

METODOLOGIA AUTOMATIZADA PARA ANÁLISE LABORATORIAL DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO

PACS: 43.10.Ce, 43.20.Ye, 43.55.Rg, 43.58.Fm.

Igor Castro^{1,2}; José Nascimento¹; Paulo Amado Mendes²; Luís Godinho²

¹ ITeCons, Universidade de Coimbra, Rua Pedro Hispano, Coimbra, Portugal
{igorasc@itecons.uc.pt, jose.nascimento@itecons.uc.pt}

² CICC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal
{pamendes@dec.uc.pt; lgodinho@dec.uc.pt}

ABSTRACT

The laboratorial analysis of the acoustic performance of building elements is very important when characterizing new solutions and optimizing the choice of materials and accessories. Using different testing equipment and laboratorial procedures (many of them following international standards), it is possible to analyze the materials' and solutions' acoustic performance, namely in terms of airborne sound insulation. In the present work, an automatized laboratorial methodology for the analysis of the acoustic performance of building solutions, which was recently implemented, is described. The experimental setup that was designed and installed in the reverberant testing rooms is explained, as well as the testing procedure adopted with the help of a moving sound intensity probe/device. The capabilities of the automatized methodology for the detection of acoustic weak points are illustrated by some results that are presented and discussed.

RESUMO

A análise do desempenho acústico de elementos de construção, realizada em laboratório, assume especial relevância nos processos de caracterização de novas soluções e de otimização dos materiais e acessórios a utilizar. Recorrendo a diferentes equipamentos e procedimentos de ensaio, muitos dos quais descritos em normas internacionais, é possível analisar o desempenho acústico dos materiais e das soluções, designadamente em termos do isolamento a sons aéreos que podem atingir. No presente trabalho, pretende-se descrever uma metodologia automatizada para verificação do desempenho acústico de elementos de construção, implementada recentemente em laboratório. Assim, descreve-se o equipamento complementar concebido e instalado para apoio das câmaras acústicas reverberantes, bem como os procedimentos de medição e registo postos em prática com o auxílio do varrimento automático de uma sonda de intensidade sonora. O tratamento de dados é igualmente descrito de forma sucinta. As potencialidades da metodologia são evidenciadas através de resultados que se apresentam e analisam, destacando-se o auxílio na deteção de fragilidades acústicas das soluções testadas.

INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se o interesse em potenciar o desempenho acústico de novos elementos de construção que se encontram em desenvolvimento, bem como em otimizar o comportamento de elementos construtivos já disponíveis no mercado. Por outro lado, é frequente recorrer à caracterização laboratorial de elementos construtivos, sem que os resultados obtidos sejam os desejados pelos seus fabricantes. Diversos investigadores têm também tentado apoiar o desenvolvimento de novos elementos, simulando o seu desempenho acústico com recurso a modelos numéricos. Ao longo destes processos, verifica-se a necessidade de realizar ensaios laboratoriais de protótipos (representativos dos elementos em desenvolvimento), sendo por vezes os resultados laboratoriais inferiores aos expectáveis. Este facto pode ficar a dever-se a diversos fatores, por vezes condicionados pela fabricação/construção deficiente desses elementos de construção e nem sempre facilmente detectáveis através de análise visual. Estes elementos de construção são caracterizados acusticamente por um índice global de isolamento sonoro [1], determinado a partir dos resultados de ensaios laboratoriais de isolamento sonoro a sons de condução aérea [2 a 4], expressos no domínio da frequência (em terços de oitava), verificando-se que, quanto mais elevado for esse índice melhor será o respetivo desempenho acústico. Aqueles resultados dos ensaios permitem determinar em que frequências existe uma contribuição para o decréscimo desse índice de isolamento, correspondendo a gamas de frequências com pior comportamento acústico. Contudo, nem sempre é possível determinar qual ou quais as localizações exatas do proвете onde ocorrem essas debilidades. Deste modo, regista-se um grande interesse na criação de uma metodologia automatizada para a análise laboratorial do desempenho acústico de elementos de construção, na perspetiva do desenvolvimento e otimização.

Existem alguns trabalhos de investigação nesta área, em que se recorre a uma metodologia semelhante à descrita neste trabalho. No entanto, naqueles casos, os ensaios são efetuados de uma forma pouco automatizada, podendo introduzir erros de medição e verificando-se algumas limitações ao nível da aquisição de dados [5 a 8].

EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO E METODOLOGIA DE ENSAIO

O presente trabalho desenvolveu-se nas câmaras acústicas horizontais do *Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção – ITeCons* (ver Figura 1-a). Estas câmaras estão preparadas para a realização de vários ensaios laboratoriais, principalmente, os de isolamento a sons aéreos de elementos verticais, tais como paredes, portas, janelas, entre outros.

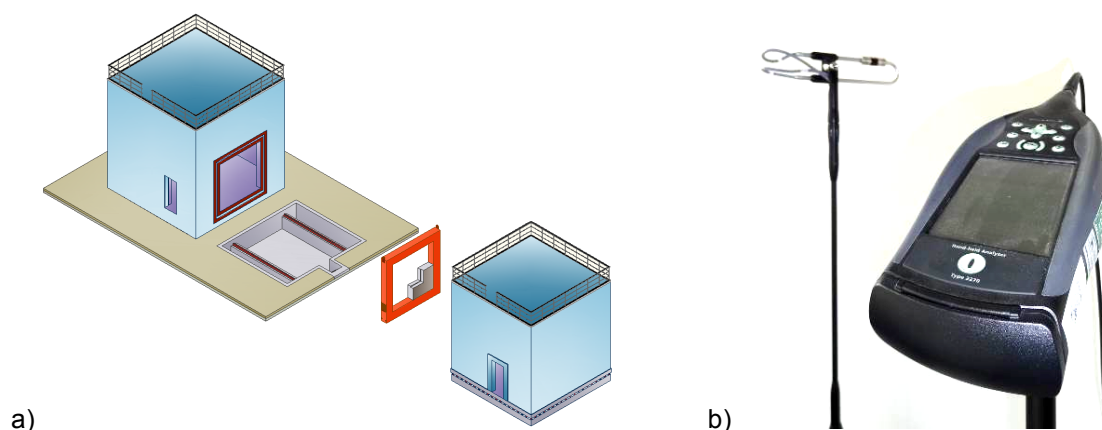


Figura 1 – Câmaras acústicas e equipamentos do *ITeCons*: a) esquema global; b) sonda de intensidade sonora, modelo 3654, acoplada a um sonómetro integrador, modelo 2270, ambos da marca *Brüel & Kjær*.

De uma forma sucinta, estas instalações laboratoriais integram um corte estrutural entre as câmaras emissora e recetora, de forma a evitar transmissões marginais, sendo a primeira uma câmara móvel e a segunda uma câmara fixa. As câmaras são adjacentes e comunicam entre si

através de uma abertura de 10m^2 , onde é inserido o provete de ensaio. A câmara fixa tem um volume de aproximadamente 205m^3 , enquanto a câmara móvel tem cerca de 180m^3 [9].

Fazendo uso do equipamento e das instalações disponíveis, pretendeu-se desenvolver e instalar, na câmara horizontal fixa (câmara utilizada como recetora), um sistema automatizado que permitisse uma análise laboratorial mais aperfeiçoada na caracterização acústica de elementos de construção. No âmbito do presente trabalho pretendeu-se, assim, implementar uma metodologia de ensaio que, de forma automática, proceda à elaboração de mapas de intensimetria sonora, que abranjam a totalidade da superfície dos provetes de ensaio para avaliar as suas debilidades acústicas. Recorre-se a uma sonda de intensidade sonora, modelo 3654, acoplada a um sonómetro integrador, modelo 2270, ambos da marca *Brüel & Kjær* (Figura 1-b), que procedem à aquisição de dados através de dois microfones alinhados em relação ao eixo da sonda, permitindo avaliar o fluxo de energia sonora segundo uma determinada direção (habitualmente segundo a direção perpendicular ao provete de ensaio). A análise experimental com este equipamento possibilita a determinação de níveis de intensidade sonora e de níveis de pressão sonora, e permite mapear o fluxo de energia sonora que atravessa os provetes de ensaio, com base numa grelha ajustável de pontos de medição definida com quadrículas equidistantes em cada uma das direções – vertical e horizontal. Assim, recorrendo a um mapeamento discreto com a sonda de intensidade sonora, instalada na câmara acústica recetora, e mantendo a fonte sonora em funcionamento na câmara acústica emissora, registam-se as variações do fluxo de energia, que podem auxiliar na deteção de pontos fracos de isolamento acústico.

