

CONSIDERAÇÕES SOBRE A DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO E SUA UTILIZAÇÃO NOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO IN SITU

Sónia M. Antunes¹, Jorge Patrício ¹

¹LNEC

{santunes@lneec.pt, jpatricio@lneec.pt}

Resumo

Hoje em dia, as normas no âmbito da Acústica de edifícios, estão a evoluir no sentido de publicarem orientações cada vez mais específicas para a realização das medições de isolamento sonoro, como também relativamente aos equipamentos a utilizar, nestas mesmas medições. Nesse contexto, enquadra-se a publicação da recente Norma ISO 12999-1. Este documento indica os valores de incerteza de medição para o isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão, tanto para medições realizadas por bandas de 1/3 de oitava, como para os valores únicos daí derivados, e respetivos termos de adaptação espectral. Os valores apresentados nessa norma são baseados em resultados das medições interlaboratoriais, e consequentemente, a contribuição do elemento a ensaiar não é totalmente incluída nos resultados, uma vez que não é realizado nenhum cálculo de incerteza associada ao próprio provete de ensaio. Assim, esta comunicação pretende expor algumas considerações sobre a adequação (ou não) do uso do valor da incerteza associado ao índice de isolamento sonoro, e a sua correspondente utilização no âmbito do Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios. Apesar de a análise feita assentar no isolamento a sons aéreos, as conclusões extraídas aplicam-se também ao isolamento a sons de impacto.

Palavras-chave: isolamento sonoro, incerteza de medição.

Abstract

Nowadays buildings Acoustical standards are evolving in order to have more specific guidelines for sound insulation measurements, as well as for equipment's used, on the basis of the latest available studies done up to now. In this context and addressing this problem, lies the recent publication of ISO 12999-1. This standard includes general uncertainty values for typical measurands such as airborne and impact sound insulation under different measurement situations, both for 1/3 octave bands and single number quantities. The presented values are based on the results of inter-laboratory measurements described in ISO 140-2 or ISO 12999-1. Consequently the contribution for the uncertainty due to the object under test is not fully included in the results, since no related uncertainty calculation is performed. This paper intends to present some considerations about the suitability (or not) of using the uncertainty value associated with the sound insulation index, and on its inclusion in the frame Portuguese Building Acoustics Code. Despite the analysis be based on airborne sound insulation, the conclusions raised apply also to impact sound insulation.

Keywords: Sound insulation; Measurement uncertainties

PACS no. 43.55.Cs

1 Introdução

Em Portugal, a legislação presentemente em vigor — Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (aprovado pelo Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de junho) — estabelece um conjunto de critérios para o desempenho acústico dos edifícios de modo a potenciar condições de conforto acústico no seu interior. Para determinados tipos de edifícios, estes critérios são expressos em termos valores mínimos admissíveis para o índice de isolamento a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$ e de valores máximos admissíveis para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão padronizado, $L'_{nT,w}$. No caso das avaliações “*in situ*” destinadas a verificar o cumprimento deste regulamento deve ser tido em conta um factor de incerteza I (com $I = 3\text{dB}$) associado à determinação do índice de isolamento a sons aéreos (neste caso o valor determinado experimentalmente acrescido do factor I deve satisfazer o limite regulamentar) e à determinação do índice de isolamento sonoro a sons de percussão (tendo-se que neste caso o valor determinado experimentalmente diminuído do factor I satisfazer o limite regulamentar).

As medições “*in situ*” do isolamento sonoro padronizado, a sons de condução aérea ($D_{n,T}$; expressão 1) devem ser efectuadas segundo as metodologias descritas na norma NP EN ISO 16283-1 (e NP EN ISO 16283-3, para o caso das fachadas), devendo preferencialmente ser realizadas por banda de terços de oitava.

