quarto da Cave da moradia mais próxima da fábrica, antes e após a aplicação dos apoios antivibratórios.



a)

b)

Figura 7 – Velocidades de vibração registadas antes e depois da aplicação dos apoios antivibratórios: a) na laje de piso dos teares, em pontos entre 0,3 e 0,6 m de distância do apoio mais solicitado; b) no lintel de fundação exterior, adjacente às paredes exteriores da fábrica.

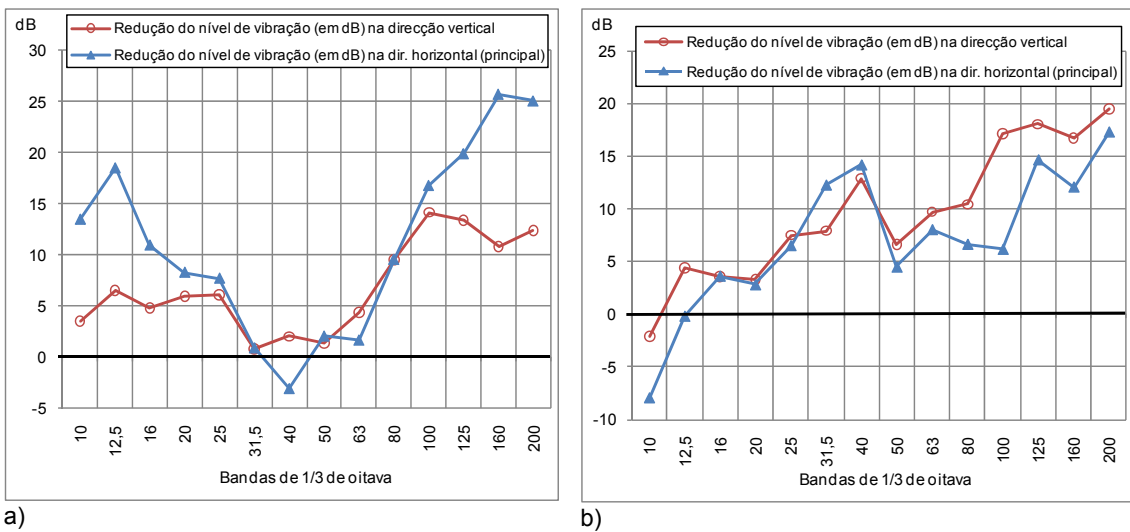


Figura 8 – Redução dos níveis de velocidades de vibração registadas antes e depois da aplicação dos apoios antivibratórios: a) na laje de piso dos teares, em pontos entre 0,3 e 0,6 m de distância do apoio mais solicitado; b) no lintel de fundação exterior, adjacente às paredes exteriores da fábrica.

Da análise da Figura 6, é possível verificar que após a aplicação dos apoios antivibratórios nos seis teares principais se obteve uma redução substancial dos níveis sonoros no interior da habitação mais próxima da fábrica (quarto da Cave), em toda a gama audível, em particular entre os terços de oitava de 40 e 160 Hz. Acima de 160 Hz é provável que a redução de transmissão de ruído/vibrações seja ainda superior (a avaliar pela redução da transmissão de vibrações), mas não se traduzindo numa redução efectiva, devido ao “mascaramento” do ruído residual (acima de 200 Hz a contribuição do ruído residual e dos teares considerados “secundários”, que não foram intervencionados, é próxima ou eventualmente superior à dos 6 teares principais (com apoios antivibratórios). Em termos globais, estas reduções em frequência traduziram-se numa redução do valor de LAeq próxima de 7 dB(A) [antes da intervenção o valor de LAeq registado na habitação foi próximo de 34 dB(A), enquanto que no final, igualmente com todos os teares em funcionamento na fábrica, este valor passou para 27 dB(A)]. Ou seja, em relação ao valor de LAeq correspondente ao ruído residual, verificou-se um acréscimo próximo de 4 dB(A). No entanto, e tal como já referido, estes resultados corresponderam apenas a intervalos de tempo com fraca influência do ruído residual, de forma a avaliar uma situação mais desfavorável (do lado da segurança). Para medições mais prolongadas no tempo, como deverá acontecer numa avaliação do critério de incomodidade, a contribuição do ruído residual é superior, mantendo-se mais ou menos constante a contribuição da fábrica, e o acréscimo é tendencialmente mais baixo, mesmo em período nocturno.