Estas medições poderão beneficiar de maior rigor na aquisição do sinal caso o sonómetro e a sonda de intensidade sejam incorporados num sistema automático de posicionamento. Nesse sentido, este novo sistema terá que atender aos seguintes requisitos principais: 1) movimentação da sonda de intensidade de forma automatizada para qualquer malha de medição bidimensional (terá que possibilitar o varrimento total da área de abertura, ou apenas de uma área restrita da superfície do provete), sem limitação no número de linhas e colunas; 2) posicionamento da sonda de intensidade num ponto exato, perpendicularmente à superfície do provete de ensaio, com um erro abaixo de 1mm; 3) para as situações em que o provete se encontra mais recuado, em relação à face da parede onde está instalado, como no caso de janelas e portas, será necessário que o sistema permita regular a distância entre a sonda e a superfície em estudo (este requisito torna-se numa preocupação de conceção do sistema, uma vez que, durante o deslocamento da sonda na horizontal e na vertical, esta não poderá ultrapassar os limites da grelha de medição pré-estabelecida, sob risco de colidir com a parede de instalação); 4) o sistema deverá permitir ser controlado a partir do interior da câmara acústica – para delimitar os pontos extremos da grelha de medição com maior rigor –, bem como a partir do exterior – para controlar todo o mecanismo remotamente, permitindo que não haja influência dos operadores no interior da câmara; 5) o sistema terá que suportar a globalidade do peso do mecanismo, incluindo o sonómetro integrador e a sonda de intensidade; 6) terá que existir uma interligação entre o sistema automático de movimentação e o sonómetro, para que a medição apenas se inicie quando o sistema concluir o movimento entre pontos consecutivos da malha de medição e após ter sido desligada toda a motorização, de modo a evitar perturbações durante o período de medição considerado, acionando-se, posteriormente, o posicionamento da sonda para os pontos de medição seguintes; 7) após o final das medições, poderá existir a necessidade de repetir a medição, num ou em vários pontos específicos da grelha de medição, caso se verifique alguma anomalia durante o registo.

Desenvolveu-se, portanto, um sistema automático que tenta responder às necessidades referidas anteriormente. Assim, o sistema desenvolvido apresenta duas colunas verticais, uma das quais está equipada com um motor que eleva uma viga central (ver Figura 2-a) onde se descola horizontalmente um carril para suporte do sonómetro (ver Figura 2-b). Através de uma consola central (ver Figura 2-c), cuja operação é possível tanto no interior como no exterior da câmara acústica, pode-se definir as extremidades da malha de medição (ponto inicial e final), bem como o respetivo número de colunas e de linhas. Existem outros parâmetros que podem ser configurados através desta consola, nomeadamente, o tempo de cada medição, o intervalo de tempo entre medições consecutivas, a velocidade de movimentação do carril com a sonda de intensidade, para além de outros parâmetros intrínsecos ao ensaio. Este sistema é servido por um quadro de controlo elétrico próprio, localizado no exterior das câmaras acústicas (ver Figura 2-d).

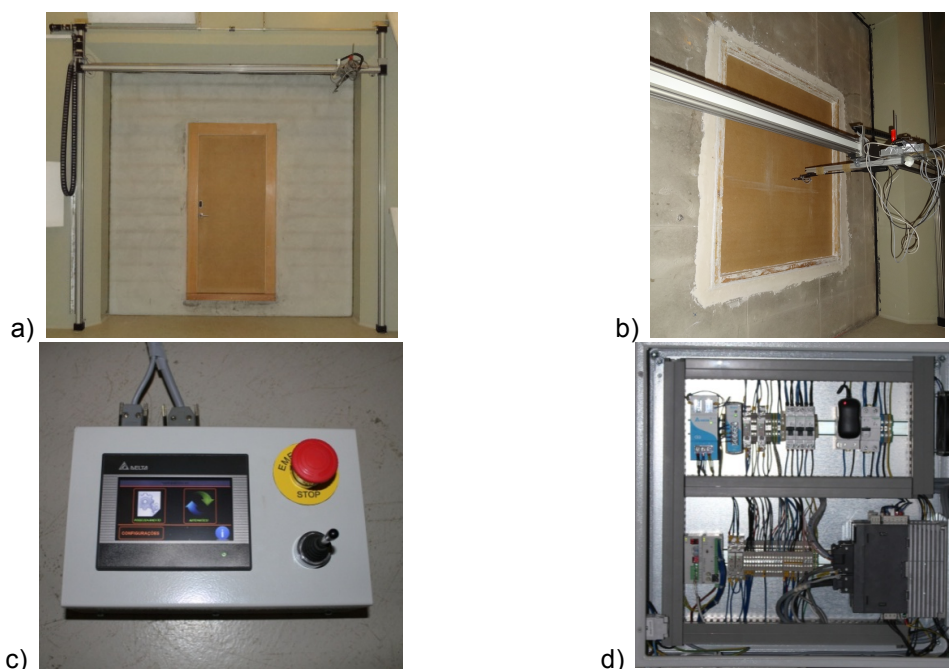


Figura 2 – Sistema automático para análise da intensimetria acústica: a) aspeto geral, visto do interior da câmara recetora; b) viga central que movimentava o carril na horizontal, e que transporta a sonda de intensidade; c) consola central para definição da grelha e dos parâmetros de medição; d) quadro de controlo eléctrico no exterior das câmaras acústicas.