A medição do tempo de reverberação deve ser realizada segundo os procedimentos descritos na norma NP EN ISO 3382-2, enquanto que a determinação do respectivo índice de isolamento sonoro deve ser realizada segundo a metodologia descrita na norma EN ISO 717-1.

$$D_{n,T} = L_E - L_R - 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} \quad (1)$$

Na expressão (1) L_E representa o nível sonoro médio no compartimento emissor, determinado a partir da média energética (de acordo com a expressão 2) dos valores obtidos para cada posição do microfone fixo (o número mínimo de posições de medição é de $n=5$); L_R representa o nível sonoro médio no compartimento receptor; T , é o tempo de reverberação no compartimento receptor, T_0 é o tempo de reverberação de referência; em compartimentos de habitação, $T_0 = 0,5$ s.

$$L_E = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{(L_E)_i/10} \right] \quad L_R = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{(L_R)_i/10} \right] \quad (2)$$

Com a finalidade de promover uma representatividade desempenho mais objetiva entre os vários produtos de construção, as normas de acústica de edifícios estão a evoluir no sentido da publicação de diretrizes mais detalhadas para a realização de medições, fazendo uso dos resultados de estudos mais dirigidos, disponíveis até ao momento. Neste contexto, foi recentemente aprovada a norma ISO 12999-1 [7]. Esta norma indica valores gerais para a incerteza de medição do isolamento sonoro a sons aéreos e de impacto, em diferentes situações de medição, tanto para bandas de 1/3 de oitava, como também para os valores dos correspondentes índices de isolamento. Os valores apresentados são baseados nos resultados das medições interlaboratoriais descritas nas normas ISO 140-2 e ISO 12999-1. Assim, é importante ter em atenção que, os resultados apresentados nestas publicações, não têm em conta

a contribuição do objeto/sistema particular em análise, representando tão só um valor médio das várias amostras que integraram o conjunto dos ensaios interlaboratoriais, não sendo assim realizado nenhum cálculo da incerteza específica associada.

Com a entrada em vigor da norma ISO 17025 em 2017 [8], os organismos de acreditação estão a exigir a determinação da incerteza em conformidade com o GUM (Guia para a Expressão da Incerteza de Medição), incluindo seus suplementos e / ou ISO Guia 35 [9]. Neste contexto, hoje em dia os laboratórios acreditados devem decidir, entre utilizar os valores de incertezas estabelecidos na ISO 12999-1 (não incluindo a contribuição do objeto de teste medido), ou fazer um cálculo de incerteza individual usando um modelo simplificado onde alguns efeitos não são de possível contabilização.

2 AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

2.1 Avaliação da incerteza de medição a partir de ensaios de intercomparação

Neste tipo de avaliação, a grandeza a medir é implicitamente definida por um procedimento, como por exemplo uma norma. Neste contexto, o(s) provete(s) para ensaio são distribuídos aos laboratórios participantes, aplicando cada laboratório o procedimento prescrito de acordo com a definição da mensuranda. Todos os resultados são considerados como realizações válidas da mensuranda. A exactidão dos resultados obtidos irá depender de vários factores que influenciam o ensaio, tais como o equipamento utilizado, o método de ensaio (posições da fonte sonora e dos microfones), local de medição (configuração geométrica dos espaços onde são realizadas as medições e respectivo volume), detalhes construtivos dos edifícios que possam influenciar o campo sonoro estabelecido, por exemplo. Note-se que a informação detalhada sobre a influência destes factores na medição, é muito difícil de obter-se, pelo que a realização de ensaios de intercomparação permite relacionar valores de repetibilidade e reprodutibilidade às medições realizadas. O principal problema neste tipo de avaliação é a escolha adequada dos sistemas de compartimentação em ensaio, de modo a cobrir todo o campo de aplicação do método, caso contrário, a sua aplicação a todos os casos possíveis, é naturalmente questionável. No âmbito da acústica de edifícios, os valores constantes na norma ISO 12999-1, constituem as melhores estimativas para a incerteza das medições de isolamento sonoro que podem ser obtidas hoje; este facto foi sublinhado no trabalho de Wittstock [11,12] sobre a obtenção dos valores médios de incerteza padrão descritos na ISO 12999-1 [5]. Nesta norma, para além dos desvios padrão da repetibilidade e reprodutibilidade, é também definido o desvio padrão *in situ*, que consiste no desvio padrão da reprodutibilidade, de um mesmo objecto, no mesmo local (quando diferentes operadores, com seus próprios equipamentos, realizam medições), e portanto, aplicável às medições *in situ* de isolamento sonoro.