Da análise das Figuras 7 e 8, é também possível verificar uma tendência de forte redução da transmissão de vibrações, quer junto aos teares, quer no lintel de fundação exterior, adjacente à parede exterior da fábrica. Junto aos teares esta redução ocorre sobretudo acima de 40 Hz, enquanto que no lintel de fundação exterior, essa redução, passa a ser significativa acima de 20 Hz. Para frequências abaixo de 10 Hz, e em particular junto aos teares na componente de vibração horizontal, as variações apresentam grande oscilação, devido a fenómenos de vibração própria/ressonância do suporte e dos próprios apoios antivibratórios e eventualmente à interacção dos restantes teares em funcionamento. Acima de 200 Hz, e em particular nas medições realizadas no exterior, verifica-se um forte “mascaramento” das vibrações residuais, tal como se verificou nas medições de ruído (razão pela qual se optou por apresentar apenas a gama de frequências entre os terços de oitava de 10 e 200 Hz nos gráficos da Figura 8).

Em relação ao ruído transmitido para o exterior, cuja transmissão principal ocorre por via aérea, e tal como seria de esperar, a redução no nível sonoro contínuo equivalente (LAeq) é pouco significativa, ocorrendo sobretudo na gama de frequências entre os terços de oitava de 25 e

160 Hz, mas que, depois de ponderadas para a curva “A” não têm influência relevante na diminuição do valor de LAeq. No entanto, esta situação poderá considerar-se aceitável, uma vez que os níveis de ruído no exterior, junto à envolvente da fábrica, já respeitavam, antes da intervenção, os limites de exposição no exterior para uma zona mista, mesmo em período nocturno [ $L_{den} \leq 65\text{dB(A)}$  e  $L_n \leq 55\text{dB(A)}$ ].

Nestas condições, tudo indica que, após a aplicação dos apoios antivibratórios nos seis teares principais, é possível cumprir o critério de incomodidade (ainda que próximo do limite legal), de acordo com a alínea 1b) do artigo 13 do Regulamento Geral do Ruído [1], no interior da habitação mais próxima da fábrica, mesmo considerando a fábrica a funcionar em período nocturno. Refira-se que, em período nocturno a influência do ruído residual é provavelmente muito inferior à ocorrida em período diurno e entardecer, eventualmente da mesma ordem de grandeza da obtida durante as medições (onde foram considerados apenas intervalos de tempo “mais calmos”). Neste cenário, o valor de LAeq obtido (que neste caso, por não terem sido detectadas componentes tonais, nem impulsivas, corresponde ao valor de LAr) foi de 27 dB(A). De acordo com o nº 5 do artigo 13º do RGR, para valores de LAr iguais ou inferiores a 27 dB(A), no interior, fica automaticamente verificado o critério de incomodidade, independentemente do acréscimo em relação ao ruído residual.

Na habitação do “Reclamante”, que fica mais afastada que o quarto considerado como referência (cerca de 10 m a mais), relativamente às fontes de ruído principais da fábrica, é previsível que a situação não seja mais desfavorável que a situação avaliada. Contudo, a quantificação rigorosa da situação só é possível com base em medições acústicas no local, que não foram possíveis no âmbito do presente trabalho. Refira-se, no entanto, que, após a aplicação dos apoios, se a redução nos níveis sonoros nesta habitação, tal como se prevê, for da mesma ordem de grandeza que a verificada no interior do quarto utilizado como referência [7 dB(A)], com base nos resultados obtidos antes da intervenção proposta (ver ponto 2), é possível estimar resultados de LAr que cumprem o critério de incomodidade, para os três períodos de referência (diurno, entardecer e nocturno).

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisado um caso de estudo referente à incomodidade produzida por uma indústria têxtil, sobre as habitações vizinhas. Refira-se que, este tipo de situação tem vindo a tornar-se cada vez mais frequente, devido ao crescimento de pequenos aglomerados populacionais, aproximando as habitações de indústrias existentes. Verificou-se que a principal fonte de ruído são os teares, que durante o funcionamento produzem vibrações que se transmitem por via estrutural às habitações vizinhas, apesar da significativa distância. Um outro aspecto salientado neste trabalho é o tipo de terreno de fundação, previsivelmente estratos de granito, que têm pouca capacidade de atenuação de vibrações. Por forma a tentar minimizar esta componente de ruído foram dimensionados apoios antivibratórios que, por um lado conduzissem a uma redução da transmissão por via estrutural e por outro lado garantissem a estabilidade dos teares, e sem os elevar em demasia. A sua eficácia foi avaliada tendo-se verificado uma redução substancial no nível de vibrações transmitidas para o interior e exterior da fábrica, que permitiu passar de uma situação de claro incumprimento do critério de incomodidade, para uma situação previsivelmente de cumprimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RGR – Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei nº 9/2007 de 17/01.
- [2] EN 1299, *Mechanical vibration and shock – Vibration isolation of machines – Information for the application of source isolation*, Brussels: European Committee for Standardization, 1997.
- [3] CDM Noise & Vibration Control: *Commercial Documentation*. Belgium, 2005.
- [4] Getzner's Sylomer®: *Commercial Documentation*. Bürs, 2006.