Para a realização do procedimento de ensaio proposto, como se referiu anteriormente, deverá definir inicialmente os dois pontos de extremidade, diametralmente opostos, para delimitar a área que se pretende mapear. Posteriormente, define-se o número de linhas e colunas para formar a grelha de medição. Este número deverá ser o adequado para caracterizar o provete em estudo, condicionando o afastamento entre pontos na horizontal e vertical. Para o caso de uma porta, por exemplo, o número de linhas e colunas deve ser tal que os pontos de grelha estejam praticamente coincidentes com o contorno da porta e também próximo dos elementos acessórios, tais como dobradiças, fechaduras, puxador, visor, óculos, sistemas de vedação, etc., uma vez que estes são, frequentemente, potenciais pontos fracos de isolamento acústico. A distância considerada entre a superfície da parede de ensaio e a extremidade da sonda de intensidade deve ser próxima dos 10cm. Estabeleceu-se o tempo de medição necessário para a estabilização da fonte no interior da câmara, não devendo ser inferior a 15s. Após toda a definição dos parâmetros de ensaio é possível iniciar a medição, sendo o processo controlado do lado de fora das câmaras acústicas, como se referiu anteriormente.

ENSAIOS LABORATORIAIS – INTENSIMETRIA ACÚSTICA

No presente trabalho, descrevem-se alguns ensaios realizados a provetes com a metodologia proposta para análise laboratorial do desempenho acústico de elementos de construção. Os provetes exemplificativos de ensaio são: um painel multicamada, de dimensões 1.25m x 1.5m, sem qualquer tipo de elementos acessórios; e uma porta composta por painéis multicamada, com dimensões de 2.10m x 1.0m e 60mm de espessura, munida de dobradiças, puxador e barra de calafetagem inferior, e que se encontra operacional após instalação.

Após a realização das medições laboratoriais com os provetes exemplificativos de ensaio, os resultados são exportados a partir do sonómetro integrador e tratados através de uma aplicação em *Matlab*, desenvolvida e programada especificamente com esse objetivo. Deste modo, a partir dos dados adquiridos, são gerados gráficos de níveis de intensidade sonora (som direto) e de níveis de pressão sonora (som direto e refletido), quer em termos equivalentes, quer no domínio da frequência (em bandas de frequência de terços de oitava), com e sem ponderação A. A título de exemplo, apresentam-se os resultados para o painel multicamada de dimensões reduzidas (Figura 3) e para a porta (Figura 4), em termos de níveis

equivalentes e para um conjunto de frequências selecionadas (para as quais os resultados obtidos revelam fragilidades do ponto de vista do isolamento sonoro).