A norma ISO 12999-1 também define os valores de incertezas para os índices de isolamento. Estes valores foram obtidos a partir do valor médio derivado dos ensaios de intercomparação disponíveis, à data, uma vez que foi proposto não fazer a distinção entre diferentes construções. Tendo em conta que as incertezas fornecidas na ISO 12999-1 têm como objetivo caracterizar o método de medição em geral, aspectos especiais para certos produtos de construção, estes devem ser cobertos pelas normas de produtos relevantes, a serem desenvolvidas em futuro

próximo [5]. Para condições de reprodutibilidade, os valores de incerteza dos desvios-padrão *in situ*, variam entre 1,5 dB e 0,9 dB, independente dos objetos/sistemas em ensaio [7].

2.2 Avaliação da Incerteza de medição, segundo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (GUM)

A aplicação da abordagem estabelecida no Guia ISO para a Expressão de Incerteza na Medição (GUM), requer a utilização de um modelo matemático para o processo de medição, que inclua os principais efeitos que influenciam o resultado. Para grandezas que não são medidas directamente, e que assumem o cumprimento de condições teóricas à partida (campo difuso), como por exemplo, o tempo de reverberação e os níveis de pressão sonora, a obtenção de um modelo matemático que inclua todos os efeitos relevantes não é fácil de estabelecer. Muitas vezes, recorre-se a outros métodos para o cálculo das incertezas de medição. No entanto, uma vantagem de utilizar a abordagem estabelecida no Guia ISO para a Expressão de Incerteza na Medição (GUM), é a sua normalização, o que preconiza uma aceitação da metodologia estabelecida a nível mundial. Além disso, o cálculo da incerteza de medição reflecte a situação exata durante cada medição individual. Um aspecto importante para a aplicação desta metodologia em ensaios no âmbito da acústica, sublinhado por Wittstock [6], foi a constatação de que a distribuição estatística do isolamento sonoro, medido em dB, segue uma função de distribuição muito próxima da Gaussiana, do que a distribuição da função do coeficiente de transmissão τ . Este facto, permite a validação da utilização de métodos estatísticos para o cálculo de incerteza aplicados directamente ao isolamento sonoro expresso em dB.

Na abordagem GUM [9], as várias componentes da incerteza de medição podem ser agrupados em duas categorias, de acordo com o método utilizado para estimar os seus valores numéricos. A avaliação do Tipo A da incerteza padrão, $u_i(Y)$, é baseada em qualquer método estatístico válido para o tratamento de dados (por exemplo, o desvio padrão da média de uma série de observações independentes, ou o recurso ao método dos mínimos quadrados para ajustar uma curva para dados, para estimar os parâmetros da curva e seus desvios padrão). Na Equação 3, a incerteza padrão do Tipo A ($u_A(x_i)$) é expressa pelo desvio padrão experimental do valor médio de n observações estatísticas, independentes, feitas em condições de repetibilidade.

$$u_A(x_i) = s(\bar{X}_i) = \frac{s(X_{i,K})}{\sqrt{n}} = \left[\frac{1}{n} \left(\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (X_{i,K} - \bar{X}_i)^2 \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

A avaliação do Tipo B da incerteza padrão é geralmente baseada numa apreciação científica de todas as informações relevantes disponíveis (como especificações do fabricante, dados fornecidos na calibração e outros relatórios, dados de medição anteriores, ou conhecimento geral do comportamento e propriedades de materiais e instrumentos relevantes). A incerteza padrão combinada, $u_c(y)$, é obtida compondo as incertezas padrão individuais ($u(x_i)$ e, se necessário, as covariâncias, $u(x_i, x_j)$), utilizando-se o método denominado pela lei de propagação da incerteza (Equação 4). A incerteza combinada é então expressa pela raiz quadrada positiva da estimativa da variância $u_c^2(y)$.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot u(x_i, x_j) \quad (4)$$

ou em termos de coeficiente de correlação $r(x_i, x_j)$

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot r(x_i, x_j) \cdot u(x_i) \cdot u(x_j) \quad (5)$$

Numa medição, considera-se que a incerteza padrão combinada representa o desvio padrão estimado para o resultado. Para se obtiver um valor de incerteza definido por um intervalo sobre o resultado da medição (y), deve-se calcular a incerteza expandida (U). Este valor é obtido multiplicando-se $u_c(y)$ por um fator de cobertura (k). O fator k é escolhido de acordo com o nível de confiança, que se deseja associar ao intervalo definido por $U = k \cdot u_c(y)$. Normalmente, é utilizado um valor de k entre 1,6 a 3 ($k = 2$ define um intervalo com um nível de confiança de aproximadamente 95%). Para as medições de isolamento sonoro a sons aéreos, são tidas em consideração as seguintes contribuições para a incerteza de medição:

Contribuições do tipo A para a incertezas padrão:

- Média espacial dos níveis de pressão sonora nas salas de emissão e recepção, representada pelo desvio padrão da média. No comportamento onde se localiza a fonte sonora (compartimento emissor), os coeficientes de sensibilidade (derivadas parciais) para cada ponto de medição são dados pela Equação 6 (considerando cinco posições de microfones em cada sala). Para o compartimento receptor, a expressão é semelhante. Em ambos os casos, o segundo termo de expressão na Equação 5 pode ser avaliado a fim de levar em conta as correlações entre as posições da medição [13].

$$\frac{\partial D_{n,T}}{\partial (L_E)_{P_i}} = \frac{10^{0,1(L_E)P_i}}{\sum_{n=1}^5 10^{0,1(L_E)P_i}} \quad (6)$$

- Medição do tempo de reverberação (no caso desta medição ser efetuada pelo método da fonte interrompida e a correspondente validação dos resultados obtidos ser realizada em conformidade com os critérios descritos na ISO 3382-2, nomeadamente o grau de não linearidade e grau de curvatura da curva de decaimento. Nestes casos, os coeficientes de sensibilidade são dados pela Equação 7. Para calcular o desvio padrão espacial (Des.P) T, em função da frequência, para a medição do tempo de reverberação, pode utilizar-se a expressão dada na ISO 3382-2 (Equação 8), onde T_{20} é o valor médio do tempo de reverberação, n é o número de decaimentos obtidos em cada posição, N é o número de posições de medição independentes (combinação entre fonte sonora e o microfone) e B é o largura de banda:

$$\frac{\partial D_{n,T}}{\partial T_i} = \frac{4,34}{T_{average}} \quad (7)$$

$$(Des. P)_T = 0,88. T_{20} \sqrt{\frac{1 + (\frac{1,9}{n})}{NBT_{20}}} \quad (8)$$

Nesta medição, a resolução do instrumento é tida em consideração, assumindo uma distribuição retangular e uma resolução de 0,01 s, com uma contribuição final igual a 0,003 s. Neste caso, a incerteza padrão total associada ao tempo de reverberação é dada pela Equação (9)

$$U_T = \sqrt{(Des. P)_T^2 + (0,01/2\sqrt{3})^2} \quad (9)$$

Refira-se ainda que, para os casos em que é necessário realizar a correcção dos níveis sonoros no recinto receptor, devido ao ruído de fundo, também será necessário entrar em consideração com a incerteza devida a esta mesma correcção.

Contribuições do tipo B para a incertezas padrão:

- Calibrador acústico: Incerteza declarada no certificado de calibração (caso seja utilizado um pistãofone ter em conta a influencia da temperatura e pressão);
- Sonómetro: informações relacionadas com esta contribuição estão disponíveis no estudo do National Physical Laboratory [14] sobre as incertezas de medição associadas à utilização deste equipamento. Com base nos resultados da experiência de verificação de sonómetros, ao longo dos anos, este laboratório considera importante a avaliação das seguintes contribuições: linearidade de escala do sonómetro; detetor RMS, tempo de integração, filtros de banda de terços de oitava, influência no campo do corpo do sonómetro e a presença do operador, influência das condições ambientais no nível de sensibilidade do microfone.
- Arredondamento do resultado, para cada banda de terços de oitava.