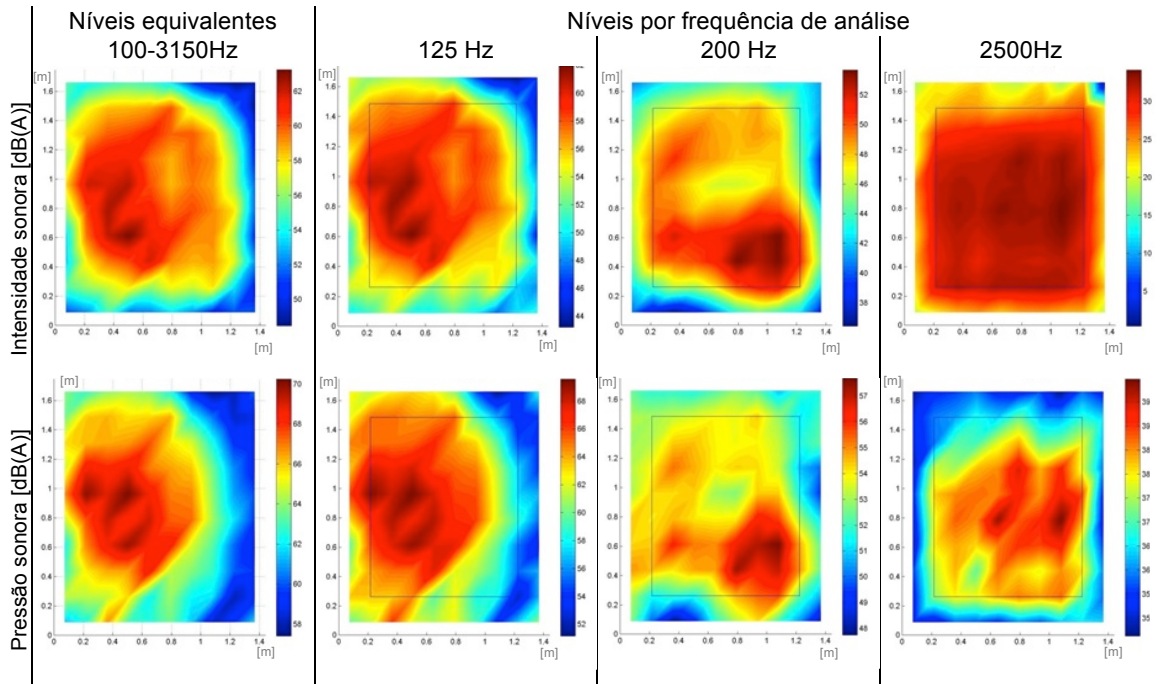


Figura 3 – Resultados obtidos para a intensidade sonora e nível de pressão sonora contínuo, com ponderação A, para um painel multicamada de dimensões reduzidas sem qualquer tipo de elementos acessórios.

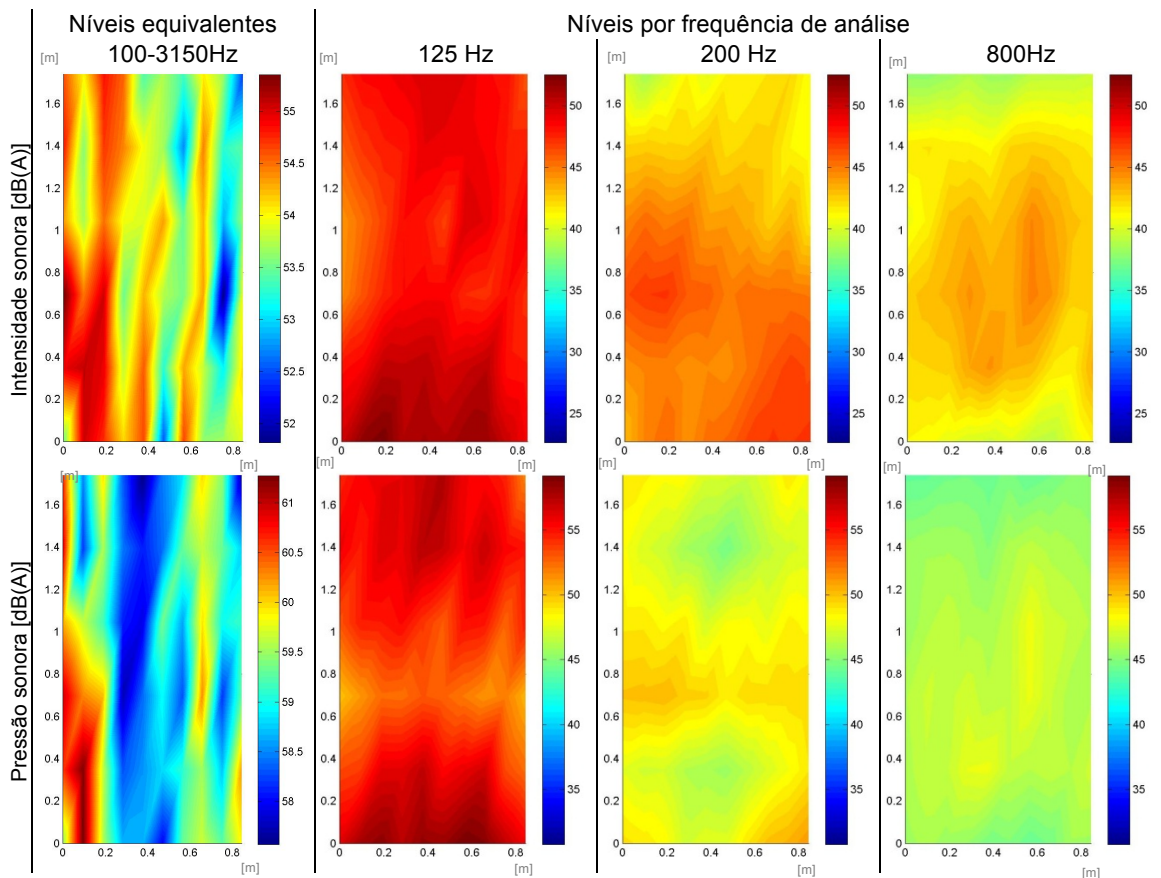


Figura 4 – Resultados obtidos para a intensidade sonora e nível de pressão sonora contínuo, com ponderação A, para uma porta de 60mm de espessura, composta por painéis multicamada, e munida de dobradiças, puxador e barra de calafetagem.

POTENCIALIDADES DA METODOLOGIA

Para exemplificar as potencialidades da metodologia proposta, apresenta-se um exemplo adicional de uma porta, de dimensões 2.5m x 1.0m, instalada numa parede pesada de alvenaria (ver Figura 5-a). Inicialmente, efetuou-se o ensaio de isolamento sonoro a sons aéreos [1 a 4], tendo-se obtido um índice de isolamento igual a 30dB. Tendo em vista a otimização desta solução, realizou-se, de seguida, um ensaio de intensimetria sonora, de acordo com a metodologia descrita no presente trabalho, para detetar as suas fragilidades e, posteriormente, tentar ajustar a solução para se obter um isolamento superior.

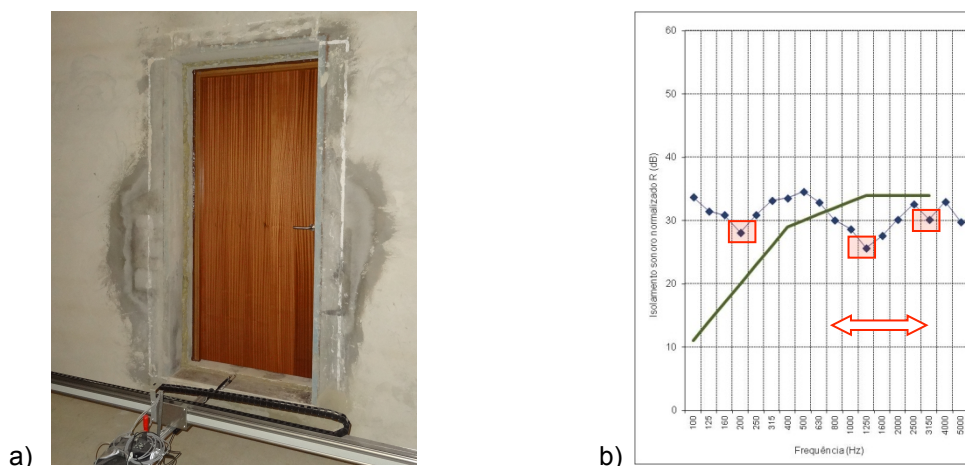


Figura 5 – Provete de ensaio: a) porta com elementos acessórios, operacional e instalada numa parede pesada de alvenaria; b) resultados do ensaio de isolamento sonoro, em frequência, com identificação das frequências a analisar em detalhe.

Analisando a curva de isolamento sonoro no domínio da frequência (ver Figura 5-b), são evidentes várias quebras acentuadas de isolamento, principalmente aos 200, 1250 e 3150Hz, sendo que, a partir dos 800Hz, condicionam o decréscimo do índice global de isolamento sonoro, com uma contribuição significativa aos 1250Hz. Consequentemente, apresentam-se os gráficos de intensimetria, para os níveis equivalentes e para as bandas de frequência assinaladas anteriormente (ver Figura 6), obtidos através da metodologia apresentada.

Observando os gráficos de intensimetria, tornam-se evidentes as deficiências de calafetagem na soleira e no topo da porta, com maior relevância do lado direito (lado do puxador). Tendo em vista a melhoria do desempenho acústico da porta e a otimização do seu índice de isolamento sonoro, foram posteriormente afinadas as dobradiças para melhorar a vedação periférica. Para além disso, foi melhorado o sistema de soleira, através do ajuste da barra de calafetagem inferior. Após estes ajustes, foi realizado um novo ensaio, tendo-se verificado um acréscimo do índice de isolamento sonoro a sons aéreos, para 35dB (ver Figura 7), e sendo notório um aumento significativo de isolamento em todas as frequências de ensaio.