A determinação do índice de isolamento sonoro, de acordo com a norma ISO 717-1, envolve o ajustamento da curva de referência (valor na gama de frequências de terços de oitava compreendido entre 100 a 3150 Hz) em etapas de 1 dB em direção à curva dos resultados de medição, até que o desvio desfavorável médio seja o maior possível, mas não mais do que 32 dB. A norma também indica o procedimento a utilizar para o cálculo dos termos de adaptação espectral C and C_{tr}. De acordo com o trabalho de Wittstock [12], para se obterem resultados com maior exactidão, quando se inclui a determinação da incerteza de medição, todos os valores devem ser determinados usando uma resolução de 0,1 dB, e o ajustamento/deslocamento da curva de referência deve, neste caso, ser realizado em etapas de 0,1 dB em direção à curva dos valores medidos. Tendo em conta que a metodologia anteriormente descrita não é linear, ou linearizável, não é possível usar a lei da propagação da incerteza. Normalmente, nesses casos, podem ser utilizados métodos numéricos, como por exemplo, o método de simulação de Monte Carlo, admitindo que cada variável de entrada é representada por uma função de distribuição de probabilidade normal (fdp). No entanto, e de acordo com o trabalho de Wittstock [12], os efeitos da correlação entre as bandas de terços de oitava, podem influenciar significativamente

a incerteza do índice de isolamento sonoro. Pode ser calculado um limite superior para o valor de incerteza, assumindo-se uma correlação linear e positiva, com valor unitário, entre todas as bandas de terços de oitava. A consideração de ausência de correlação não pode ser considerada como um limite inferior, devido à possibilidade de ocorrência de correlação negativa. Diversos estudos têm abordado esta questão [14, 15], propondo diferentes coeficientes de correlação. A norma ISO 12999-1 (Anexo B) fornece uma orientação para o cálculo da incerteza dos índices de isolamento sonoro, assumindo uma correlação linear e positiva, e unitária.

3 Utilização da incerteza de medição no âmbito do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

Os critérios estabelecidos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, para a avaliação de conformidade com os limites legais, são expressos em termos do índice de isolamento a sons de condução aérea padronizado, ou então em termos do índice de isolamento sonoro a sons de percussão padronizado. De acordo com o mesmo regulamento, as medições para a avaliação da conformidade dos edifícios devem ser realizadas por laboratórios acreditados. Tendo em conta a publicação da nova versão da norma de referência internacional para laboratórios de ensaio e calibração, ISO/IEC 17025, torna-se necessário esclarecer como estes laboratórios devem proceder, tendo em conta, que, segundo a interpretação dos organismos de acreditação, os resultados dos ensaios devem ser acompanhados da respectiva incerteza de medição. De facto, e no domínio de aplicação da acústica de edifícios, verifica-se que o recurso ao cálculo individual da incerteza de medição, segundo o método do GUM, não permite a avaliação completa de todos os factores de influência dos resultados de medição, em especial a influência relativamente ao desvio às condições de campo difuso, muito usual, no caso de medições *in situ*. Este é o principal pretexto para que neste domínio, se utilize cada vez mais os resultados de ensaios de intercomparação laboratorial. A norma ISO 12999-1, apresenta um conjunto de valores para a incerteza de medição padrão, em função de bandas de terços de oitava, e para os respetivos índices, os quais constituem as melhores estimativas para a incerteza das medições de isolamento sonoro que podem ser obtidas atualmente. No entanto, estes valores correspondem a valores médios dos vários ensaios de intercomparação que serviram de base à publicação desta norma. Efetivamente, foi demonstrado (em ensaios *in situ* e em laboratório), que os valores da incerteza de medição dependem do tipo de material em ensaio, verificando-se que as incertezas associadas a soluções construtivas aligeiradas são menores do que as incertezas associadas a soluções construtivas mais pesadas [18]. Adicionalmente, e para o ensaio da determinação do isolamento sonoro de fachada, também já foi comprovado que as incertezas de medição, na gama das frequências altas, dependem da posição da fonte sonora. Cumulativamente aos dois factos apresentados anteriormente, e que indiciam uma forte dependência dos valores da incerteza de medição com o tipo de sistema em ensaio, e com o desconhecimento ainda existente do grau de correlação dos resultados para cada banda de terços de oitava, recomenda-se a não utilização dos valores de incerteza de medição, aquando a avaliação do cumprimento dos requisitos acústicos de edifícios. O próprio regulamento estabelece um factor de incerteza a ser utilizado, sem recurso ao cálculo da incerteza de medição, segundo um modelo matemático. No entanto, e para que num futuro próximo, possa ser viável o recurso a valores de incerteza de medição, é aconselhável a

realização de ensaios de comparação interlaboratorial, de modo a sistematizar a aplicação destes resultados, às configurações construtivas típicas portuguesas

4 Conclusões

Um dos principais motivos para a realização da análise apresentada, muito em parte devido a transição para a nova versão da norma ISO/ IEC 17025, prende-se com a interpretação e opinião dos autores sobre os procedimentos relacionados com as incertezas no contexto das verificações de conformidade preconizadas pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios.