Da mesma forma, repetiu-se o ensaio de intensimetria para a solução da porta otimizada, após afinações e ajustes (ver Figura 8). Aqui, ressalta como evidente as melhorias existentes ao nível da soleira e do topo da porta (foi mantida a mesma escala para uma melhor comparação entre as Figuras 6 e 8). Verifica-se, agora, que a gama de frequências entre os 800 e os 2500Hz, contribui para os desvios desfavoráveis do índice de isolamento sonoro desta solução, com uma maior contribuição aos 1600Hz, e que o isolamento acima dos 2500Hz aumentou de forma muito expressiva. Avaliando o gráfico de intensimetria para essa frequência, verifica-se uma fragilidade no canto inferior esquerdo, que poderá ter origem no fecho acústico da barra de calafetagem nessa zona pontual, mesmo após afinação deste acessório (visível no gráfico de intensidade equivalente da Figura 8). Também se observa alguma passagem de energia através do núcleo da porta (não ilustrado no presente trabalho), significando que, provavelmente, as afinações terão corrigido as fragilidades nos acessórios e no contorno do

provete, mas também que não se conseguirá um acréscimo do índice de isolamento sonoro sem que exista uma modificação da constituição do painel da porta.

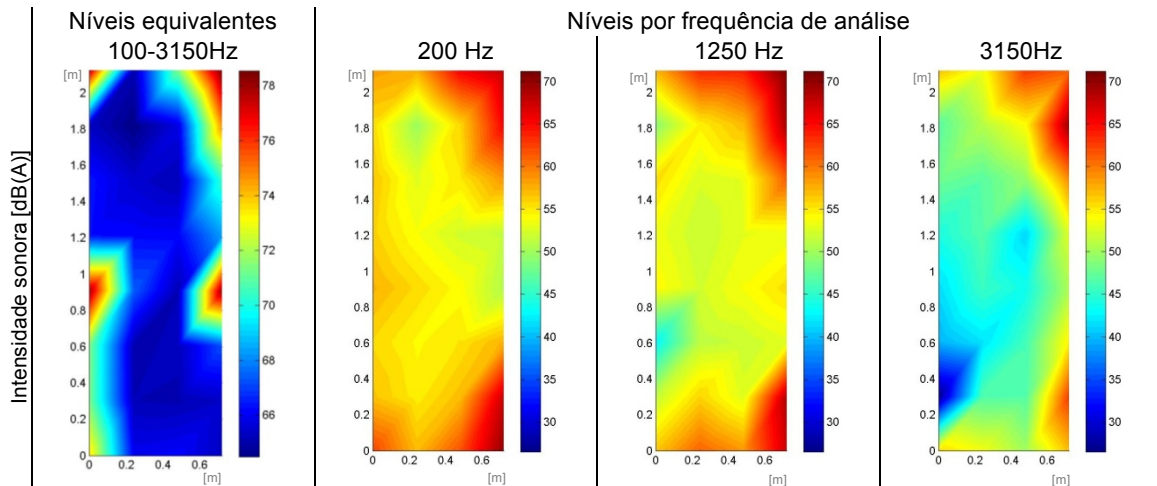


Figura 6 – Resultados de intensidade sonora, com ponderação A, obtidos para uma porta com 2.5m x 1.0m com elementos acessórios (sem ajustes e otimização – Ensaio 1).

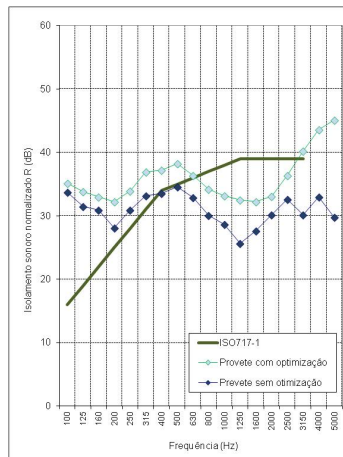


Figura 7 – Resultados dos ensaios de isolamento sonoro, em frequência, para uma porta operacional de dimensões 2.5m x 1.0m, com elementos acessórios (comparação entre a solução com e sem ajustes e otimização).

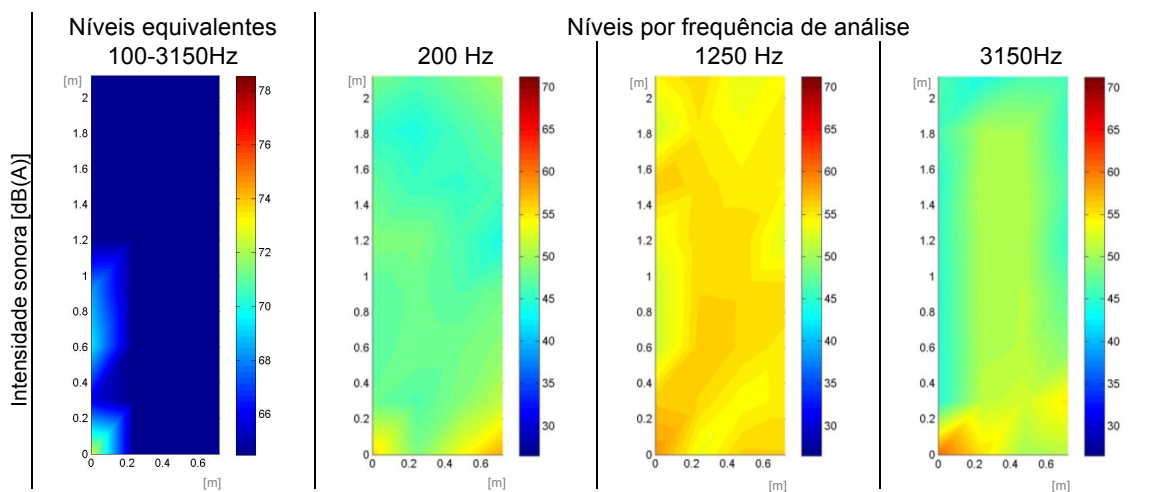


Figura 8 – Resultados de intensidade sonora, com ponderação A, obtidos para uma porta com 2.5m x 1.0m com elementos acessórios (com otimização, após ajustes – Ensaio 2).

CONCLUSÕES

O presente trabalho descreveu algumas das condições laboratoriais existentes no *ITeCons*, recentemente incrementadas com a instalação de um sistema de mapeamento automatizado para auxílio na otimização do desempenho acústico de elementos de construção. Também se evidenciaram as preocupações e os requisitos necessários na fase de conceção de todo o mecanismo automático, incluindo a interligação com os equipamentos de medição existentes. Posteriormente, apresentou-se a metodologia de ensaio a adotar, bem como toda a definição de parâmetros necessários e, por fim, o tratamento necessário aos registos de medições obtidos laboratorialmente.

Esta metodologia permite elaborar gráficos de intensimetria sonora em provetes distintos e demonstrou as potencialidades do método de ensaio para um exemplo de uma porta munida de acessórios, permitindo determinar as suas debilidades acústicas e, posteriormente, potenciar a aplicação das medidas de melhoria do seu isolamento acústico a sons aéreos.

Conclui-se que, desta forma, se poderão obter mapas de intensimetria com detalhe superior, com um número maior de pontos de medição, com maior rigor de medição e sem quaisquer influências externas ao ensaio, salientando o carácter inovador das potencialidades do sistema.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho enquadrou-se no âmbito do projeto FCOMP-01-0202-FEDER-030191 (DoorTECH), financiado pelo QREN através do Programa Operacional Factores de Competitividade.

REFERÊNCIAS

- [1] ISO 717-1:2013, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation, ISO, 2013.
- [2] ISO 10140-1:2010, Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 1: Application rules for specific products, ISO, 2010.
- [3] ISO 10140-2:2010, Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 2: Measurement of airborne sound insulation, ISO, 2010.
- [4] ISO 10140-4:2010, Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 4: Measurement procedures and requirements, ISO, 2010.
- [5] Asdrubali F., BurattiSound C., Sound intensity investigation of the acoustics performances of high insulation ventilating windows integrated with rolling shutter boxes, *Applied Acoustics* 66(2005) 1088-1101.
- [6] Fernández A., Herguedas B., García M., Gallego J., Estudio de fugas de aislamiento en la unión fachada-ventana usando técnicas de medida de intensidad Sonora, *TecniAcustica*, Cáceres, 2011.
- [7] Egea J., Latorre E., Sánchez C., Rodrigues C., Comparison of two sound intensity in situ measurement techniques to calculate the sound power level of a noise source, *Inter Noise*, Lisboa, 2010.
- [8] Teixeira K., Janelas em núcleos urbanos antigos – Avaliação do desempenho acústico in situ, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Especialidade de Construções*, FCTUC, Coimbra, Março, 2013.
- [9] Castro I., Tadeu A., António J., Moreira A., Amado Mendes P., Godinho L., Câmaras móveis *ITeCons* para a realização de ensaios acústicos: Parte II – Preparação e caracterização das câmaras horizontais, *Acústica 2008*, 20-22 de Outubro, Coimbra, Portugal.