Apresentam-se nesta comunicação duas metodologias distintas para o cálculo da incerteza de medição, enfatizando-se as vantagens e desvantagens de cada uma delas, no contexto da sua aplicação aos ensaios de isolamento sonoro a realizar in situ.

Na circunstância e de acordo com o exposto, não se considera necessário, por falta de fiabilidade, o cálculo “individual” da incerteza de medição, e correspondente contabilização do respectivo valor, na avaliação da conformidade regulamentar associada. No entanto, se esse cálculo for efetuado, assim como a inclusão do respetivo resultado no relatório de ensaio, ele só deverá servir para aferição da qualidade técnica de cada laboratório de ensaio, sem quaisquer implicações regulamentares.

Referências

- [1] NP EN ISO 16283-1. Acústica; Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção; Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea, IPQ, 2014
- [2] NP EN ISO 16283-3. Acústica; Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção; Parte 3: Isolamento a sons aéreos de fachadas, IPQ, 2017
- [3] NP EN ISO 3382-2: Acústica. Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes, IPQ, 2011
- [4] NP EN ISO 717-1: Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Determinação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos, IPQ, 2013.
- [5] Wittstock, V. How to reduce uncertainties for building acoustic measurements in test facilities?. *22nd International Congress on Acoustics (ICA)*, Buenos Aires, 2016

- [6] Wittstock, V. *Uncertainties in Applied Acoustics – Determination and Handling*. NAG/DAGA, Roterdão, 2009
- [7] NP EN ISO 12999-1. *Acústica; Determinação e aplicação das incertezas de medição em acústica de edifícios; Parte 1: Isolamento sonoro*. IPQ, 2015.
- [8] ISO 17025:2017- *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. International Organization for Standardization, Geneva, 2017
- [9] JCGM 100:2008. *Evaluation of measurement data – guide to the expression of uncertainty in measurement*, vol. 50. Joint Committee for Guides in Metrology; 2008.
- [10] Fausti1, P.; Pompoli1, R. ; Smith, S. *An Intercomparison of Laboratory Measurements of Airborne Sound Insulation of Lightweight Plasterboard Wall*, *Building Acoustics*, vol 6(2), pp 127-140, 1999
- [11] Wittstock, V. *Determination of Measurement Uncertainties in Building Acoustics by Interlaboratory Tests. Part 1: Airborne Sound Insulation*”, *ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA*, Vol. 101 (1), 2015, pp 88 – 98
- [12] Wittstock, V. *On the uncertainty of single-number quantities for rating airborne sound insulation*. *ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA*, Vol. 93 (1), 2007, pp 375 – 386
- [13] Antunes, S. *Uncertainties in building acoustic single number quantities. How apply uncertainty calculation in the scope of the Portuguese regulation*”, *19th International Congress on Acoustics 2007 (ICA)*, Madrid, 2007
- [14] Payne, R. *Uncertainties associated with the use of a sound level meter*, NPL REPORT DQL-AC 002, *National Physical Laboratory*, 2004 UK.
- [15] Machimbarrena, M.; Monteiro, C.; Pedersoli, S.; Johansson, R.; Smith,S. *Uncertainty determination of in situ airborne sound insulation measurements*”, *Applied Acoustics*, Volume 89, pp 199-210, 2015
- [16] Monteiro, C.; Borin, M.; Machimbarrena, M.; Johansson, R. *Cálculo individual da incerteza de medições de isolamento acústico em campo: uma proposta para coeficientes de correlação de bandas de 1/3 de oitava*”, *XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acustica*, Porto Alegre, Brasil, 2008
- [17] Garga, N; Saxenab, T.; Kumar, A.; Majic, S. *Uncertainty evaluation and implications of spectrum adaptation terms in determining the airborne sound insulation in building elements*, *Noise Control Engr. J.* 62 (5), September-October 2014
- [18] Scrosati, C.; Scamoni, F. *Managing Measurement Uncertainty in Building Acoustics*. *Buildings*, Vol (5), 2015, pp. 1389-1413